

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2025

Jakub Zavřel

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Světlostálost výtisků z fototiskárny DS-RX1 HS
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jakub Zavřel**
Osobní číslo: **C21075**
Studijní program: **B0531A130014 Polygrafie**
Téma práce: **Světlostálost výtisků z fototiskárny DS-RX1 HS**
Téma práce anglicky: **Lightfastness of prints from the DS-RX1 HS photo printer**
Zadávací katedra: **Katedra polygrafie a fotofyziky**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte literární rešerši zaměřenou na problematiku světlostálosti tiskových barev.
2. Zpracujte literární rešerši zaměřenou na měření a vyhodnocení světlostálosti tiskových barev.
3. V experimentální části práce proveďte testy světlostálosti barev fototiskárny DS-RX1 HS. Testy světlostálosti tiskových barev proveďte pomocí přiloženého stárnutí v interiéru a dále urychleným stárnutím v zařízení Q-Sun Xe-1-B.
4. Dosažené výsledky analyzujte a souhrnně zpracujte ve formě závěrečné písemné práce.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Bohumil Jašúrek, Ph.D.**
Katedra polygrafie a fotofyziky

Datum zadání bakalářské práce: **19. února 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. července 2025**

prof. Ing. Petr Němec, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. Tomáš Syrový, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2024

Prohlašuji:

Práci s názvem Světlostálost výtisků z fototiskárny DS-RX1 HS jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen 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 odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 30. 6. 2025

Jakub Zavřel v. r.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Ing. Bohumilu Jašůrkovi Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za podporu, důvěru, trpělivost a čas, který mi v průběhu psaní věnoval. Za cenné informace a rady, které mi poskytl, kdykoli jich bylo třeba. Děkuji také mé rodině a přítelkyni, kteří mi byli po celou dobu studia oporou.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá hodnocením světlostálosti výtisků tištěných pomocí fototiskárny DS-RX1 HS od společnosti DNP, která využívá k tisku termografickou technologii D2T2. Cílem práce bylo zhodnotit světlostálost výtisků při různých podmínkách ozařování a skladování. Byla použita metoda urychleného stárnutí pomocí zařízení Q-SUN Xe-1-B a metoda interiérového stárnutí za pokojových podmínek za přístupu světla a dále bez přístupu světla. Barevné změny byly hodnoceny na základě souřadnic L^* , a^* , b^* , barvové odchylky ΔE_{ab}^* a reflexních spekter.

KLÍČOVÁ SLOVA

světlostálost, degradace, stárnutí, termografie, D2T2, barvová odchylka

TITLE

Lightfastness of prints from the DS-RX1 HS photo printer

ANNOTATION

This bachelor thesis deals with the evaluation of the lightfastness of prints produced using the DS-RX1 HS photo printer by DNP, which utilizes D2T2 (Dye Diffusion Thermal Transfer) thermographic technology for printing. The aim of the thesis was to assess the lightfastness of prints under various exposure and storage conditions. An accelerated aging method using the Q-SUN Xe-1-B was applied, as well as an indoor aging method under room conditions with and without light exposure. Color changes were evaluated based on L^* , a^* , b^* coordinates, color difference ΔE_{ab}^* and reflectance spectra.

KEYWORDS

lightfastness, degradation, aging, thermography, dye diffusion thermal transfer, colour difference

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	10
ÚVOD.....	12
1 TEORETICKÁ ČÁST	13
1.1 Termografie	13
1.2 Inkoustový tisk (inkjet).....	15
1.3 Elektrofotografie (laserový tisk).....	17
1.4 Potiskované substráty	17
1.5 Inkousty	18
1.5.1 Inkousty na vodní bázi.....	18
1.5.2 Solventní inkousty	18
1.6 Vliv okolního prostředí na světlostálost tisků.....	19
1.6.1 Vliv světla a UV záření na degradaci tiskoviny	19
1.6.2 Vliv vlhkosti na degradaci tiskovin	20
1.6.3 Vliv teploty na degradaci tiskoviny	20
1.6.4 Vliv vzdušných polutantů na degradaci tiskoviny	20
1.7 Metody hodnocení stárnutí tiskovin	21
1.8 Měření barevnosti	22
1.8.1 Barvové prostory.....	22
1.8.2 Objektivní měření barevnosti v praxi	23
1.8.3 Hodnocení barevnosti	23
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	25
2.1 Použité přístroje	25
2.2 Použité materiály	26
2.3 Použité experimentální metody	26
2.3.1 Příprava vzorků.....	26

2.3.2	Postup měření	27
3	VÝSLEDKY A DISKUZE	29
3.1	Urychlené stárnutí vzorků pomocí zařízení Q-SUN Xe-1-B při 65 °C	29
3.2	Přirozené stárnutí vzorků v pokojových podmínkách	35
3.3	Přirozené stárnutí vzorků uložených ve tmě.....	41
3.4	Schopnost tiskárny reprodukovat stejné výtisky po delší době nečinnosti.....	44
4	ZÁVĚR	45
	POUŽITÁ LITERATURA	46

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1. Schéma termálního tisku [1].	13
Obrázek 2. Porovnání barevných přechodů mezi digitálními technologiemi tisku [5].	15
Obrázek 3. Schéma kontinuálního inkoustového tisku [5].	16
Obrázek 4. Schéma drop-on-demand inkoustového tisku [5].	16
Obrázek 5. Schéma elektrofotografického tisku [5].	17
Obrázek 6. Schéma vrstev potiskovaného substrátu pro technologii D2T2 [7].	18
Obrázek 7. Barvový prostor CIELAB [12].	22
Obrázek 8. Vzorčky tisků pro sledování světlostálosti výtisků z tiskárny DS-RX1 HS; a) pestrobarevná fotografie [1]; b) testovací obrazec.	27
Obrázek 9. a) Testované vzorky po 72 hodinách ozařování v zařízení Q-SUN Xe-1-B; b) vzorky po tisku před ozařováním.	30
Obrázek 10. Závislosti barvové odchylky (ΔE_{ab}^*) na době ozařování měřených barev vzorku ozařovaného v zařízení Q-SUN Xe-1-B pro 40% (oranžová závislost) a 100% (modrá závislost) tónovou hodnotu a nepotíštěný papír: a) azurová barva; b) purpurová barva; c) žlutá barva; d) černá barva; e) červená barva; f) zelená barva; g) modrá barva; h) PANTONE 3564; i) PANTONE 215; j) papír.	32
Obrázek 11. Závislosti reflektance (R) na vlnové délce (λ) měřených barev pro tónovou hodnotu 100 % a nepotíštěný papír před (0 hodin, modrá závislost) a po ozařování v zařízení Q-SUN Xe-1-B (72 hodin, oranžová závislost): a) azurová barva; b) purpurová barva; c) žlutá barva; d) černá barva; e) červená barva; f) zelená barva; g) modrá barva; h) PANTONE 3564; i) PANTONE 215; j) papír.	34
Obrázek 12. a) Testované vzorky po 177 dnech přirozeného stárnutí v pokojových podmínkách; b) vzorky po tisku před stárnutím.	36
Obrázek 13. Závislosti barvové odchylky (ΔE_{ab}^*) na době ozařování měřených barev vzorku podrobenému přirozenému stárnutí v pokojových podmínkách pro 40% (oranžová závislost) a 100% (modrá závislost) tónovou hodnotu a nepotíštěný papír: a) azurová barva; b) purpurová barva; c) žlutá barva; d) černá barva; e) červená barva; f) zelená barva; g) modrá barva; h) PANTONE 3564; i) PANTONE 215; j) papír.	38
Obrázek 14. Závislosti reflektance (R) na vlnové délce (λ) měřených barev pro tónovou hodnotu 100 % a nepotíštěný papír před (0 dní, modrá závislost) a po podrobení přirozenému stárnutí v pokojových podmínkách (177 dní, oranžová závislost): a) azurová barva; b) purpurová barva;	

c) žlutá barva; d) černá barva; e) červená barva; f) zelená barva; g) modrá barva; h) PANTONE 3564; i) PANTONE 215; j) papír.	40
Obrázek 15. a) Testované vzorky po 177 dnech přirozeného stárnutí v pokojových podmínkách ve tmě; b) vzorky po tisku před stárnutím.	41
Obrázek 16. Závislosti reflektance (R) na vlnové délce (λ) měřených barev pro tónovou hodnotu 100 % a nepotíštěný papír před (0 dní, modrá závislost) a po podrobení přirozenému stárnutí v pokojových podmínkách ve tmě (177 dní, oranžová závislost): a) azurová barva; b) purpurová barva; c) žlutá barva; d) černá barva; e) červená barva; f) zelená barva; g) modrá barva; h) PANTONE 3564; i) PANTONE 215; j) papír.	43
Tabulka 1. Naměřené hodnoty L^* , a^* , b^* souřadnic vzorku ozařovaného v zařízení Q-SUN Xe-1-B po dobu 72 hodin a stejného vzorku před ozařováním (0 hodin). Hodnoty jsou uvedeny pro políčka s tónovou hodnotou 100 %.	31
Tabulka 2. Vypočítané hodnoty barvové odchylky ΔE_{ab}^* vzorku ozařovaného v zařízení Q-SUN Xe-1-B po dobu 72 hodin. Hodnoty jsou uvedeny pro políčka s tónovou hodnotou 40 a 100 %.	31
Tabulka 3. Naměřené hodnoty L^* , a^* , b^* souřadnic vzorku podrobenému přirozenému stárnutí v pokojových podmínkách po dobu 177 dní a stejného vzorku po tisku (0 dní). Hodnoty jsou uvedeny pro políčka s tónovou hodnotou 100 %.	37
Tabulka 4. Vypočítané hodnoty barvové odchylky ΔE_{ab}^* vzorku podrobenému přirozenému stárnutí v pokojových podmínkách po dobu 177 dní. Hodnoty jsou uvedeny pro políčka s tónovou hodnotou 40 a 100 %.	37
Tabulka 5. Naměřené hodnoty L^* , a^* , b^* souřadnic vzorku podrobenému přirozenému stárnutí v pokojových podmínkách ve tmě po dobu 177 dní a stejného vzorku po tisku (0 dní). Hodnoty jsou uvedeny pro políčka s tónovou hodnotou 100 %.	42
Tabulka 6. Vypočítané hodnoty barvové odchylky ΔE_{ab}^* vzorku podrobenému přirozenému stárnutí v pokojových podmínkách ve tmě po dobu 177 dní. Hodnoty jsou uvedeny pro políčka s tónovou hodnotou 40 a 100 %.	42
Tabulka 7. Hodnoty barvové odchylky jednotlivých barevných odstínů v průběhu 6 měsíců pro políčka s 40% tónovou hodnotou.	44
Tabulka 8. Hodnoty barvové odchylky jednotlivých barevných odstínů v průběhu 6 měsíců pro políčka s 100% tónovou hodnotou.	44

ÚVOD

Ačkoli se fotografie v dnešní digitální době uchovávají především v elektronické podobě, zájem o kvalitní tisky fotografií stále přetrvává. Tištěné fotografie si stále drží své místo – ať už jako umělecká díla, historické a archivní fotografie nebo jako vzpomínky do rodinného alba. Pro spoustu lidí představuje výtisk nejen hmatatelný záznam okamžiku, ale také spolehlivější formu uchování informací, která není závislá na měnících se technologiích, či ztrátě dat.

Důležitým parametrem tisků fotografií je jejich dlouhodobá trvanlivost a stabilita. Jedním z klíčových parametrů, který ovlivňuje životnost fotografií, je světlostálost barev. Jedná se o schopnost barev odolávat degradaci, která může být způsobena různými faktory, jako je působení světla, UV záření, tepla, vzdušných polutantů apod. Právě tato vlastnost především určuje, jak dlouho si fotografie zachová svou barevnost a celkovou kvalitu.

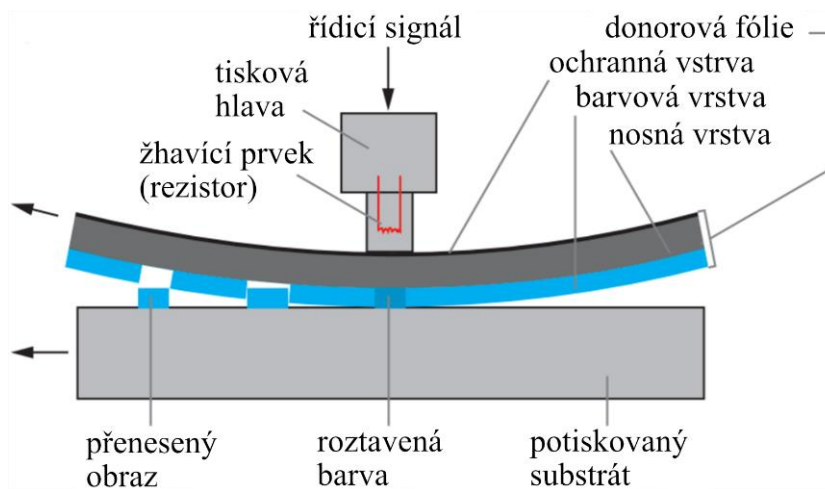
Cílem této bakalářské práce bylo zhodnotit světlostálost výtisků z fototiskárny DS-RX1 HS od společnosti DNP, která pracuje na principu termografické tiskové technologie D2T2. V práci jsou porovnány výsledky vzorků tisků vystavených různým typům stárnutí a změna barevnosti je hodnocena pomocí barvové odchylky ΔE_{ab}^* a reflexních spekter. Výsledky mohou posloužit jako praktický přehled o dané tiskové technologii z hlediska světlostálosti a dlouhodobého uchování výtisků.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Termografie

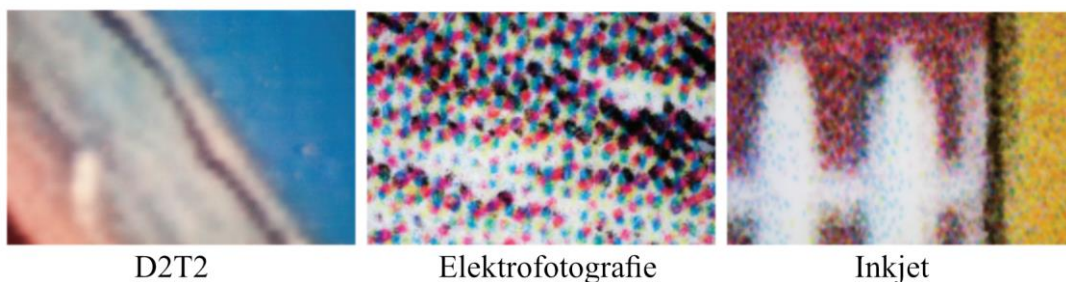
Jedná se o digitální tiskovou technologii, která využívá tepelnou energii k vytvoření obrazu. Lze ji rozdělit na přímou a nepřímou termografii [1]. Přímá termografie využívá k tisku speciální papír s teplotlivým povrchem, jenž při zvýšení teploty mění barvu. Nejčastěji se s touto technikou můžeme setkat při tisku účtenek a jízdenek. Při nepřímém termografickém tisku se používá speciální fólie (tzv. donorová), ze které se barva pomocí tepla přenáší na potiskovaný materiál.

Nepřímou metodu lze rozdělit na sublimační a termální. První metoda, využívá k přenosu barviva sublimaci, což je přechod z pevného skupenství přímo do plynného za použití vysokých teplot [1]. Tento plyn následně difunduje do substrátu, kde proniká do pórů, či mezi vlákna a je zde trvale fixován. Nevýhodou je nízké rozlišení způsobené rozptýlením barviva během difuze. Tento proces je nejčastěji používán pro potisk textilu. Pro kvalitní tisk fotografií se nejčastěji používá druhá metoda, se kterou se dá častěji setkat pod pojmem D2T2 (Dye Diffusion Thermal Transfer), ačkoliv je často chybně označována za sublimační tisk. V 80. a 90. letech 20. století, kdy popularita této techniky výrazně vzrostla, vstoupily na trh s touto technologií společnosti jako Canon, Kodak, Hitachi a Sharp [2]. V roce 1991 došlo k přesnějšímu rozlišení mezi metodou D2T2 a sublimačním tiskem, a došlo k rozšíření nabídky vhodných inkoustů [2]. Okolo roku 2000 byly již běžně používány stolní tiskárny a komerční tiskové kiosky, které tiskly fotky na počkání. Tiskárna pomocí tepelné hlavy zahřívá inkoust na donorové fólii, tím ji aktivuje a následně kontaktně přeneše na potiskovaný materiál (Obrázek 1.) [1].



Obrázek 1. Schéma termálního tisku [1].

Donorová fólie může mít podobu pásu, na kterém se střídají procesní barvy CMYK, nebo jak popisuje zdroj [3] je možné černou barvu zaměnit za ochrannou vrstvu, která je nanášena jako poslední a chrání výtisk před okolními vlivy. Jednotlivé barvy jsou postupně nanášeny pomocí jedné tiskové hlavy, nebo všechny najednou pomocí čtyř tiskových hlav [1]. Pro každý výtisk je nutno použít část fólie s novou sadou inkoustů, tudíž velká část jednotlivých barev zůstává nevyužita. Termografii lze také kombinovat s jinými druhy digitálních technik. Příkladem je termotransferový potisk textilních látek. Tato technologie využívá inkoustový tisk a speciální termografický inkoust k tisku obrazu na přenosový papír, který je následně vložen společně s textilem do tepelného lisu. Zde je obraz za pomoci tlaku a teploty přenesen na potiskovaný materiál. Hlavní filmotvornou složkou inkoustů jsou vosky. Potiskovaný materiál musí mít na svém povrchu speciální přijímací vrstvu polymerního charakteru, která umožňuje difuzi barviva do přijímací vrstvy a jeho následnou fixaci. Z popisu této technologie vyplývá, že náklady na provoz zůstávají stejné, i když je tištěn jednobarevný text nebo plnobarevný obraz. Jelikož na donorové fólii po tisku zůstává obrys po použitých barvách, je tento pás tiskárnou znehodnocen, aby po vyřazení nebylo možné přijít na osobní informace, které mohli být tištěny. Standardně se používají tiskové hlavy ohříváné pomocí elektrické energie, ale je možné použít i laserové záření v IČ oblasti [1]. V prvním případě je běžné rozlišení 300–400 dpi, ale při použití laseru je možné dosáhnout až řádově vyššího rozlišení. Mezi výhody patří možnost ovlivnit množství přenesené barvy pomocí teploty, kvalitní barevné podání tisku, plynulé barevné přechody. Podle zdroje [3] stojí za zmínku také jednoduchost obsluhy a prakticky absence údržby. Výtisky vytvořené technologií D2T2 se na první pohled velmi podobají klasickým fotografiím [2]. Při zvětšení lze vidět plynulé přechody (Obrázek 2.), ale mohou se zde někdy také objevit artefakty vzniklé při zpracování, jako je jemný mřížkový vzor způsobený jednotlivými topnými tělisky na termální hlavě. Dále jsou na Obrázku 2. ukázky tisku z elektrofotografické tiskárny a inkjetu. Tisky opatřené ochrannou vrstvou vykazují vysokou odolnost vůči vzdušným polutantům a vlhkosti. Na druhou stranu mají vyšší citlivost na světlo a UV záření, tudíž při nesprávném skladování jsou velmi náchylné k blednutí. Vzhledem k charakteru tisku mohou být tyto výtisky citlivé na působení tepla, které může vést k migraci barviva v přijímací vrstvě. Podle Shibahara a spol. [4] je odhadována životnost při působení světla přibližně 16 let pro barevné plochy, ale pouze 2–3 roky pro šedé tóny. Přestože je D2T2 univerzální tisková technologie, ve srovnání s ostatními digitálními technologiemi je nákladnější a méně energeticky efektivní [2].

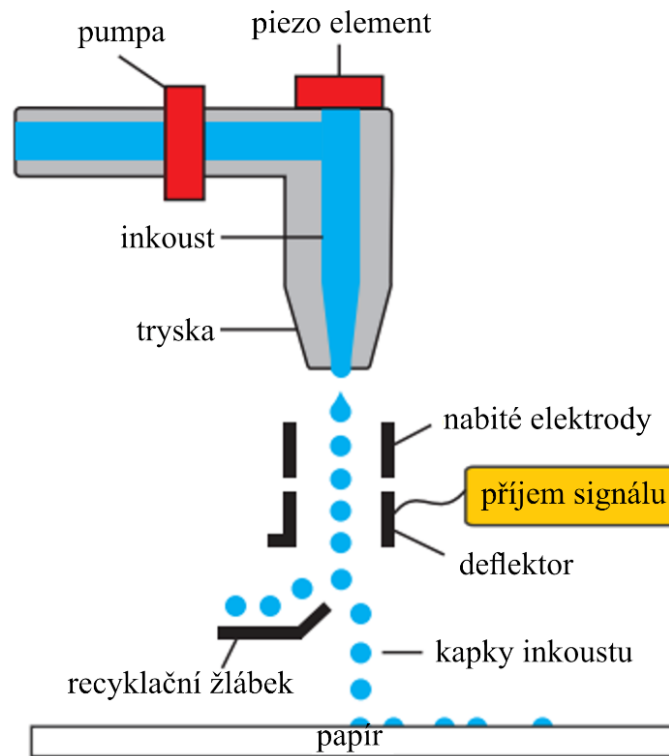


Obrázek 2. Porovnání barevných přechodů mezi digitálními technologiemi tisku [5].

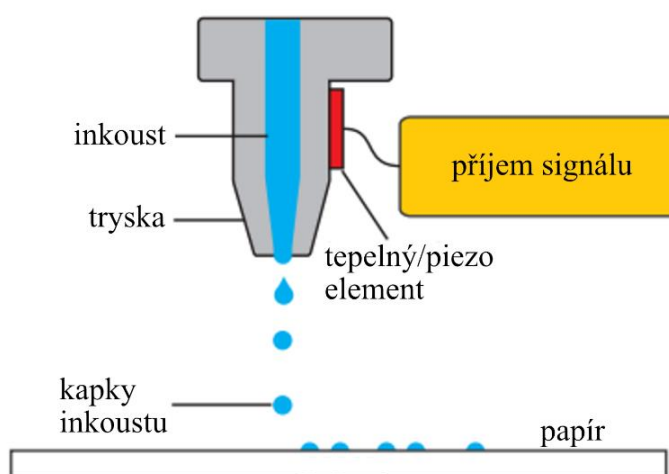
1.2 Inkoustový tisk (inkjet)

Nejjednodušší digitální tiskovou technikou je inkoustový tisk [1]. Inkoust je pomocí tiskové hlavy vystřikován přímo na potiskovaný materiál. Rozděljuje se podle principu řízení tvorby kapek na kontinuální (Obrázek 3.) a tzv. drop-on-demand (Obrázek 4.). Při kontinuálním tisku je pomocí piezoelektrického krystalu tvořen souvislý proud kapek, které jsou vypuzovány mezi dva páry elektrod. Tyto elektrody mohou nabíjet jednotlivé kapky a tím je vychýlit z přímého směru. Vychýlené kapky jsou zachyceny a následně vráceny do zásobníku na inkoust. V případě technologie drop-on-demand jsou na základě digitálních tiskových podkladů tvořeny elektrické impulsy, které oproti kontinuálnímu tisku vystřelují pouze takové kapky, které mají tvořit obraz. Kromě vodou ředitelných inkoustů, které se nejčastěji používají k tisku fotografií, lze tisknout i s inkousty rozpouštědlovými, voskovými, UV zářením tvrditelnými a tavnými [5]. Zdroj [1] uvádí, že kromě inkoustů je možné tisknout i jiné kapaliny jako laky, lepidla, emulze i suspenze funkčních materiálů, a dokonce i živé buňky. Barvotvornou složkou inkoustů jsou barviva nebo pigmenty [5]. Barviva tvoří organické sloučeniny rozpustné v nosném médiu. Oproti tomu pigmenty, které mohou být organického nebo anorganického původu, jsou nerozpustné a obecně poskytují vyšší odolnost vůči vnějším vlivům (např. záření). Kvalita výsledného tisku závisí nejen na inkoustu, ale také na typu potiskovaného materiálu. Běžný kancelářský papír absorbuje inkoust do větší hloubky, čímž dochází ke ztrátě ostroty a sytosti barev. Proto byly vyvinuty papíry se speciální polymerní přijímací vrstvou, které drží inkoust na povrchu tiskoviny. Tyto vrstvy jsou nanášeny na různé typy nosičů. Od běžných matných papírů, přes vysoce lesklé RC (resin-coated) papíry až po barytové papíry, které napodobují vzhled tradičních vyvolávaných fotografií. Podle zdroje [5] vykazuje inkoustový tisk největší variabilitu z hlediska světlostálosti. Její úroveň závisí především na typu použitých inkoustů (barvivové nebo pigmentové) a na vlastnostech tiskového média. Výtisky s barvivovým inkoustem na pórovitých papírech jsou obzvláště náchylné k blednutí a dalším formám degradace způsobené zářením, vlhkostí nebo vzdušnými polutanty. Naopak

pigmentové inkousty na kvalitních, polymery potažených papírech, poskytují výrazně vyšší stabilitu. Pro zajištění delší životnosti se doporučuje chladnější a suché skladování, ideálně bez vystavení přímému světlu. Podle Shibahara a spol. [4] byla odhadována životnost pro barvivové inkousty jen 6 let pro barevné plochy a 4 roky pro šedé plochy. Naproti tomu některé pigmentové inkousty dosahují životnosti přes 40 let a prokázaly vysokou odolnost vůči vzdušným polutantům.



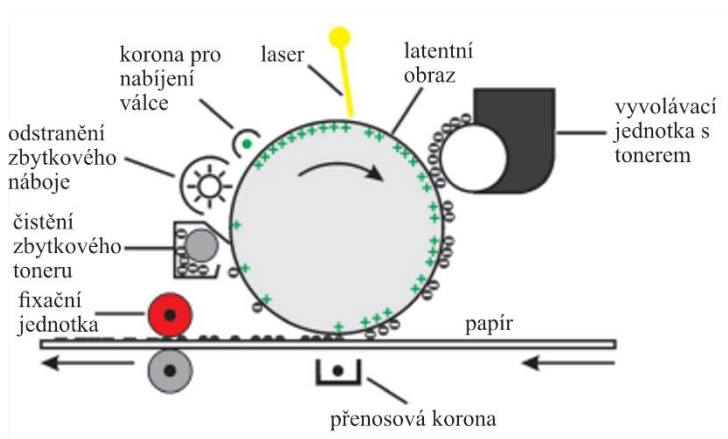
Obrázek 3. Schéma kontinuálního inkoustového tisku [5].



Obrázek 4. Schéma drop-on-demand inkoustového tisku [5].

1.3 Elektrofotografie (laserový tisk)

Druhou významnou technologií je elektrofotografie, která je dnes nejčastěji známa pod jménem laserový tisk [2]. Tento proces byl původně analogový (xerografie), ale s rozvojem počítačů a elektroniky byla technologie upravena pro digitální data. Při tisku se na povrchu fotocitlivého válce vytváří elektrostatický obraz pomocí laserového paprsku řízeného digitálními daty. Vyvoláním se částice toneru přenesou na místa s opačným nábojem, než má toner a tím vzniká tonerový obraz na fotocitlivém válci. Takto vytvořený tonerový obraz na fotovodivém povrchu obrazového válce je na substrát přenášén pomocí elektrostatického pole. Papír, na který má být přenesen obraz, je nabit opačným nábojem než toner, čímž dochází k přenosu toneru na papír (Obrázek 5.). Pro dosažení barevného obrazu je nutno čtyřikrát proces zopakovat pro každou procesní barvu zvlášť [5]. Papíry pro elektrofotografii mohou být běžné kancelářské nebo povrchově upravené pro tisk fotografií. Použité tonery mohou být suché nebo kapalné. Elektrofotografické tisky jsou obecně považovány za velmi stabilní, zejména v případě černobílých výtisků, které využívají toner na bázi uhlíkové černi. Jedná se o materiál, který je známý pro svou dlouhodobou životnost. U barevných elektrofotografických tisků může být míra světlostálosti proměnlivá v závislosti na použitých barvotvorných látkách a potiskovaném substrátu. Obecně však tyto výtisky snesou běžné archivní podmínky a nejsou zvlášť náchylné k degradaci. Podle Shibahara a spol. [4] dosáhly elektrofotografické výtisky životnosti až 21 let pro barevné plochy a více než 40 let pro šedé plochy. Vzorčky také vykazovaly vysokou odolnost vůči vzdušným polutantům.

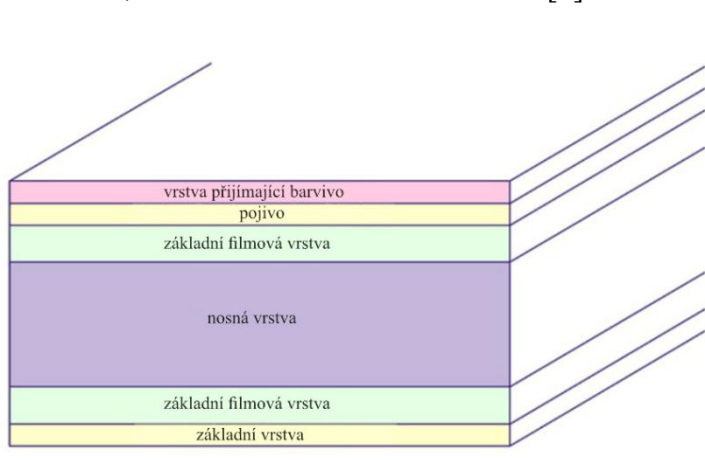


Obrázek 5. Schéma elektrofotografického tisku [5].

1.4 Potiskované substráty

Jak už bylo zmíněno, technologii D2T2 lze použít na potisk speciálních fotopapírů pomocí přímé technologie, nebo pro potisk textilií pomocí nepřímé technologie (termotransfer) [1]. Jelikož barvotvorné látky inkoustů výhradně reagují s polyesterem, je nutno tisknout na

textilie vyrobené s vyšším podílem polyesteru, nebo čistě polyesterové tkaniny [6]. Speciální fotopapíry jsou tvořeny z několika vrstev materiálů (Obrázek 6.). Nejčastěji obsahují polyesterovou přijímací vrstvu, nosič a zadní ochrannou vrstvu [3].



Obrázek 6. Schéma vrstev potiskovaného substrátu pro technologii D2T2 [7].

1.5 Inkousty

1.5.1 Inkousty na vodní bázi

V případě inkoustů na vodní bázi tvoří rozpouštědlo hlavně voda, která může tvořit až 95 % hmotnosti inkoustu [8]. Barvivo tvoří 1–10 % a musí být schopné při teplotách nad 200 °C měnit svou fázi. Další typy rozpouštědel tvoří 5–40 %, kterými mohou být např. glycerol, propylen glykol a dipropylenglykol. Až 5 % tvoří aditiva, která upravují povrchové napětí, zajišťují stabilitu barvy a fungují jako emulgátor inkoustu. Součástí inkoustu jsou také biocidy, které zabraňují tvoření plísní. Tento typ inkoustu je nejčastěji používán v maloformátových tiskárnách k tisku fotografií. Jejich výhodou je nízká toxicita a minimální zápach. Protože je voda absorbována papírem, může mít papír různou tendenci se deformovat v závislosti na plošné hmotnosti a množství přenesené barvy, což může ovlivnit finální výsledek tisku.

1.5.2 Solventní inkousty

Solventní inkoust tvoří v organická rozpouštědla s nízkým bodem varu, která slouží jako nosič a rozpouštědlo barviv a současně ovlivňují fyzikálně-chemické vlastnosti inkoustu [8]. Součástí inkoustu jsou také stabilizátory a povrchově aktivní látky. Mezi hlavní složky solventních inkoustů patří zejména acetáty, které tvoří až 95 %. Pokud inkoust obsahuje pigmenty, nejsou tyto barvotvorné složky v acetátu rozpustné. Solventní inkousty se používají ve velkoformátovém tisku a k potisku různých pevných materiálů. Výhodou je, že nedeformují papír při tisku a je možné je použít také k tisku na keramiku a kovové předměty.

1.6 Vliv okolního prostředí na světlostálost tisků

Důležitou vlastností tiskoviny je její schopnost odolávat okolním podmínkám. Záleží na účelu tiskoviny, jakým vnějším podmínkám bude vystavována. V případě např. billboardů bude tiskovina každý den vystavována různým teplotám, vlhkosti, rozdílným intenzitám slunečního záření, polutantům v ovzduší apod., které mohou ovlivnit její vzhled, a tudíž je třeba brát v potaz použití různých technologií a způsobů, jak tiskovinu ochránit před těmito vlivy. V případě fotografií je potřeba zajistit, aby si zachovaly svou správnou barevnost i po několik desítek let. Na stabilitu fotografií a tisků má velký vliv způsob a podmínky skladování. Největší vliv má UV záření, které výrazně urychluje stárnutí tiskoviny a její barevnou stabilitu. Jak je známo, inkousty, které obsahují částice pigmentů, jsou výrazně odolnější vůči těmto vlivům, a protože technologie D2T2 využívá inkousty bez přítomnosti pigmentů, je třeba tyto tiskoviny opatřit ochrannou vrstvou, která zajistí aspoň částečnou odolnost vůči okolním vlivům.

1.6.1 Vliv světla a UV záření na degradaci tiskoviny

Světlo je elektromagnetické záření, které je lidské oko schopné vnímat [1]. Tato viditelná část elektromagnetického spektra se nachází přibližně v rozmezí vlnových délek 380 až 760 nm. Na okrajích tohoto spektra elektromagnetické záření přechází do oblasti infračerveného (delší vlnové délky) a ultrafialového záření (kratší vlnové délky). Právě ultrafialové záření má největší podíl na degradaci tiskovin díky své vysoké energii [9]. Po dopadu záření na tiskovinu dochází k absorpci fotonů molekulami barvy a substrátu. Tato absorpce elektromagnetického záření způsobí excitaci elektronů ze základního stavu. Tento stav je nestabilní a molekuly se snaží přebytečné energie zbavit. To se může dít pomocí vnitřní konverze, kdy je energie převedena na vibrace a teplo. Jedná se o nejběžnější relaxační mechanismus, který nezpůsobuje poškození molekuly. K degradačním změnám dochází ve chvíli, kdy excitovaná molekula vstoupí do fotochemické reakce. Nejčastěji se jedná o fotooxidaci, při níž molekula reaguje s kyslíkem. To vede k rozkladu molekuly barvy a ztrátě její barevnosti. Mezi další důležité faktory patří volba použité barvotvorné složky inkoustu (barvivo nebo pigment), typ potiskovaného materiálu, ochranná vrstva tiskoviny (lak, laminační fólie) apod. Pokud bude použit méně kvalitní inkoust, tak tiskovina bude podléhat mnohem více fotodegradaci v důsledku absorpce záření ve viditelné a ultrafialové části spektra. V případě papíru je nejčastější forma fotodegradace žloutnutí. Žloutnutí je nejčastěji způsobeno oxidací ligninu obsaženém v papíru. Do papíru jsou přidávány stabilizátory, které zpomalují vznik chromoforů a zpomalují proces žloutnutí a dále opticky zjasňující prostředky, které potlačují žloutnutí fluorescencí v modré části viditelného spektra.

1.6.2 Vliv vlhkosti na degradaci tiskovin

Vlhkost představuje jeden z významných degradačních faktorů ovlivňujících životnost tiskovin, a to jak z hlediska mechanické stability substrátu, tak z hlediska chemické stálosti inkoustů [9]. Relativní vlhkost prostředí může urychlit degradaci papíru a inkoustů tím, že podporuje hydrolytické a oxidační procesy, které vedou ke křehkosti, žloutnutí papíru a blednutí barev. Podle zdroje [10] zvyšuje vysoká relativní vlhkost fotodegradaci zejména u barvivových inkoustů a tím tak urychluje ztrátu barevnosti. Kromě chemických reakcí dochází ve vlhkém prostředí také k migraci barev [9]. Tento jev je typický zejména u vodou ředitelných a barvivových inkoustů. V kombinaci s kapilárním efektem může vlhkost způsobit nevratné změny ve vzhledu tiskoviny.

1.6.3 Vliv teploty na degradaci tiskoviny

Zdroj [9] uvádí, že zvýšená teplota ovlivňuje nejen strukturu substrátu, ale také reaktivitu tiskových barev, jejich odpařování, blednutí nebo rozklad. Vyšší teplota může také podpořit chemické reakce, které vedou k degradaci barev a tiskového substrátu, zejména pokud působí v kombinaci s vlhkostí a zářením. Studie [10] dále ukazuje, že zvýšená teplota urychluje fotodegradaci, protože zvyšuje kinetickou energii molekul, a tím i pravděpodobnost vzniku reaktivních meziproductů. Barvy uchovávané při vyšších teplotách vykazovaly rychlejší blednutí, a to i při stejné expozici UV záření. Kromě barvy teplota nepříznivě ovlivňuje také potiskovaný substrát. Zvýšená teplota společně s vyšší vlhkostí může výrazně urychlit křehnutí a celkovou mechanickou pevnost tiskoviny. Dále také tvoří ideální podmínky pro růst plísní, které mohou nadále nepříznivě ovlivňovat vzhled a životnost tiskoviny.

1.6.4 Vliv vzdušných polutantů na degradaci tiskoviny

Kromě světla, teploty a vlhkosti ovlivňují životnost tiskovin i reaktivní plyny přítomné v ovzduší tzv. vzdušné polutanty [9]. Mezi nejčastější patří ozon (O_3), oxidy dusíku (NO a NO_2) a oxidy síry (SO_2). Tyto látky reagují s organickými složkami papíru a tiskových barev, čímž urychlují chemickou degradaci materiálu, často i bez přímého působení záření. Nejagresivnější z těchto polutantů je ozon, který má silné oxidační účinky. Je schopen napadat dvojně vazby v molekulách organických barev a způsobovat jejich štěpení, což se může projevit jako blednutí nebo změna odstínu. Oxidy dusíku přispívají ke stárnutí tiskovin především tím, že ve vlhkém prostředí reagují s vodní parou za vzniku kyseliny dusičné (HNO_3), která proniká do papíru. Důsledkem je snížení pH, což urychluje žloutnutí a křehnutí papíru. Podle zdroje [9] oxidy dusíku rovněž podporují oxidaci některých pigmentů a mohou vést ke změně barevnosti.

Podobný účinek mají i oxidy síry, které ve vlhkém prostředí tvoří kyselinu siřičitou nebo sírovou. Tyto kyseliny mohou rozkládat nejen celulózu, ale také anorganické pigmenty obsažené v papíru, čímž dochází ke ztrátě vizuálního efektu.

1.7 Metody hodnocení stárnutí tiskovin

Hodnocení stárnutí tiskovin je důležitým aspektem při posuzování jejich trvanlivosti a barevné stálosti, zejména v oblasti archivnictví a polygrafického průmyslu [11]. Jak už bylo zmíněno v kapitole 1.6, tiskoviny jsou v průběhu času vystaveny různým vnějším faktorům jako jsou záření, teplotní výkyvy, vlhkost a chemické znečištění. Aby bylo možné tyto vlivy simulovat a vyhodnotit jejich dopad, využívají se různé metody, které simulují reálné podmínky a umožňují tak hodnocení jejich chování v čase. Mezi nejčastěji používané patří metody přirozeného exteriérového a interiérového stárnutí a laboratorní urychlené stárnutí. Přirozené exteriérové stárnutí probíhá za skutečných venkovních podmínek, kdy jsou vzorky dlouhodobě vystaveny působení slunečního záření, dešti, vlhkosti, větru a teplotním výkyvům. Vzorky bývají umístěny v klimaticky náročných lokalitách a jsou nejčastěji orientovány směrem na jih pod standardizovaným úhlem, aby absorbovaly co nejvíce záření. Výsledky takového testování jsou velmi realistické a odpovídají skutečnému chování tiskovin při dlouhodobém vystavení exteriérovým podmínkám. Nevýhodou je však jeho časová náročnost, protože změny se mohou projevit až po několika měsících nebo letech. Druhou metodou je přirozené interiérové stárnutí, při němž jsou tiskoviny umístěny do běžného vnitřního prostředí a jsou tak vystaveny typickým podmínkám jakými jsou pokojová teplota, mírná relativní vlhkost a běžný osvit skrze okna nebo umělé osvětlení. Výhodou interiérového testování je vysoká relevance výsledků, ale i zde platí, že měření je zdlouhavé a velmi časově náročné [11]. Nejefektivnějším nástrojem pro rychlé porovnání odolnosti různých materiálů je metoda urychleného laboratorního stárnutí. Tato metoda nejčastěji využívá zařízení s xenonovými výbojkami, které dokážou produkovat kontinuální spektrum záření, které velmi dobře odpovídá přirozenému dennímu světlu včetně ultrafialové, viditelné i infračervené oblasti. Pro dosažení simulace venkovních nebo interiérových podmínek se používají optické filtry, které upravují spektrální složení záření podle konkrétní aplikace např. pro simulaci denního světla v interiéru, exteriéru, s vyšším podílem UV záření apod. [11]. Testovací zařízení umožňují také nastavení teploty, relativní vlhkosti a intenzity ozáření. Některá zařízení umožňují i skrápění vodou nebo solnými roztoky, což slouží k simulaci srážek, kondenzace nebo korozní prostředí. Výsledek může ovlivnit vzdálenost vzorku od světelného zdroje, natočení a celková konfigurace prostoru, proto je nutno provádět rotace vzorků a dodržují se přesné standardy rozmístění. Tato metoda výrazně

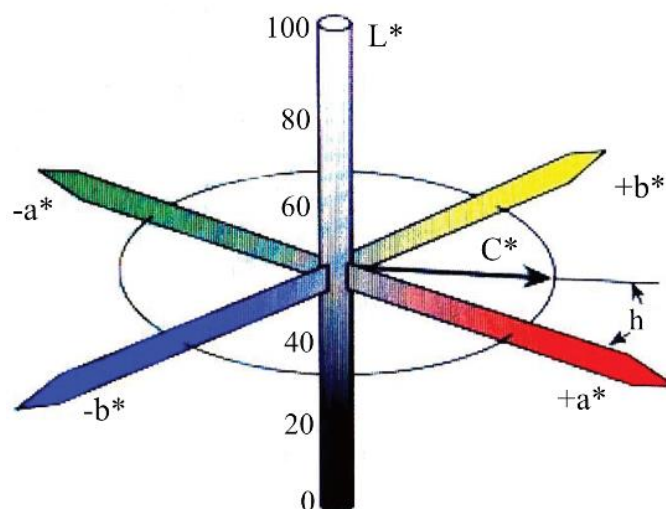
zkracuje dobu testování a poskytuje rychlé a srovnatelné výsledky týkající se barevné stálosti, změny vzhledu i mechanických vlastností tiskovin. Výsledky však nemusí zcela přesně odpovídat přirozenému stárnutí, jelikož kratší doba testování v kombinaci s výrazně vyšší intenzitou ozáření omezuje účinek dalších faktorů, které se v běžných podmínkách projevují pozvolna, například působení vzdušné vlhkosti či vzdušných polutantů. Navíc jsou vzorky často vystaveny vyšším teplotám, než jakým by byly běžně vystaveny při praktickém použití, což může ovlivnit mechanismus i rychlost degradace [11].

1.8 Měření barevnosti

Kolorimetrie se zabývá objektivním měřením a popisem barev pomocí číselných hodnot [1]. V polygrafii hraje klíčovou roli při zajišťování konzistence barevného podání napříč různými tiskovými zařízeními a médii. Kolorimetrie umožňuje převést subjektivní vnímání barev na objektivní data. Barevnost objektu je ovlivněna světelným zdrojem a pozorovatelem. Měření se často provádí ve standardizovaných podmínkách, aby bylo možné výsledky srovnávat napříč různými zařízeními a aplikacemi.

1.8.1 Barvové prostory

Pro popis barev se používají různé barvové prostory (např. CMY, RGB, CIELAB, CIELUV) [1]. V polygrafii je nejčastěji používán prostor CIELAB (Obrázek 7.). V tomto barvovém prostoru jsou na horizontální rovině osy a^* a b^* , přičemž na ose a^* odpovídají záporné hodnoty zelené barvě a na kladné odpovídají barvě červené. Na ose b^* odpovídají záporné hodnoty modré barvě a kladné hodnoty odpovídají barvě žluté. Vertikální osa L^* odpovídá měrné světlosti, nabývá hodnot 0–100. Tento prostor byl navržen tak, aby změny hodnot odpovídaly vnímání rozdílů barev lidským okem [1].



Obrázek 7. Barvový prostor CIELAB [12].

1.8.2 Objektívni měření barevnosti v praxi

V oblasti polygrafie představuje měření barevnosti důležitý nástroj pro objektivní kontrolu kvality tisku a posouzení vizuálních vlastností tiskovin [1]. Zatímco lidské oko vnímá barvy subjektivně, optické přístroje jako denzitometry, kolorimetry a spektrofotometry umožňují kvantifikovat barevné vlastnosti tiskových vzorků. Denzitometry jsou optická zařízení určená primárně pro měření optické hustoty barevných nebo černobílých vrstev. Využívají filtry pro simulaci spektrální citlivosti lidského oka a převádějí odražené světlo na měřitelné hodnoty. Rozlišujeme geometrie 0 : 45 nebo 45 : 0, které umožňují potlačení vlivu zrcadlového lesku povrchu vzorku. Umožňují také výpočet tiskových parametrů, jako jsou tónová hodnota, nárůst tiskového bodu nebo tiskový kontrast. Kolorimetry jsou přístroje, které měří barevné charakteristiky tiskovin na základě odraženého světla povrchem přes tři barevné filtry simulující spektrální citlivost oka. Zdroj [1] uvádí, že v dnešní době se již kolorimetry nepoužívají, jelikož byly plně nahrazeny spektrofotometry. Spektrofotometry jsou nejpřesnějšími zařízeními pro měření barevnosti. Pracují na principu spektrální analýzy odraženého světla, přičemž získávají spektrální data v rozsahu viditelného spektra. Umožňují výpočet všech důležitých barvových parametrů, včetně souřadnic CIE $L^* a^* b^*$, metamerického indexu nebo spektrální odrazivosti. Dále mohou využívat polarizační filtry, které pomáhají eliminovat zrcadlový odraz při měření lesklých povrchů. Moderní spektrofotometry jsou často propojeny s vyhodnocovacím softwarem a jsou používány nejen v laboratorních podmínkách, ale také v automatizovaných systémech kontroly kvality tisku [1].

1.8.3 Hodnocení barevnosti

Hodnocení barevnosti je jedním ze zásadních aspektů posuzování kvality tiskovin, a to jak z hlediska vizuálního dojmu, tak i v rámci kontroly reprodukční věrnosti při výrobě [1]. Barevnost lze hodnotit buď subjektivně pomocí vizuálního porovnání vzorku s etalonem nebo objektivně pomocí přístrojového měření. Jak už bylo řečeno v kapitole 1.8.1, objektivní hodnocení barevnosti se v současné praxi standardně provádí ve spektrálně definovaných barvových prostorech, nejčastěji CIELAB, který umožňuje barevné rozdíly specifikovat pomocí barvové odchylky ΔE . Nejstarší, ale stále široce využívanou verzí je ΔE_{ab}^* z roku 1976 definována jako:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

kde ΔL^* je rozdíl měrné světlosti vzorku a standardu ($\Delta L^* = L_{vz}^* - L_{st}^*$). Obdobně jsou vypočítány hodnoty pro Δa^* ($\Delta a^* = a_{vz}^* - a_{st}^*$) a Δb^* ($\Delta b^* = b_{vz}^* - b_{st}^*$).

Tato metoda počítá vzdálenost mezi dvěma body v prostoru CIELAB. Přestože ΔE_{ab}^* poskytuje základní přehled o rozdílu barev, v některých případech nemusí odpovídat vjemu lidského oka, a proto byly vyvinuty přesnější metriky jako ΔE_{94}^* a ΔE_{00}^* (z let 1994 a 2000) [1]. Přesnost hodnocení závisí na podmínkách měření. Zásadní je použití standardizovaného světelného zdroje (např. D₅₀ nebo D₆₅) a standardního pozorovatele (2° nebo 10° dle doporučení CIE). V praxi se barvová odchylka používá např. ke kontrole kvality tisku při porovnání výtisku s referenčním vzorkem nebo zkušebním nátiskem. V průmyslu se často řídí stanovenými normami, nebo požadavky zákazníka. Barvová odchylka tak slouží jako klíčový nástroj při hodnocení tiskovin v polygrafii [1].

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Použité přístroje

Fototiskárna DS-RX1 HS od společnosti DNP

Jedná se o termografickou tiskárnu určenou pro tisk fotografií. K tisku využívá tepelnou hlavu, která přesně kontroluje teplotu a díky tomu zvládne tisknout až 256 odstínů od každé barvy [13]. Tato technologie je schopna tisknout až 16,77 milionů odstínů díky kombinaci tří základních procesních barev CMY (azurová, purpurová, žlutá). DS-RX1 HS tiskne s rozlišením 300×300 dpi nebo 300×600 dpi s nastavením pro vyšší rozlišení [14]. Maximální potiskovaný formát je 15×20 cm. Standardní formát 10×15 cm lze jednostranně vytisknout za necelých 13 sekund. Barvy tiskne postupně v pořadí YMCO, kde černou nahrazuje transparentní vrstva (O), která má za účel chránit výtisk a v nastavení aplikace lze nastavit konečný efekt povrchové úpravy této vrstvy, a to buď lesklý, nebo polomatný.

Ruční spektrofotometr X-Rite eXact

Ruční spektrofotometr x-Rite eXact je profesionální reflexní spektrofotometr, určený pro měření barevných charakteristik tisků [15]. Zařízení umožňuje měření v několika standardizovaných režimech (M0, M1, M2 a M3) dle normy ISO 13655. Přístroj je vybaven dotykovým barevným displejem a interní kalibrační destičkou pro zajištění přesné kalibrace před měřením. Spektrofotometr podporuje komunikaci s počítačem přes rozhraní USB, případně bezdrátově pomocí Bluetooth. Pomocí specializovaného softwaru (např. eXact Manager nebo DataMeasure) lze přístroj konfigurovat a exportovat naměřená data.

Pro měření v rámci této bakalářské práce byl použit zdroj osvětlení D_{50} , 2° pozorovatel a režim M1. Měřeny byly hodnoty L^* , a^* , b^* a dále reflexní spektrum v intervalu vlnových délek 400–700 nm s krokem 10 nm.

Přístroj pro urychlené stárnutí Q-SUN Xe-1-B

Q-SUN Xe-1-B je laboratorní zařízení určené k testování urychleného stárnutí tiskovin pomocí xenonové výbojky [16]. Umožňuje různé nastavení teploty a intenzity ozáření. Regulace teploty je řízena pomocí černého teplotního panelu s rozsahem 45–100 °C v závislosti na použitém filtru a nastavení. Zařízení umožňuje použití různých UV filtrů, které napodobují specifické podmínky ozařování (např. přímé sluneční světlo, filtr k simulaci světla procházející oknem, nebo Q/B filtr používaný v automobilovém průmyslu, který propouští více UV záření).

Při testování byl použit filtr simulující podmínky v exteriéru. Spektrální intenzita ozáření měřená při vlnové délce 340 nm byla 0,51 W/m²nm. Teplota černého panelu byla po celou dobu ozařování udržována na 65 °C.

2.2 Použité materiály

Substrát DNP Standart Digital 205 g/m²

Pro tisk vzorků byl použit substrát od společnosti DNP typu Standart Digital 205 g/m² [17]. Výrobce dodává materiál v roli o šířce 15 cm a délce odpovídající 700 výtisků tiskárny. Toto médium je opatřeno přijímací vrstvou pro barvivo. Jedná se o speciální fotopapír určený přímo pro použitou fototiskárnu. V softwaru lze nastavit, zda bude výsledný povrch lesklý či polomatný.

Barvicí fólie

Barvicí fólie od společnosti DNP je určená pro použitou tiskárnu v konfiguraci CMYO [17]. Výrobce dodává barvicí fólii spolu s potiskovaným materiálem.

2.3 Použité experimentální metody

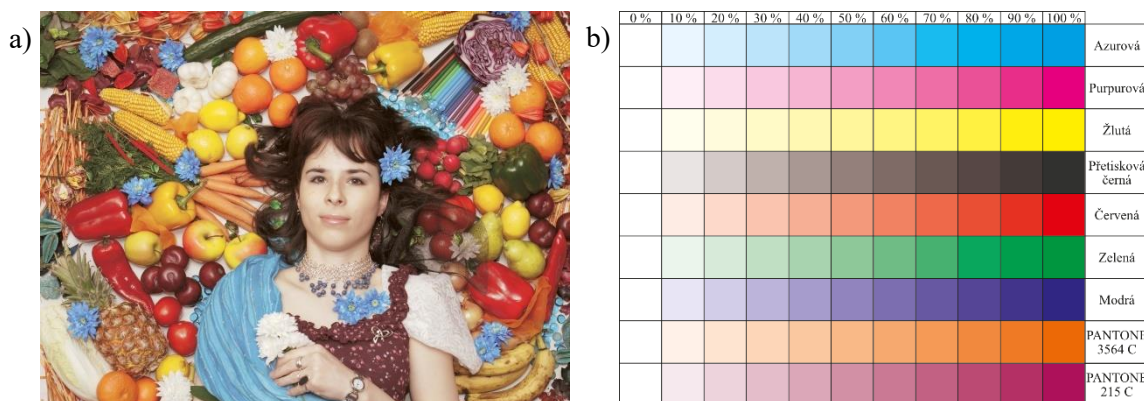
K hodnocení světlostálosti fotografií byla použita metoda urychleného laboratorního stárnutí v zařízení Q-SUN Xe-1-B, a dále také metoda přirozeného stárnutí v interiéru, kdy jedna sada vzorků byla ponechána ve tmě a druhá na stole v místnosti, kde jsou okna orientovaná na jih. Vzdálenost vzorků od okna byla přibližně 1 metr. Jako kritérium pro posuzování světlostálosti byla zvolena barvová odchylka ΔE_{ab}^* (vzorec 1) vztahující se k hodnotám L^* , a^* , b^* souřadnic naměřených před začátkem testu a následně v různých časových intervalech po dobu necelých šesti měsíců (177 dní).

2.3.1 Příprava vzorků

K testování byly vytvořeny celkem čtyři sady vzorků, kdy dvě byly určeny pro testování pomocí urychleného stárnutí v komoře Q-SUN Xe-1-B, třetí byla určena pro testování vzorků ve tmě a čtvrtá byla určena pro testování v interiéru za pokojových podmínek (běžné osvětlení).

Daná sada obsahovala vždy dvě fotografie, kdy na jedné byla pestrobarevná fotografie (Obrázek 8. a)) a na druhé byl testovací obrazec skládající se z procesních barev CMY (Obrázek 8. b)), kde černá byla vytvořena pomocí přetisku těchto barev, přetiskových barev RGB a dvou barev PANTONE. Jako PANTONE barvy byly zvoleny PANTONE 215, což je barva reprezentující fakultní logo a PANTONE 3564. Každá z barev byla rozdělena na

11 políček, v rozsahu tónových hodnot 0–100 % (krok 10 %). Rozměr jednoho políčka činil 10 × 10 mm.



Obrázek 8. Vzorky tisků pro sledování světlostálosti výtisků z tiskárny DS-RX1 HS; a) pestrobarevná fotografie [1]; b) testovací obrazec.

2.3.2 Postup měření

První dvě sady pro přirozené stárnutí byly vytisknuty a proměřeny dne 26. 11. 2024. Jedna z těchto sad byla uložena do papírové složky a umístěna do šuplíku stolu pro zamezení přístupu světla k těmto vzorkům. Druhá sada byla ponechána na polici ve stejné místnosti (stejná teplota okolí při stárnutí vzorků), kde byla vystavena každodennímu osvětlení (přirozené světlo a světlo z LED osvětlení místnosti). Tyto vzorky byly do 28. 1. 2025 proměřovány každý týden a pomocí získaných L^* , a^* , b^* hodnot byla vypočítána barvová odchylka ΔE_{ab}^* . Následně byl aplikován dvoutýdenní interval měření až do ukončení testování dne 22. 5. 2025. Referenční vzorek byl proměřen třikrát, aby bylo co nejvíce zamezeno vzniku odchylky měření. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány a použity jako referenční hodnoty pro výpočet barvové odchylky v průběhu stárnutí. Následné měření spektrofotometrem X-Rite eXact v určitých intervalech bylo prováděno dvakrát. Získané hodnoty L^* , a^* , b^* byly opět zprůměrovány a použity pro výpočet barvové odchylky. Celková doba expozice těchto vzorků činila 177 dní.

Dne 3. 3. 2025 byla vytisknuta další sada, která byla podrobena testování v zařízení k urychlenému stárnutí Q-SUN Xe-1-B a byla celkově měřena po dobu 72 hodin. První měření L^* , a^* , b^* hodnot proběhlo po dvou hodinách ozařování. Druhé po dalších třech hodinách, a třetí po 19 hodinách (celkem 24 hodin). Následná měření probíhala vždy po 24 hodinách ozařování, tedy při celkové době 48 a 72 hodin. Toto měření ukázalo, že zvolené intervaly byly moc dlouhé (dosažené barvové odchylky byly výrazné), tudíž byl test opakován s kratšími časovými intervaly. Prvních 24 hodin byl zvolen dvouhodinový interval měření a po uplynutí této doby byl interval změněn na šestihodinový až do ukončení testu (celkem 72 hodin). Po každém časovém intervalu byl vzorek dvakrát změřen pomocí spektrofotometru, kterým byly získány

hodnoty reflexního spektra a hodnoty L^* , a^* , b^* , pomocí kterých byla vypočítána barvová odchylka ΔE_{ab}^* .

Dále byla hodnocena stabilita/rozdílnost tisků v čase po vytištění. Přibližně každý měsíc byl vytištěn nový testovací obrazec a proměřeny hodnoty L^* , a^* , b^* . Z těchto hodnot byla spočítána barvová odchylka (vztahováno vždy k prvnímu výtisku ze dne 26. 11. 2024) a hodnocena stabilita tisku v čase.

3 VÝSLEDKY A DISKUZE

3.1 Urychlené stárnutí vzorků pomocí zařízení Q-SUN Xe-1-B při 65 °C

Pomocí ručního spektrofotometru X-Rite eXact byly proměřovány jednotlivé vzorky v daných intervalech během ozařování v zařízení Q-SUN Xe-1-B a z jejich měření byly zjištěny hodnoty L^* , a^* , b^* pro jednotlivá testovací políčka. Pomocí těchto hodnot byla vypočítána barvová odchylka. Měřením byly získány také hodnoty reflexních spekter.

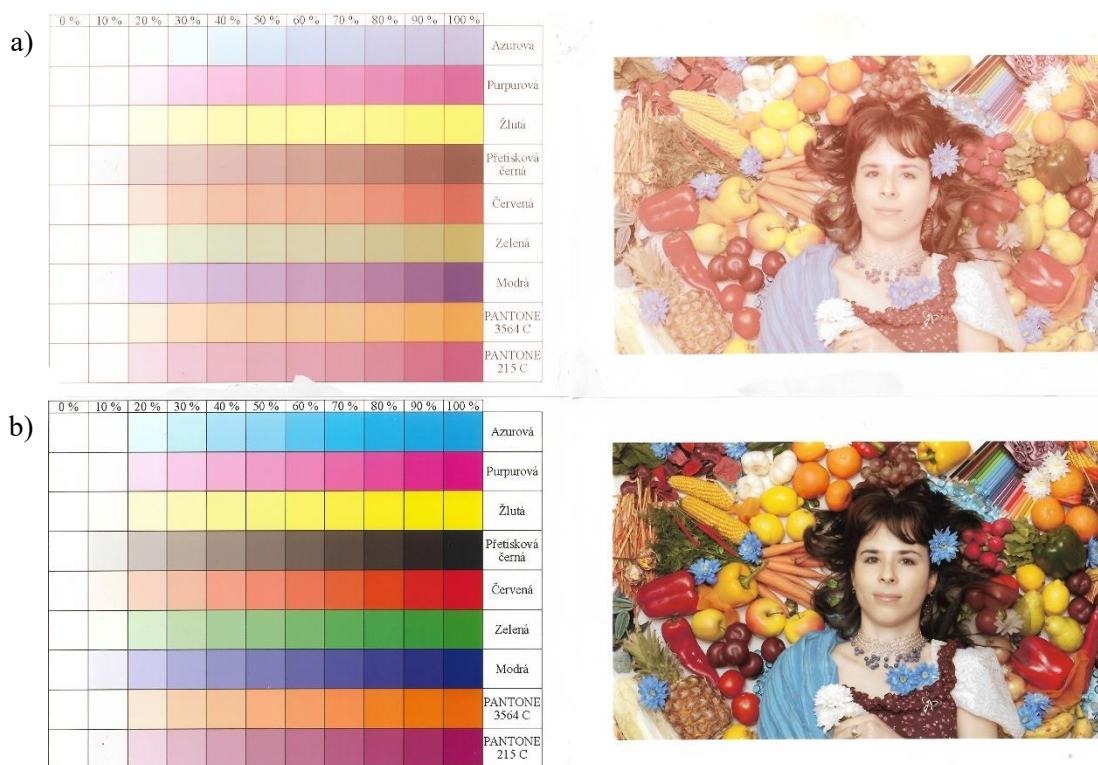
V Tabulce 1. jsou shrnuty hodnoty parametrů L^* , a^* , b^* jednotlivých barevných odstínů před a po celkové době ozařování (72 hodin) pro políčka s tónovou hodnotou 100 %. V Tabulce 2. jsou uvedeny barvové odchylky jednotlivých odstínů pro tónové hodnoty 40 a 100 % pro jednotlivé doby ozařování. Dále jsou v Tabulce 1. a 2. uvedeny hodnoty pro nepotištěný papír. Z hodnot v Tabulce 2. byly sestrojeny také grafy (viz Obrázek 10.). Změny v parametrech L^* , a^* , b^* ukazují na barevný posun jednotlivých složek v důsledku urychleného stárnutí. V klasickém pojetí by byly barvy rozděleny na procesní barvy C, M, Y, K a soutiskové barvy R, G, B, P3564, P215. V případě této tiskárny (fototiskárna DS-RX1 HS) je ale černá barva získávána soutiskem procesních barev, tedy azurové, purpurové a žluté, a proto do těchto barev není zahrnuta. Soutiskové barvy (K, R, G, B, P3564, P215) jsou složeny z barev procesních.

V případě procesních barev (C, M, Y) lze z naměřených souřadnic L^* , a^* , b^* a vypočítaných barvových odchylek pozorovat největší barevnou změnu u azurové barvy. Její výrazné změny ve všech souřadnicích způsobují blednutí a ztrátu sytosti barvy natolik, že připomíná spíše šedou barvu s nádechem azurové. Tento jev je patrný především pro tónové hodnoty 70 až 100 %. U nižších tónových hodnot se barva jeví jako azurová, ačkoli silně vybledlá (viz Obrázek 9. a)). V případě purpurové a žluté barvy se nejvýznamnější změny projevují především v jejích hlavních složkách (purpurová a^* , žlutá b^*), což způsobuje jejich silné vyblednutí.

V případě soutiskových barev (K, R, G, B, P3564, P215) lze největší barevnou změnu pozorovat u barev černé, zelené a modré. Černá barva, tvořena přetiskem všech procesních barev, jeví výrazný nárůst všech souřadnic do kladných hodnot. To způsobuje, že se barva jeví spíše do hněda (viz Obrázek 9. a)). Zelená barva, tvořena přetiskem azurové a žluté, jeví výrazný nárůst v souřadnici a^* až do kladných hodnot a výrazný posun v souřadnici L^* . To způsobuje její největší barvovou odchylku ze všech barev. Z Tabulky 2. lze také pozorovat, že zelená společně s černou barvou měli nejhorší světlostálost již při nízkých dobách ozáření, což je viditelné především u 100% tónové hodnoty. Modrá barva, tvořena přetiskem azurové

a purpurové, jeví velký posun v souřadnici b^* a výrazný posun také v souřadnicích L^* a a^* . To způsobuje až fialový vjem barvy (viz Obrázek 9. a)). Tyto barvy mají společnou azurovou složku, z toho lze usoudit, že za jejich odolnost může především špatná světlostalost azurové barvy. Probíhá zde pravděpodobně katalytické stárnutí, kdy degradací jedné složky barvy dochází k podpoření degradace molekul i druhé barvy. V případě červené a barev PANTONE lze pozorovat, že jejich světlostalost je výrazně lepší než u ostatních soutiskových barev. To lze přikládat faktu, že jejich složky neobsahují azurovou barvu, nebo ji obsahují v menším množství.

V případě papíru lze pozorovat především změnu ve složce b^* . Celková barvová odchylka byla po ukončení testu 6,5. Z Obrázku 9. a) je patrné, že papír nabývá jemně nažloutlého tónu oproti referenčnímu vzorku.



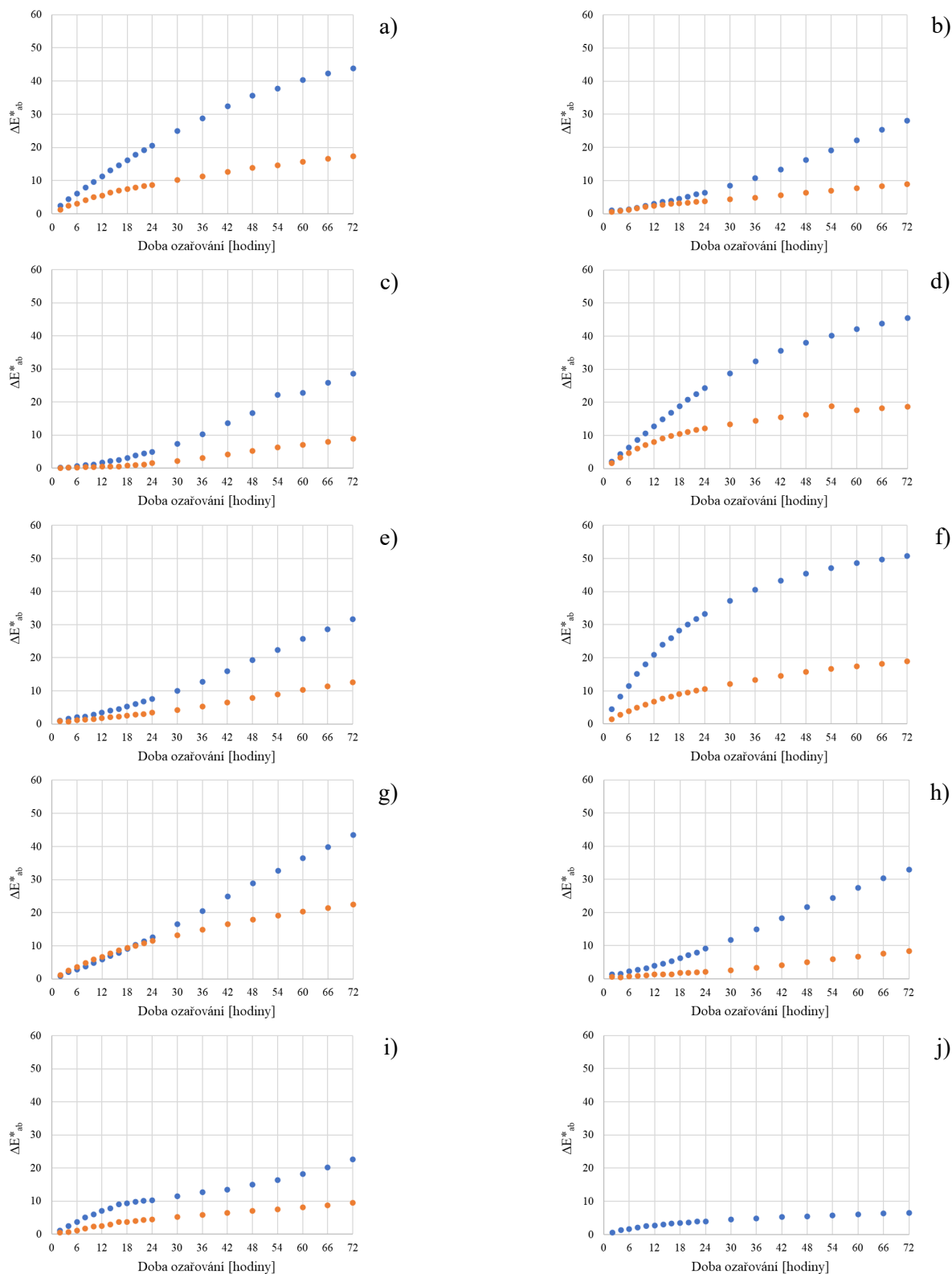
Obrázek 9. a) Testované vzorky po 72 hodinách ozařování v zařízení Q-SUN Xe-1-B; b) vzorky po tisku před ozařováním.

Tabulka 1. Naměřené hodnoty L^* , a^* , b^* souřadnic vzorku ozařovaného v zařízení Q-SUN Xe-1-B po dobu 72 hodin a stejného vzorku před ozařováním (0 hodin). Hodnoty jsou uvedeny pro políčka s tónovou hodnotou 100 %.

Barva	Doba ozařování	L^*	a^*	b^*
C	0 hodin	60,90	-15,57	-41,27
	72 hodin	77,67	7,31	-7,79
M	0 hodin	49,49	72,78	-1,69
	72 hodin	60,39	47,38	2,90
Y	0 hodin	90,02	-9,47	83,01
	72 hodin	92,71	-9,95	54,54
K	0 hodin	21,86	-0,61	-2,64
	72 hodin	48,11	27,52	21,44
R	0 hodin	47,75	67,29	44,26
	72 hodin	60,38	39,99	34,48
G	0 hodin	52,13	-44,53	27,85
	72 hodin	73,02	1,17	35,05
B	0 hodin	23,62	23,43	-48,67
	72 hodin	45,31	32,65	-12,18
P 3564	0 hodin	59,15	48,35	57,62
	72 hodin	74,04	20,03	49,97
P 215	0 hodin	38,76	53,96	1,57
	72 hodin	56,93	45,21	11,89
Papír	0 hodin	95,37	0,95	-5,93
	72 hodin	95,18	-0,01	-0,35

Tabulka 2. Vypočítané hodnoty barvé odchyly ΔE_{ab}^* vzorku ozařovaného v zařízení Q-SUN Xe-1-B po dobu 72 hodin. Hodnoty jsou uvedeny pro políčka s tónovou hodnotou 40 a 100 %.

Doba ozařování [hodiny]	C		M		Y		K		R		G		B		P 3564		P 215		Papír
	40%	100%	40%	100%	40%	100%	40%	100%	40%	100%	40%	100%	40%	100%	40%	100%			
2	1,3	2,5	0,6	1,0	0,1	0,2	1,6	2,1	0,8	1,1	1,5	4,6	1,2	0,9	0,6	1,4	0,5	1,1	0,7
4	2,4	4,5	0,8	1,0	0,2	0,3	3,3	4,4	0,7	1,6	2,7	8,2	2,6	2,1	0,5	1,6	0,7	2,4	1,4
6	3,1	6,1	1,2	1,4	0,3	0,6	4,6	6,4	1,1	2,1	3,9	11,5	3,6	2,9	0,8	2,3	1,0	3,7	1,6
8	4,1	7,9	1,6	1,8	0,4	1,0	6,0	8,6	1,3	2,3	5,0	15,2	4,8	3,8	1,0	2,7	1,7	5,1	2,0
10	5,0	9,6	2,1	2,4	0,3	1,1	7,2	10,6	1,4	2,9	5,9	18,0	5,9	4,8	1,0	3,3	2,3	6,0	2,6
12	5,5	11,2	2,4	3,0	0,5	1,8	8,1	12,8	1,8	3,5	6,7	20,9	6,7	5,8	1,3	4,0	2,5	7,0	2,7
14	6,3	13,0	2,6	3,5	0,5	2,2	9,1	14,9	2,1	4,0	7,6	24,0	7,7	7,0	1,4	4,6	3,0	7,8	3,0
16	7,0	14,6	2,9	3,9	0,5	2,5	9,9	16,9	2,2	4,6	8,3	25,9	8,7	7,9	1,4	5,4	3,7	9,0	3,3
18	7,4	16,2	3,1	4,4	0,8	3,0	10,5	18,9	2,6	5,2	9,0	28,3	9,4	9,0	1,8	6,3	3,8	9,3	3,4
20	7,8	17,8	3,3	5,0	1,0	3,9	11,1	20,8	2,9	6,1	9,5	30,1	10,1	10,3	1,9	7,2	4,0	9,8	3,6
22	8,3	19,1	3,5	5,8	1,2	4,4	11,7	22,4	3,0	6,8	10,1	31,8	10,8	11,4	1,9	8,0	4,4	10,1	4,0
24	8,7	20,5	3,7	6,3	1,5	5,0	12,2	24,3	3,4	7,5	10,6	33,3	11,5	12,6	2,2	9,1	4,4	10,3	4,0
30	10,2	25,0	4,3	8,4	2,2	7,4	13,4	28,7	4,3	9,9	12,0	37,3	13,2	16,6	2,6	11,8	5,2	11,4	4,5
36	11,3	28,7	4,8	10,7	3,1	10,3	14,4	32,4	5,3	12,8	13,3	40,6	14,9	20,5	3,3	15,0	5,8	12,6	4,9
42	12,6	32,4	5,6	13,3	4,2	13,6	15,4	35,5	6,5	15,9	14,5	43,2	16,5	25,0	4,2	18,4	6,4	13,5	5,2
48	13,8	35,7	6,3	16,3	5,3	16,7	16,3	38,1	7,8	19,3	15,7	45,5	17,9	28,9	5,1	21,6	7,0	15,1	5,5
54	14,6	37,8	7,0	19,2	6,3	22,2	18,9	40,1	9,0	22,3	16,6	47,2	19,1	32,6	5,9	24,4	7,6	16,3	5,8
60	15,7	40,3	7,7	22,1	7,0	22,8	17,6	42,1	10,3	25,7	17,5	48,6	20,4	36,5	6,7	27,5	8,2	18,2	6,1
66	16,6	42,3	8,3	25,3	8,0	25,8	18,2	43,8	11,4	28,6	18,2	49,7	21,5	39,9	7,6	30,3	8,8	20,3	6,4
72	17,3	43,9	8,9	28,0	8,8	28,6	18,7	45,4	12,6	31,6	18,9	50,8	22,5	43,4	8,4	32,9	9,5	22,7	6,5

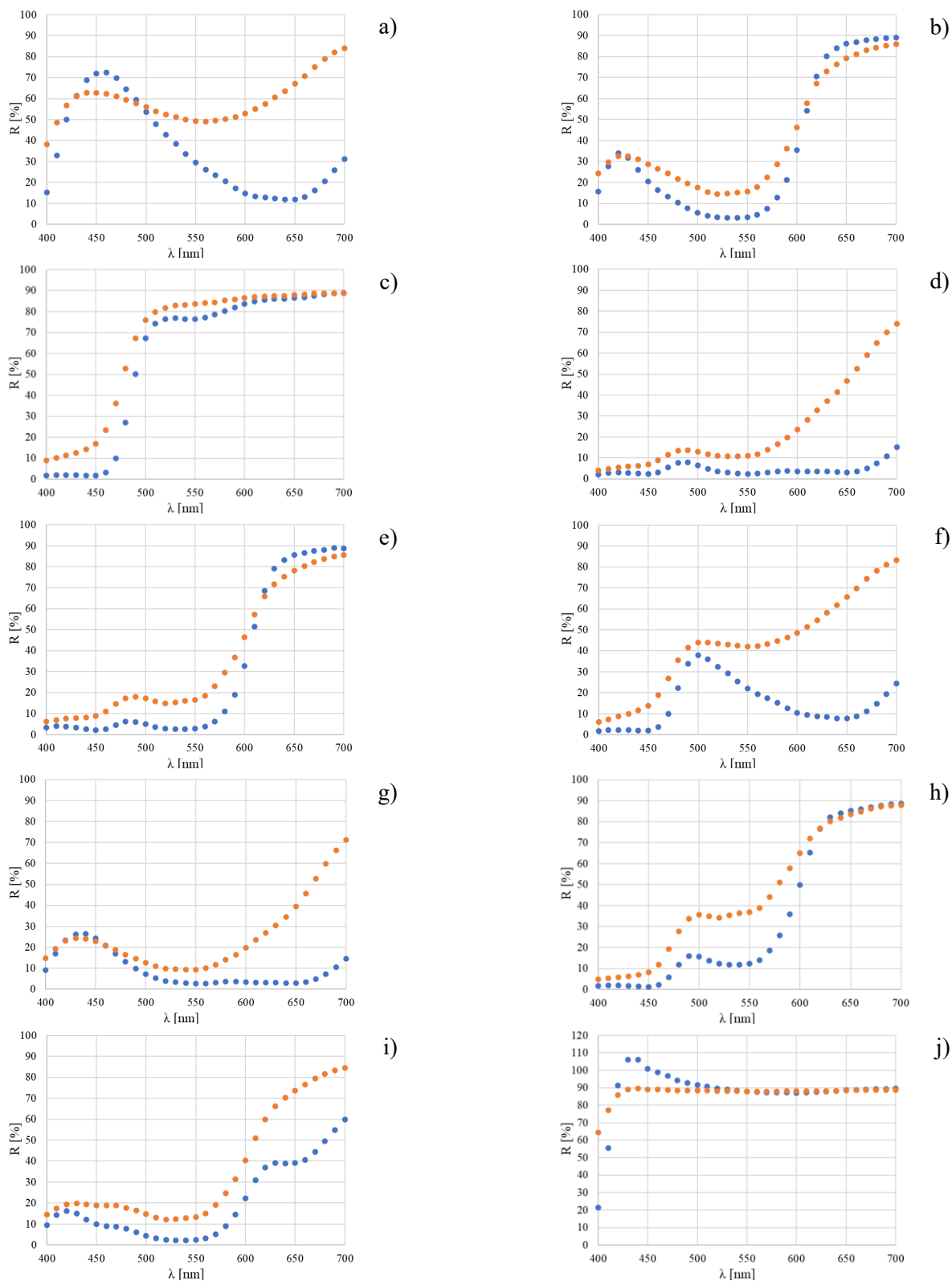


Obrázek 10. Závislosti barvové odchylky (ΔE_{ab}^*) na době ozařování měřených barev vzorku ozařovaného v zařízení Q-SUN Xe-1-B pro 40% (oranžová závislost) a 100% (modrá závislost) tónovou hodnotu a nepotištěný papír: a) azurová barva; b) purpurová barva; c) žlutá barva; d) černá barva; e) červená barva; f) zelená barva; g) modrá barva; h) PANTONE 3564; i) PANTONE 215; j) papír.

Na Obrázku 11. jsou graficky znázorněna reflexní spektra políček s tónovou hodnotou 100 % všech měřených barev a také nepotištěného papíru před měřením v zařízení Q-SUN Xe-1-B a dále po ozařování po dobu 72 hodin.

Jak je vidět v Obrázku 11., při urychleném stárnutí dochází k výrazné změně reflektance ve všech odstínech s výjimkou purpurové, žluté a červené barvy, což souvisí s výraznou změnou barvové odchylky. Největší změny nastávají u azurové, černé, zelené a modré barvy. U azurové barvy lze pozorovat výrazné změny reflektance v celé šířce spektra, zejména ale od vlnové délky 550 nm a dál. U zelené barvy lze vidět slabší nárůst reflektance do vlnové délky 500 nm a následuje podobný trend jako u azurové barvy. V případě černé a modré barvy je změna přibližně do 550 nm malá, ale poté se reflektance začíná prudce zvyšovat a dostává se až na hodnoty výše zmíněných barev. Zbylé barvy (purpurová, žlutá, červená, P3564, P215) ukazují podstatně lepší stálost. To se dá přikládat faktu, že zbylé procesní barvy (purpurová a žlutá) vykazují podstatně lepší světlostálost, než azurová a barvy z ní tvořené.

U papíru jsou viditelné změny v modré oblasti spektra, kde je reflektance vyšší než 100 %, což je dáno přítomností opticky zjasňujících prostředků. V průběhu ozařování dochází k poklesu reflektance v této oblasti spektra na hodnoty okolo 90 % (podobně jako v zelené a červené části spektra) a svědčí to o degradaci opticky zjasňujících prostředků v průběhu testu.



Obrázek 11. Závislosti reflektance (R) na vlnové délce (λ) měřených barev pro tónovou hodnotu 100 % a nepotištěný papír před (0 hodin, modrá závislost) a po ozařování v zařízení Q-SUN Xe-1-B (72 hodin, oranžová závislost): a) azurová barva; b) purpurová barva; c) žlutá barva; d) černá barva; e) červená barva; f) zelená barva; g) modrá barva; h) PANTONE 3564; i) PANTONE 215; j) papír.

3.2 Přirozené stárnutí vzorků v pokojových podmínkách

Pomocí ručního spektrofotometru X-Rite eXact byly proměřovány jednotlivé vzorky v daných intervalech během přirozeného stárnutí v pokojových podmínkách a z jejich měření byly zjištěny hodnoty L^* , a^* , b^* pro jednotlivá testovací políčka. Pomocí těchto hodnot byla vypočítána barvová odchylka stejně jako u předchozího měření vzorků v zařízení Q-SUN Xe-1-B. Měřením byly získány také hodnoty reflexních spekter vzorků.

V Tabulce 3. jsou shrnuty hodnoty souřadnic L^* , a^* , b^* jednotlivých barevných odstínů před a po celkové době přirozeného stárnutí (177 dní). V Tabulce 4. jsou uvedeny barvové odchylky jednotlivých odstínů pro tónové hodnoty 40 a 100 % pro jednotlivé doby ozařování po dobu 177 dní. Na Obrázku 12. jsou na ukázkou uvedeny fotografie vzorků po ukončení přirozeného stárnutí v interiéru a stejných vzorků po tisku. Z hodnot pro 40 a 100% tónovou hodnotu byly sestrojeny také grafy (viz Obrázek 13.). Změny v parametrech L^* , a^* , b^* ukazují na mírný barevný posun jednotlivých složek v důsledku přirozeného stárnutí.

V případě procesních barev (C, M, Y) lze z naměřených souřadnic L^* , a^* , b^* a vypočítaných barvových odchylek pozorovat největší barevnou změnu opět u azurové barvy. Z vypočítaných barvových odchylek je vidět, že v případě 100% tónového pokrytí dosahuje barvová odchylka hodnot až 2 a u 40% tónového pokrytí je hodnota až 1. Tyto odchylky jsou poměrně malé, ale v prvním případě se jedná už o odchylku, která by měla být okem rozeznatelná. V případě purpurové a žluté barvy se barvová odchylka pohybuje v rozmezí 0,5 až 1,1 v závislosti na tónové hodnotě. Takové odchylky se dají pokládat za zanedbatelné a okem prakticky nepostřehnutelné.

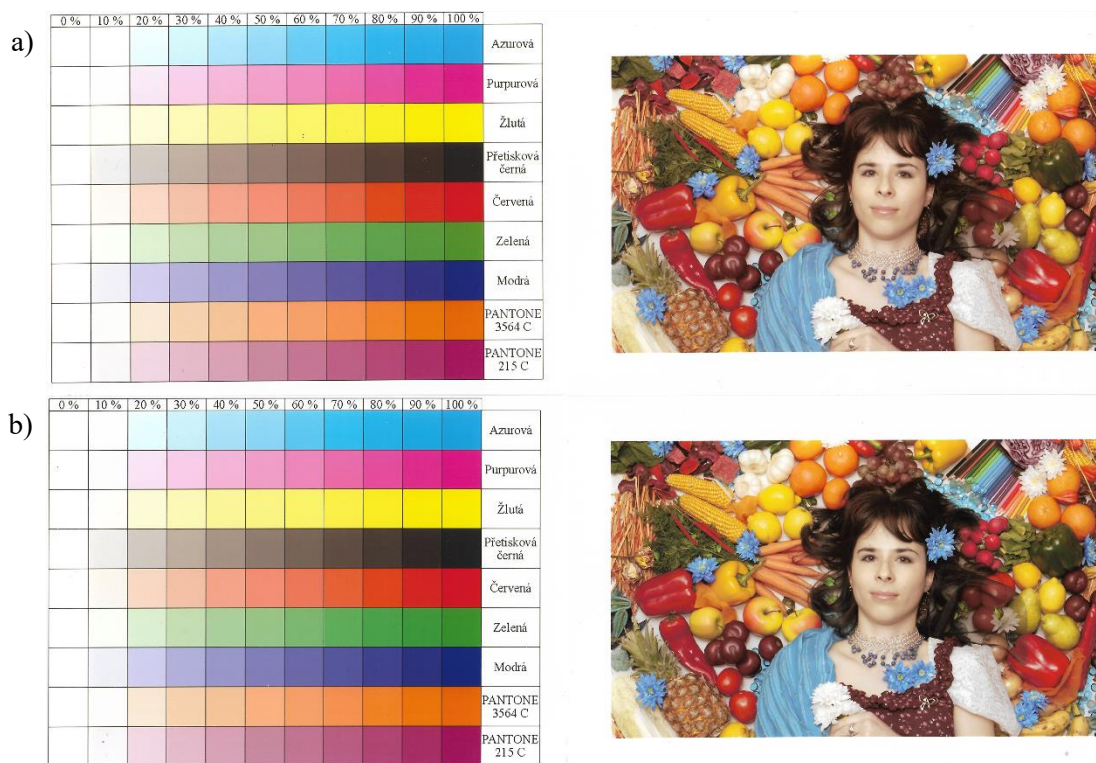
V případě soutiskových barev (K, R, G, B, P3564, P215) lze největší barevnou změnu pozorovat u zelené barvy. Její barvová odchylka se začíná exponenciálně zvětšovat po 60 dnech testování až do ukončení testu, kdy se dostala na hodnotu 7 pro 100% tónovou hodnotu a 1,8 pro 40% tónovou hodnotu. Mění se především její souřadnice a^* , a to o 6,65 směrem ke kladným hodnotám (políčko 100% tónové hodnoty). To způsobuje, že se barva již na první pohled jeví méně výrazná oproti referenčnímu vzorku. To lze opět přikládat špatné světlostálosti azurové barvy a přítomnosti katalytického stárnutí, které urychluje proces degradace. Mezi další barvy s horší světlostálostí lze zařadit černou a PANTONE 215. Černá barva dosáhla barvové odchylky u 40% tónové hodnoty 2. U 100% tónové hodnoty dosáhla hodnoty 2,8 především posunem souřadnice a^* , a to o 1,92 (posun ze záporných hodnot do kladných hodnot). U zbylých barev (purpurová, žlutá, červená, modrá, P3564) dosahuje

barvová odchylka maximální hodnoty 1,1 v případě 100% tónové hodnoty a 0,5 u 40% tónové hodnoty. Takové odchylky se dají považovat za okem nepostřehnutelné.

Papír dosahuje maximální barvové odchylky 1,1 a posun v souřadnicích L^* , a^* , b^* je vidět především v souřadnicích L^* a b^* .

Celkově lze vidět podobnost s urychleným stárnutím v kapitole 3.1. Azurová barva, jako barva s nejhorsí světlostalostí, napomáhá degradaci barev, které obsahují její složky. Podobnost lze pozorovat především u zelené barvy, která dosáhla největšího posunu v barevnosti. Pokud by test probíhal déle, dalo by se očekávat, že změna barevnosti bude pokračovat v obdobném trendu, jako u urychleného stárnutí.

Při urychleném stárnutí byly vzorky vystaveny vyšší intenzitě ozáření v UV oblasti oproti vzorkům v interiéru a prokázal se tak velmi negativní vliv tohoto krátkovlnného záření s vyšší energií. Při urychleném stárnutí v zařízení Q-SUN Xe-1-B byl použit filtr, který simuluje ozáření vzorků v exteriéru.



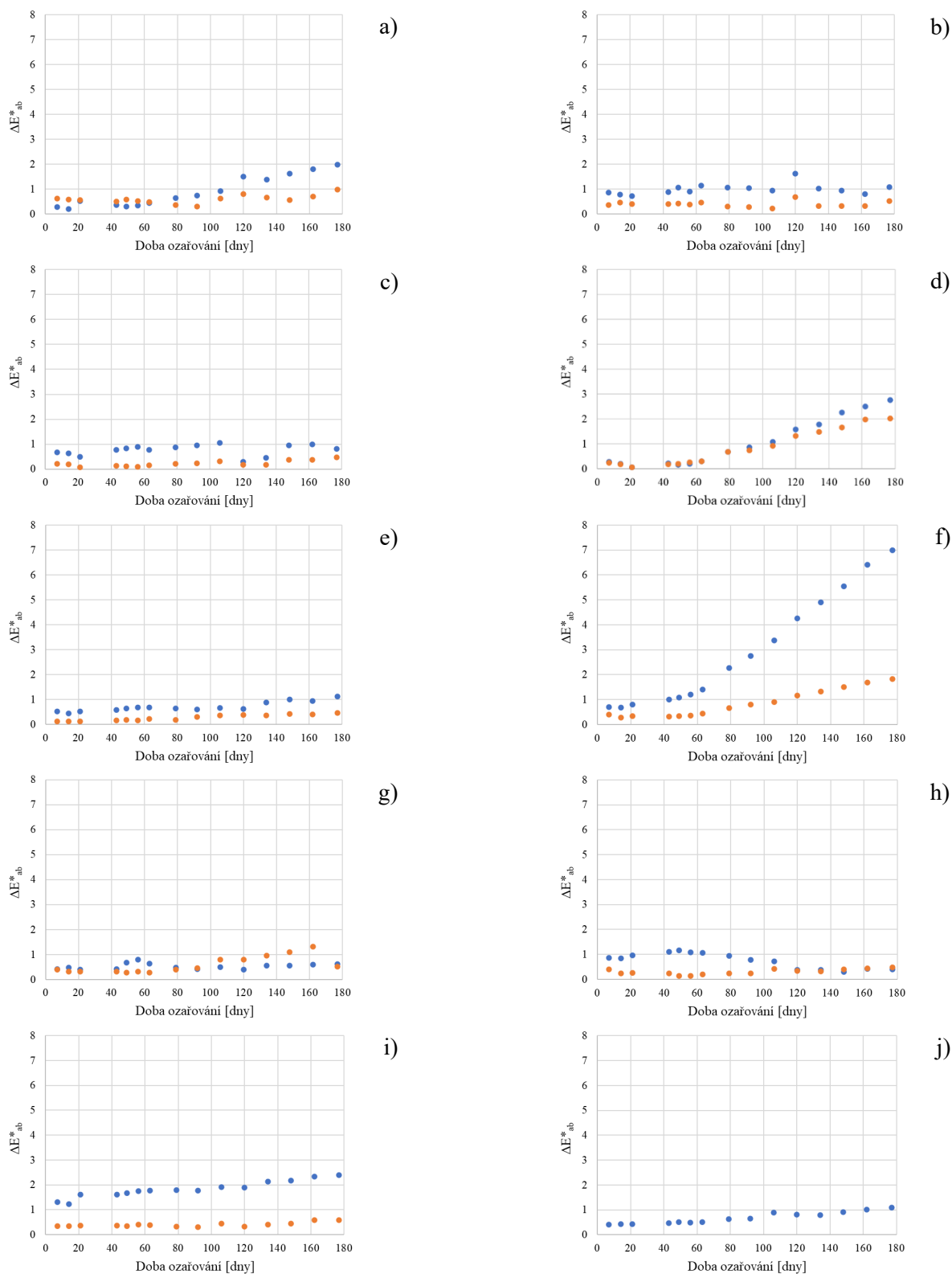
Obrázek 12. a) Testované vzorky po 177 dnech přirozeného stárnutí v pokojových podmínkách; b) vzorky po tisku před stárnutím.

Tabulka 3. Naměřené hodnoty L^* , a^* , b^* souřadnic vzorku podrobenému přirozenému stárnutí v pokojových podmínkách po dobu 177 dní a stejného vzorku po tisku (0 dní). Hodnoty jsou uvedeny pro políčka s tónovou hodnotou 100 %.

Barva	Doba ozařování	L^*	a^*	b^*
C	0 dní	60,81	-15,86	-41,11
	177 dní	61,63	-14,64	-39,76
M	0 dní	49,30	72,12	-2,13
	177 dní	49,11	71,82	-3,15
Y	0 hodin	89,72	-9,78	82,89
	177 dní	90,29	-9,77	83,49
K	0 dní	22,08	-0,87	-2,32
	177 dní	23,03	1,60	-1,52
R	0 dní	47,56	66,38	43,18
	177 dní	47,38	66,01	42,14
G	0 dní	52,00	-44,35	27,96
	177 dní	53,03	-37,70	29,88
B	0 dní	23,80	23,42	-48,45
	177 dní	24,23	23,74	-48,15
P 3564	0 dní	58,48	47,56	56,58
	177 dní	58,87	47,47	56,71
P 215	0 dní	38,82	52,79	0,03
	177 dní	39,37	55,12	0,08
Papír	0 dní	94,97	1,12	-6,86
	177 dní	95,58	1,06	-5,95

Tabulka 4. Vypočítané hodnoty barvé odchyly ΔE_{ab}^* vzorku podrobenému přirozenému stárnutí v pokojových podmínkách po dobu 177 dní. Hodnoty jsou uvedeny pro políčka s tónovou hodnotou 40 a 100 %.

Doba ozařování [dny]	C		M		Y		K		R		G		B		P 3564		P 215		Papír
	40%	100%	40%	100%	40%	100%	40%	100%	40%	100%	40%	100%	40%	100%	40%	100%	40%	100%	
7	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	0,7	0,2	0,3	0,1	0,5	0,4	0,7	0,4	0,4	0,4	0,9	0,4	1,3	0,4
14	0,6	0,2	0,5	0,8	0,2	0,6	0,2	0,2	0,1	0,4	0,3	0,7	0,3	0,5	0,2	0,8	0,4	1,2	0,4
21	0,6	0,5	0,4	0,7	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,5	0,3	0,8	0,3	0,4	0,3	1,0	0,4	1,6	0,4
43	0,5	0,4	0,4	0,9	0,1	0,8	0,2	0,2	0,2	0,6	0,3	1,0	0,3	0,4	0,2	1,1	0,4	1,6	0,5
49	0,6	0,3	0,4	1,1	0,1	0,8	0,2	0,2	0,2	0,7	0,3	1,1	0,3	0,7	0,1	1,2	0,4	1,7	0,5
56	0,5	0,4	0,4	0,9	0,1	0,9	0,3	0,2	0,2	0,7	0,4	1,2	0,3	0,8	0,1	1,1	0,4	1,8	0,5
63	0,5	0,5	0,5	1,1	0,2	0,8	0,3	0,3	0,2	0,7	0,5	1,4	0,3	0,6	0,2	1,1	0,4	1,8	0,5
79	0,4	0,6	0,3	1,1	0,2	0,9	0,7	0,7	0,2	0,6	0,7	2,3	0,4	0,5	0,2	0,9	0,3	1,8	0,6
92	0,3	0,7	0,3	1,1	0,2	1,0	0,8	0,9	0,3	0,6	0,8	2,8	0,5	0,4	0,2	0,8	0,3	1,8	0,7
106	0,6	0,9	0,2	0,9	0,3	1,1	0,9	1,1	0,4	0,7	0,9	3,4	0,8	0,5	0,4	0,7	0,5	1,9	0,9
120	0,8	1,5	0,7	1,6	0,17	0,29	1,3	1,6	0,4	0,6	1,2	4,3	0,8	0,4	0,3	0,4	0,3	1,9	0,8
134	0,7	1,4	0,3	1,0	0,2	0,5	1,5	1,8	0,4	0,9	1,3	4,9	1,0	0,6	0,3	0,4	0,4	2,1	0,8
148	0,6	1,6	0,3	0,9	0,4	1,0	1,7	2,3	0,4	1,0	1,5	5,5	1,1	0,6	0,4	0,3	0,4	2,2	0,9
162	0,7	1,8	0,3	0,8	0,4	1,0	2,0	2,5	0,4	1,0	1,7	6,4	1,3	0,6	0,5	0,4	0,6	2,3	1,0
177	1,0	2,0	0,5	1,1	0,5	0,8	2,0	2,8	0,5	1,1	1,8	7,0	0,5	0,6	0,5	0,4	0,6	2,4	1,1

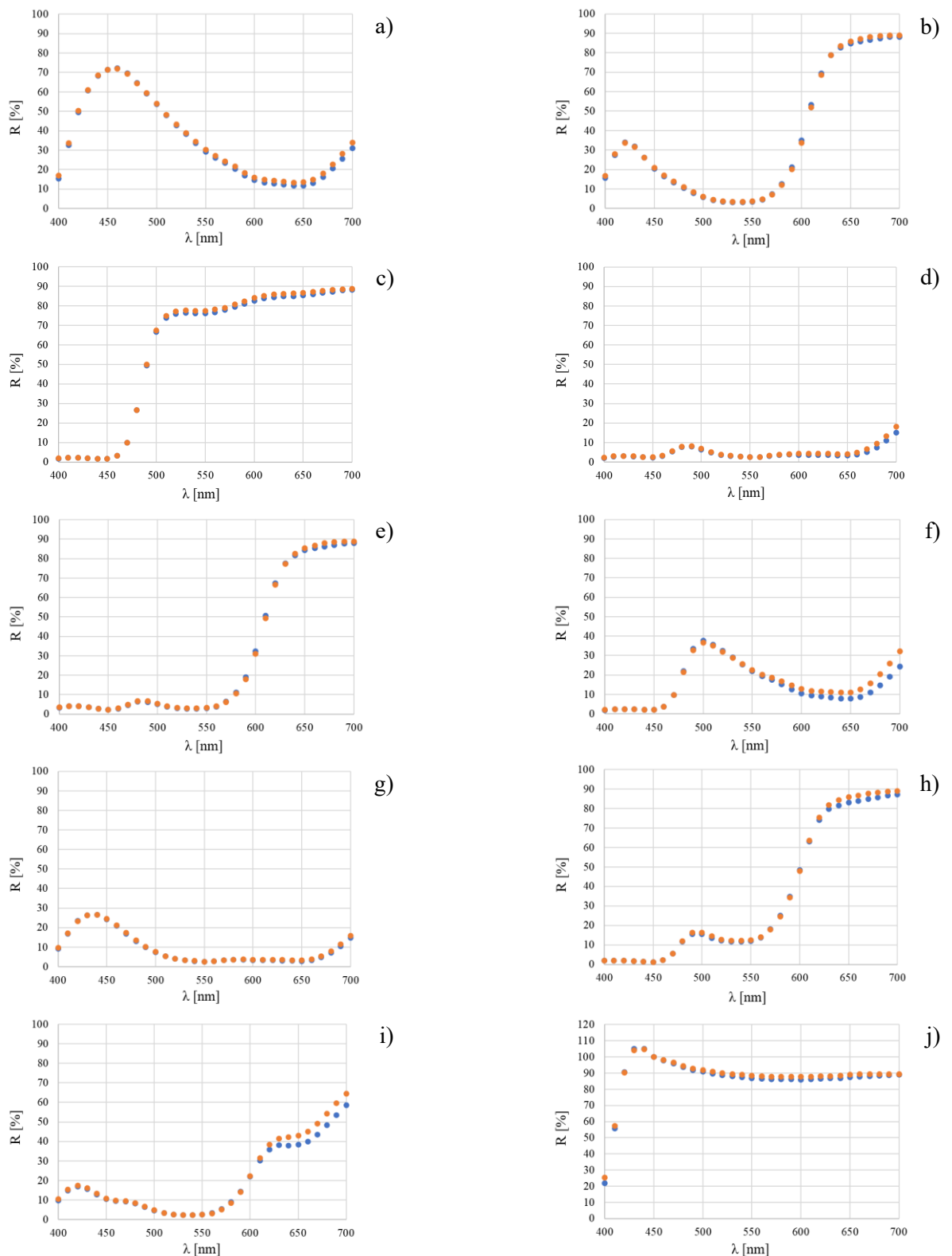


Obrázek 13. Závislosti barvé odchytky (ΔE^*_{ab}) na době ozařování měřených barev vzorku podrobenému přirozenému stárnutí v pokojových podmínkách pro 40% (oranžová závislost) a 100% (modrá závislost) tónovou hodnotu a nepotištěný papír: a) azurová barva; b) purpurová barva; c) žlutá barva; d) černá barva; e) červená barva; f) zelená barva; g) modrá barva; h) PANTONE 3564; i) PANTONE 215; j) papír.

Na Obrázku 14. jsou graficky znázorněna reflexní spektra barev vzorku umístěného v interiéru s tónovou hodnotou 40 a 100 % a také nepotištěného papíru.

Jak je vidět v Obrázku 14., při přirozeném stárnutí v pokojových podmínkách jsou rozdíly reflektance mezi referenčním vzorkem a vzorkem po ukončení testování podstatně menší (minimální) než u urychleného stárnutí. Největší rozdíly lze pozorovat u zelené barvy a obou barev PANTONE. U zbylých barev je rozdíl v reflektanci zanedbatelný.

U papíru lze pozorovat, narozdíl od urychleného testování, že opticky zjasňující prostředky nebyly degradovány po dobu vystavení vnitřním podmínkám a reflektance v modré části spektra je stále nad hodnotou 100 %. Celkově lze konstatovat, že změna odstínu papíru a jeho reflexního spektra byla ovlivněna minimálně.



Obrázek 14. Závislosti reflektance (R) na vlnové délce (λ) měřených barev pro tónovou hodnotu 100 % a nepotíštěný papír před (0 dní, modrá závislost) a po podrobení přirozenému stárnutí v pokojových podmínkách (177 dní, oranžová závislost): a) azurová barva; b) purpurová barva; c) žlutá barva; d) černá barva; e) červená barva; f) zelená barva; g) modrá barva; h) PANTONE 3564; i) PANTONE 215; j) papír.

3.3 Přirozené stárnutí vzorků uložených ve tmě

Poslední testovanou sadou byly vzorky umístěné ve tmě v interiéru. Doba testování byla stejná jako u předchozí sady, kdy byla hodnocena změna barevnosti vzorku v interiéru, a to po dobu 177 dní. Výjimkou je žlutá barva, kdy z důvodu chybného změření referenčních L^* , a^* , b^* hodnot žluté barvy byl 10. 12. 2024 vytisknut nový vzorek, na kterém byla posléze proměřována pouze žlutá barva. Její celková doba testování je 163 dní. Dále z důvodu minimálních změn těchto vzorků nebyly vytvořeny grafy barvové odchylky v závislosti na době ozáření (maximální naměřená barvová odchylka na konci měření je 1,0).

V Tabulce 5. jsou shrnuty hodnoty parametrů L^* , a^* , b^* jednotlivých barevných odstínů před a po celkové době přirozeného stárnutí ve tmě (177 dní, 163 dní pro žlutou). V Tabulce 6. jsou uvedeny barvové odchylky jednotlivých odstínů pro tónové hodnoty 40 a 100 % pro jednotlivé doby ozařování po dobu 177 dní. Změny v parametrech L^* , a^* , b^* a změny v barvové odchylce naznačují minimální změnu v barevnosti po celou dobu testování. Všeobecně se dá konstatovat, že políčka se 100% tónovou hodnotou vykazovala mírně větší barvovou odchylku, než políčka se 40% tónovou hodnotou. U políček se 100% tónovou hodnotou se barvová odchylka pohybovala v rozmezí 0,3 až 1 po ukončení testu. V případě 40% tónové hodnoty se barvové odchylky pohybovaly od 0,1 do 0,7. Barvová odchylka u nepotištěného papíru je minimální a pohybuje se v rozmezí 0,2–0,4, kdy tento rozdíl je dán především chybou měření přístroje. Na Obrázku 15. jsou na ukázkou uvedeny fotografie vzorků po ukončení přirozeného stárnutí v interiéru ve tmě a stejných vzorků po tisku.

Reflexní spektra (Obrázek 16.) jednotlivých barevných odstínů vykazují logicky rovněž minimální rozdíly. Obecně lze říct, že stabilita vzorků umístěných ve tmě v interiéru je velmi dobrá a po 177 dnech vykazuje minimální/žádné rozdíly.



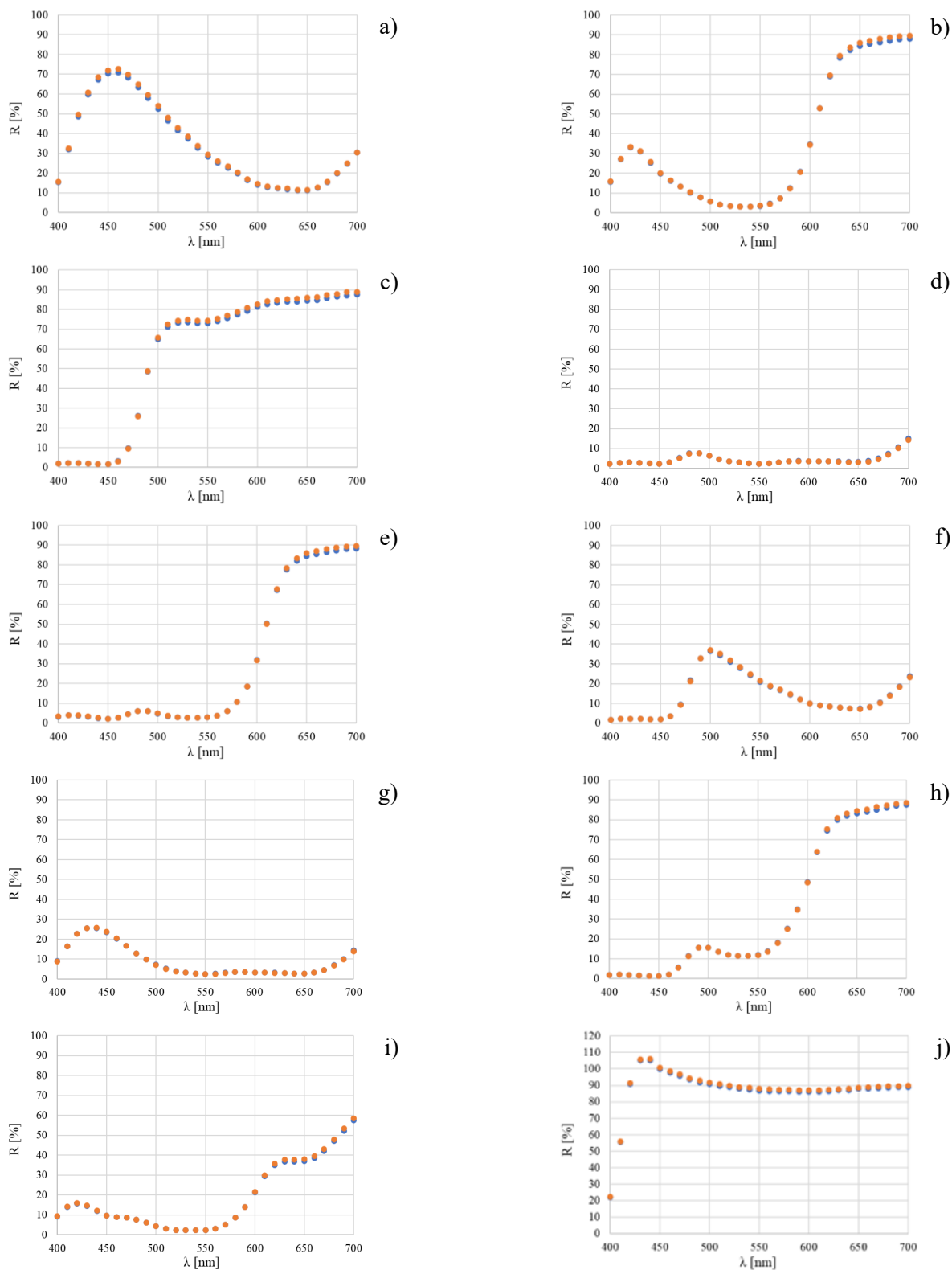
Obrázek 15. a) Testované vzorky po 177 dnech přirozeného stárnutí v pokojových podmínkách ve tmě; b) vzorky po tisku před stárnutím.

Tabulka 5. Naměřené hodnoty L^* , a^* , b^* souřadnic vzorku podrobenému přirozenému stárnutí v pokojových podmínkách ve tmě po dobu 177 dní a stejného vzorku po tisku (0 dní). Hodnoty jsou uvedeny pro políčka s tónovou hodnotou 100 %.

Barva	Doba ozařování	L^*	a^*	b^*
C	0 dní	60,81	-15,86	-41,11
	177 dní	61,63	-14,64	-39,76
M	0 dní	49,30	72,12	-2,13
	177 dní	49,11	71,82	-3,15
Y	0 dní	90,16	-9,93	82,8
	163 dní	90,06	-9,70	83,02
K	0 dní	22,08	-0,87	-2,32
	177 dní	23,03	1,60	-1,52
R	0 dní	47,56	66,38	43,18
	177 dní	47,38	66,01	42,14
G	0 dní	52,00	-44,35	27,96
	177 dní	53,03	-37,70	29,88
B	0 dní	23,80	23,42	-48,45
	177 dní	24,23	23,74	-48,15
P 3564	0 dní	58,48	47,56	56,58
	177 dní	58,87	47,47	56,71
P 215	0 dní	38,82	52,79	0,03
	177 dní	39,37	55,12	0,08
Papír	0 dní	94,97	1,12	-6,86
	177 dní	95,58	1,06	-5,95

Tabulka 6. Vypočítané hodnoty barvé odchytky ΔE_{ab}^* vzorku podrobenému přirozenému stárnutí v pokojových podmínkách ve tmě po dobu 177 dní. Hodnoty jsou uvedeny pro políčka s tónovou hodnotou 40 a 100 %.

Doba ozařování [dny]		C		M		Y		K		R		G		B		P 3564		P 215		Papír
		40%	100%	40%	100%	40%	100%	40%	100%	40%	100%	40%	100%	40%	100%	40%	100%	40%	100%	
7	pro	0,7	0,9	0,5	0,4	–	–	0,4	0,9	0,3	0,3	0,4	1,0	0,3	0,7	0,4	0,6	0,3	0,3	0,4
14	žlutou	0,6	0,6	0,5	0,7	–	–	0,3	0,9	0,2	0,3	0,3	0,8	0,3	0,7	0,2	0,6	0,1	0,9	0,4
21	7	0,5	0,6	0,7	0,9	0,2	0,2	0,3	0,9	0,2	0,4	0,3	1,0	0,3	0,9	0,2	0,8	0,2	1,0	0,3
43	29	0,4	0,5	0,5	0,8	0,2	0,5	0,3	0,9	0,2	0,4	0,5	0,9	0,3	0,9	0,2	1,0	0,3	1,0	0,4
49	35	0,5	0,6	0,4	0,9	0,3	0,5	0,2	0,9	0,2	0,6	0,4	1,0	0,2	0,9	0,2	1,0	0,2	1,0	0,3
56	42	0,5	0,6	0,4	1,0	0,2	0,4	0,3	0,9	0,2	0,7	0,4	0,8	0,2	1,0	0,2	1,1	0,2	1,0	0,2
63	49	0,4	0,5	0,3	0,8	0,2	0,5	0,3	0,9	0,2	0,5	0,5	0,9	0,2	0,9	0,2	0,9	0,2	0,9	0,3
79	65	0,4	0,5	0,4	0,7	0,2	0,4	0,1	0,8	0,2	0,6	0,4	1,0	0,2	0,9	0,2	1,1	0,2	0,9	0,3
92	78	0,5	0,6	0,4	0,9	0,3	0,5	0,2	0,9	0,1	0,5	0,4	0,8	0,2	0,8	0,2	1,0	0,2	0,8	0,3
106	92	0,6	0,8	0,5	0,9	0,2	0,5	0,1	0,9	0,2	0,5	0,4	1,0	0,1	0,7	0,2	0,9	0,1	0,9	0,3
120	106	0,2	0,3	0,2	0,5	0,2	0,3	0,2	0,8	0,1	0,6	0,3	1,0	0,1	0,7	0,1	0,7	0,1	0,9	0,2
134	120	0,5	0,8	0,3	0,8	0,3	0,5	0,2	0,8	0,1	0,6	0,3	0,9	0,1	0,7	0,2	0,7	0,2	0,8	0,2
148	134	0,7	1,0	0,3	0,8	0,3	0,3	0,2	0,8	0,1	0,6	0,4	0,8	0,2	0,4	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2
162	148	0,7	1,0	0,2	0,7	0,2	0,5	0,2	0,8	0,2	0,4	0,4	0,8	0,2	0,6	0,2	0,8	0,2	0,9	0,4
177	163	0,7	1,0	0,2	0,5	0,3	0,3	0,2	0,9	0,1	0,7	0,3	1,0	0,2	0,6	0,1	0,7	0,1	0,7	0,3



Obrázek 16. Závislosti reflektance (R) na vlnové délce (λ) měřených barev pro tónovou hodnotu 100 % a nepočištěný papír před (0 dní, modrá závislost) a po podrobení přirozenému stárnutí v pokojových podmínkách ve tmě (177 dní, oranžová závislost): a) azurová barva; b) purpurová barva; c) žlutá barva; d) černá barva; e) červená barva; f) zelená barva; g) modrá barva; h) PANTONE 3564; i) PANTONE 215; j) papír.

3.4 Schopnost tiskárny reprodukovat stejné výtisky po delší době nečinnosti

Tímto testem byla hodnocena rozdílnost tisků v čase. Přibližně každý měsíc byl vtištěn nový testovací obrazec, na kterém byly změřeny L^* , a^* , b^* hodnoty. Z těchto hodnot byla spočítána barvová odchylka, která byla vztahována vždy k prvnímu výtisku ze dne 26. 11. 2024.

V Tabulce 7. a 8. jsou shrnuty hodnoty barvových odchylek jednotlivých barevných odstínů vtištěných v průběhu 6 měsíců pro 40 a 100% tónové hodnoty. Z vypočítaných hodnot barvové odchylky se dá říct, že tiskárna poměrně dobrou opakovatelností tiskne primární (C, M, Y) a většinou i sekundární barvy (R, G, B). Nejhorší reprodukovatelnost lze vidět u barev PANTONE 215 (barvové odchylky v rozmezí 1,2 až 2,2) a PANTONE 3564 (1,1 až 1,8) pro políčka se 100% tónovou hodnotou.

Tabulka 7. Hodnoty barvové odchylky jednotlivých barevných odstínů v průběhu 6 měsíců pro políčka s 40% tónovou hodnotou.

datum	C	M	Y	K	R	G	B	P 3564	P 215
26.11.2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.12.2024	0,4	0,7	0,2	1,2	0,8	0,5	0,8	1,8	0,8
14.01.2025	0,7	1,1	0,8	0,7	1,0	0,6	0,6	1,1	1,3
03.03.2025	0,4	0,3	0,6	1,2	0,6	0,9	1,0	1,3	1,2
09.04.2025	0,9	1,1	0,4	0,8	0,9	1,2	1,3	2,4	1,3
07.05.2025	0,9	1,0	0,4	0,7	0,7	0,5	0,9	2,0	0,7

Tabulka 8. Hodnoty barvové odchylky jednotlivých barevných odstínů v průběhu 6 měsíců pro políčka s 100% tónovou hodnotou.

datum	C	M	Y	K	R	G	B	P 3564	P 215
26.11.2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.12.2024	0,3	1,2	0,5	0,6	1,2	0,9	0,6	1,1	1,2
14.01.2025	0,5	1,4	1,0	0,5	2,1	0,5	0,9	1,8	2,1
03.03.2025	0,3	1,1	1,2	0,3	1,7	0,8	0,6	1,4	2,2
09.04.2025	1,0	0,8	1,0	0,8	0,9	1,8	0,5	1,4	2,1
07.05.2025	0,9	1,3	0,4	0,1	2,0	0,7	0,4	1,7	1,7

4 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zhodnotit světlostálost výtisků z fototiskárny DS-RX1 HS při různých podmínkách stárnutí. Výsledky ukázaly, že tisková technologie D2T2, i přes své výhody v oblasti kvality tisku a snadné obsluhy, vykazuje omezenou odolnost vůči záření, zejména UV záření a vykazuje rozdílnou stabilitu barev.

Výrazné změny byly zaznamenány především při urychleném stárnutí v zařízení Q-SUN Xe-1-B, kdy byl použit filtr pro simulaci exteriérových podmínek (vyšší podíl UV záření oproti interiérovým podmínkám). Barvové odchylky dosahovaly u tohoto testu v plných plochách vysokých hodnot 28–50 (doba ozařování 72 hodin) a docházelo tak k výraznému vyblednutí nebo barevnému posunu odstínu barev. Největší změny v případě primárních barev byly pozorovány u azurové barvy (barvová odchylka na konci testu 43,9), která podléhala výraznému blednutí, což mělo vliv i na sekundární (soutiskové) barvy, jako jsou zelená (50,8), modrá (43,4) a černá (45,4). Tyto výsledky podporují předpoklad o katalytickém stárnutí, kdy degradace jedné složky barvy výrazně ovlivňuje stabilitu ostatních složek v barvě.

Při přirozeném stárnutí v interiérových podmínkách byla degradace u většiny testovaných barev minimální a v plných plochách barev purpurové, žluté, červené, modré a PANTONE 3564 dosahovala barvová odchylka maximálně hodnoty 1,1. Výraznější barvové odchylky byly naměřeny pro barvy azurovou, černou a PANTONE 215 (barvové odchylky v rozmezí 2,0–2,8). Nejhůře vycházela barva zelená, která po 177 dnech měření měla barvovou odchylku 7,0. Naproti tomu u vzorků uchovávaných ve tmě vykazovaly minimální změny barevnosti všechny testované barevné odstíny, což potvrzuje zásadní vliv světla a UV záření na stabilitu barev.

Za důležité zjištění lze považovat také to, že tiskárna DS-RX1 HS vykazovala při tisku primárních barev jen mírné kolísání barevnosti při tisku stejného motivu v průběhu 6 měsíců (max. barvová odchylka 1,4). Horší reprodukovatelnost byla pozorována u obou PANTONE barev, kde se barvová odchylka pohybovala v rozmezí 0,8–2,4.

Celkově lze konstatovat, že tiskárna DS-RX1 HS je vhodná především pro tisk fotografií pro krátkodobé, nebo interiérové použití bez vystavení přímému slunečnímu světlu. Pro dosažení delší životnosti je nezbytné zajistit optimální podmínky skladování, a to zejména ochranu před světlem a UV zářením.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KAPLANOVÁ, Marie. *Moderní polygrafie*. 4. vyd. Praha: Svaz polygrafických podnikatelů, 2018. ISBN 978-80-254-4230-2.
- [2] Dye Diffusion Thermal Transfer. *Graphics Atlas* [online]. 2025 [cit. 2025-04-18]. Dostupné z: http://www.graphicsatlas.org/identification/?process_id=51
- [3] Co je to termosublimační tisk? *Fomei* [online]. 2018 [cit. 2025-02-20]. Dostupné z: <https://www.fomei.com/blog/co-je-to-termosublimacni-tisk-detail-248877>
- [4] SHIBAHARA, Yoshihiko, Hiroshi ISHIZUKA, Naotsugu MURO, Yukihiko KANAZAWA a Yoshio SEOKA. *Image Stability of Digital Photographic Printing Materials* [online], 18th International conference on Digital Printing Technologies 2002. San Diego, USA. 2002. [cit. 2025-05-29]. DOI: 10.2352/ISSN.2169-4451.2002.18.1.art00081_1
- [5] *DP3 Digital Print Preservation Guide* [online]. Rocher Institute of Technology, 2018 [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: https://s3.cad.rit.edu/ipi-assets/publications/dp3_guide.pdf
- [6] HABIB, Mohamed Eid Ahmed Ali. SUBLIMATION PRINT AS A CREATIVE MEDIUM IN CONTEMPORARY INSTALLATION. *Journal of Art & Architecture Research Studies*. [online]. 2023, roč. 4, č. 7, s. 162–180. [cit. 2025-03-07]. Dostupné z: https://jaars.journals.ekb.eg/article_304182_6495d844066806637f0b09d86e7be350.pdf.
- [7] Termosublimate. *Kopina* [online]. 2018 [cit. 2025-03-10]. Dostupné z: <https://kopina.cz/terminologie/36991/termosublimate/>
- [8] What's Inside Dye Sublimation Ink? *Subtransferpaper* [online]. 2015 [cit. 2025-03-18]. Dostupné z: <https://www.subtransferpaper.com/whats-inside-dye-sublimation-ink/>
- [9] Lightfastness in Printing INK. *Pressman Academy for Print Education & Research* [online]. 2017 [cit. 2025-04-05]. Dostupné z: <https://pressmanacademy.wordpress.com/2017/09/16/lightfastness-in-printing-ink/>
- [10] GROENEVELD, Iris; KANELLI, Maria; ARIESE, Freek a R. VAN BOMMEL, Maarten. Parameters that affect the photodegradation of dyes and pigments in solution and on substrate – An overview. Online. *Dyes and Pigments*. 2023 [cit. 2025-04-07]., roč. 210, č. 110999, s. 2–11. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2022.110999>.
- [11] Accelerated Weathering Testing. *VTEC Laboratories Inc.* [online]. 2025 [cit. 2025-04-07]. Dostupné z: <https://www.vteclabs.com/testing/weathering-testing/>
- [12] VIK, M. *Základy měření barevnosti I*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1995, s. 37–69. ISBN: 80-7083-162-6.

- [13] DYE-SUBLIMATION: A REVOLUTION IN PHOTO PRINTING. *DNP Photo Imaging Europe* [online]. 2025 [cit. 2025-03-19]. Dostupné z: <https://www.dnpphoto.eu/en/about-us/about-dnp>
- [14] RX1HS. *DNP Photo Imaging Europe* [online]. 2025 [cit. 2025-05-20]. Dostupné z: <https://www.dnpphoto.eu/en/product-range/photo-printers/item/655-rx1hs>
- [15] *X-Rite eXact User Guide*. [online]. X-Rite Incorporated, 2018. [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: https://www.xrite.com/-/media/xrite/files/manuals_and_userguides/e/exact_user_guide/exact_user_guide_en.pdf
- [16] *Q-SUN Xe-1-B Xenon Test Chambers*. [online]. Q-Lab Corporation, 2022. [cit. 2025-04-16]. Dostupné z: <https://www.q-portal.net/Attachments/OperatingManuals/LX-5090B-TM%20Q-SUN%20Xe-1-B%20Technical%20Manual%20Series%2079.pdf>
- [17] Fotopapír. *FOMEI* [online]. 2025 [cit. 2025-03-14]. Dostupné z: <https://www.fomei.com/produkty-10x15-cm-1400-ks-dnp-rx1hs-4x6-standard-detail-220237>