BADANIA JAKOŚCI NADRUKU W DRUKOWANIU CYFROWYM

Svitlana Khadzhynova

Monografie Politechniki Łódzkiej Łódź 2018 Svitlana Khadzhynova

BADANIA JAKOŚCI NADRUKU W DRUKOWANIU CYFROWYM

Monografie Politechniki Łódzkiej Łódź 2018 Recenzenci: prof. dr hab. inż. Svitlana Havenko dr hab. inż. Wiesław Cetera

@ Copyright by Politechnika Łódzka 2018

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ 90-924 Łódź, ul. Wólczańska 223 tel. 42 631-20-87, 42 631-29-52 fax 42 631-25-38 e-mail: zamowienia@info.p.lodz.pl www.wydawnictwa.p.lodz.pl

ISBN 978-83-7283-973-2

DOI 10.34658/9788372839732

Nakład 100 egz. Ark druk 11,5 Papier offset. 80 g 70 × 100 Druk ukończono w marcu 2019 r. Wykonano w Drukarni Quick-Druk, 90-562 Łódź, ul. Łąkowa 11 Nr 2287

Spis treści

Wykaz skrótów i oznaczeń	5
Wstęp	7
1 Teoretyczne podstawy sterowania jakością nadruku	
w drukowaniu cyfrowym	9
1.1. Analiza systemowa procesów drukowania cyfrowego	9
1.1.1. Charakterystyka drukowania elektrofotograf cznego	10
1.1.1.1. Zasada drukowania	10
1.1.1.2. Toner i jego charakterystyka	19
1.1.2. Charakterystyka drukowania natryskowego (ink-jet)	21
1.1.2.1. Zasada drukowania	21
1.1.3. Papiery w drukowaniu cyfrowym	29
1.2. Parametry jakościowe odbitek cyfrowych i procesy standaryzacji	
w drukowaniu cyfrowym	36
1.2.1. Proces współdziałania farby i podłoża zadrukowywanego	
w drukowaniu elektrofotograf cznym i natryskowym	36
1.2.1.1. Proces współdziałania farby i podłoża zadrukowywanego	
w drukowaniu elektrofotograf cznym	37
1.2.1.2. Współdziałanie papieru i farby w drukowaniu natryskowym	43
1.2.2. Parametry jakościowe odbitek cyfrowych	51
1.2.2.1. Jakość nadruku dużych obszarów jednolicie wypełnionych farbą	
(apla, tinta)	52
1.2.2.2. Parametry jakościowe nadruku linii	65
1.2.2.3. Dokładność pasowania obrazu	67
1.2.2.4. Stabilność nadruku	68
1.2.2.5. Rozdzielczość	69
1.2.2.6. Obecność zabrudzeń	71
1.2.3. Standaryzacja jakości nadruku w procesach drukowania	
analogowego i cyfrowego	72
1.2.4. Wady odbitek cyfrowych	75
1.2.4.1. Wady odbitek elektrofotograf cznych	75
1.2.4.2. Wady odbitek natryskowych	78
2 Modelowanie, optymalizacja i prognozowanie jakości odbitek cyfrowych	83
2.1. Cel i zakres pracy	83
2.2. Badania wpływu właściwości papieru na jakość odbitek w drukowaniu cyfrowym	
elektrofotograf cznym i natryskowym	84
2.2.1. Charakterystyka papierów użytych w badaniach	84

2.2.2. Badania wpływu określonych właściwości papierów na jakość		
na odbitkach elektrofotograf cznych	88	
2.2.3. Badania wpływu określonych właściwości papierów na jakość		
nadruku na odbitkach natryskowych	92	
2.2.4. Badania dynamiki wnikania wody w strukturę papierów		
przeznaczonych do drukowania natryskowego	100	
2.2.4.1. Badanie penetracji cieczy w głąb struktury papieru	101	
2.2.4.2. Badania deformacji (wydłużenia) papieru pod wpływem		
działania wody	111	
2.3. Ocena istotności wpływu własności papieru na jakość nadruku		
w drukowaniu cyfrowym elektrofotograf cznym i natryskowym	115	
2.3.1. Ocena istotności wpływu gładkości papieru na jakość odbitki		
elektrofotograf cznej	116	
2.3.2. Ocena istotności wpływu poszczególnych właściwości papieru		
na sumaryczną jakość odbitki elektrofotograf cznej	117	
2.3.3. Ocena istotności wpływu poszczególnych właściwości papieru		
na sumaryczną jakość odbitki natryskowej	119	
2.4. Prognozowanie parametrów jakości odbitek cyfrowych	124	
2.4.2. Prognozowanie parametrów jakości odbitek w drukowaniu		
elektrofotograf cznym	127	
2.4.3. Prognozowanie parametrów jakości odbitek		
w drukowaniu natryskowym	132	
2.4.3.1. Prognozowanie parametrów jakości odbitek w drukowaniu		
natryskowym atramentem barwnikowym	132	
2.4.3.2. Prognozowanie parametrów jakości odbitek w drukowaniu		
natryskowym atramentem pigmentowym	136	
2.5. Optymalizacja jakości nadruku za pomocą powłok przyjmujących		
farbę w drukowaniu natryskowym	141	
Wnioski końcowe	157	
Literatura	161	
Spis rysunków		
Spis tabel		
Indeks	179	

Wykaz skrótów i oznaczeń

- C z ang. cyan, barwa niebieskozielona
- M z ang. magenta, barwa purpurowa
- Y z ang. yellow, barwa żółta
- K barwa czarna
- CIELAB przestrzeń kolorymetryczna
- L^{*}, a^{*}, b^{*} współrzędne trójchromatyczne przestrzeni CIELAB, L^{*} jasność, a^{*} i b^{*} – współrzedne pozwalajace na określenie odcienia i nasycenia
- CIEXYZ przestrzeń kolorymetryczna
- Y współczynnik luminancji w przestrzeni CIEXYZ
- x, y współrzędne trójchromatyczne przestrzeni CIEXYZ
- t_{max} czas, przy którym osiąga się maksymalna intensywność penetracji cieczy w głąb struktury papieru (parametr określany metodą emtek PEA (PDA))
- t₉₅ czas, przy którym osiąga się spadek intensywności penetracji cieczy od wartości maksymalnej do wartości wynoszącej 95% wartości maksymalnej (parametr określany metodą emtek PEA (PDA))
- W wskaźnik ilości wody wypełniającej powierzchniowe pory papieru do czasu t_{max}, parametr określany metodą emtek PEA (PDA)
- M Index wskaźnik charakteryzujący równomierność wnikania wody w papier (parametr określany metodą emtek PEA (PDA))
- rel. Variance różnica w prędkości wnikania wody w papier na szerokości badanej próbki (parametr określany metodą emtek PEA (PDA))
- Cobb₆₀ wartość Cobb₆₀ jest miarą stopnia zaklejenia papieru
- Apla nadruk jednolitą warstwą farby, inaczej 100% pokrycia
- ΔE różnica barw
- D gęstość optyczna
- K kontrast druku
- P rastrowa wartość tonalna
- ΔP przyrost rastrowej wartości tonalnej
- cd porzeczny kierunek do kierunku maszynowego ułożenia włókien w papierze, nazywany kierunkiem poprzecznym
- md maszynowy kierunek ułożenia włókien w papierze
- PVA poli(alkohol winylowy)
- PVP poli(winylopirolidon)
- UV promieniowanie ultrafioletowe
- IR promieniowanie podczerwone

Wstęp

Technologia drukowania cyfrowego polega na tym, że proces drukowania odbywa się wprost z pliku cyfrowego na specjalnych maszynach do druku cyfrowego, które są sterowane przez komputer stanowiący integralną część maszyny.

Za datę wynalezienia technologii drukowania cyfrowego powszechnie uważa się rok 1993 (mimo iż pewne proste natryskowe urządzenia cyfrowe znane były i stosowane kilkanaście lat wcześniej). Pierwsze urządzenia do druku cyfrowego wykorzystywały metody drukowania elektrofotograficznego, następnie opracowano urządzenia do drukowania cyfrowego magnetograficznego i natryskowego. Obecnie druk cyfrowy obejmuje ok. 15% całego rynku poligraficznego w Europie (ok. 20% w USA). Jednocześnie badania potwierdzają rosnącą tendencję udziału druku cyfrowego w rynku usług poligraficznych.

Na początku rozwoju drukowania cyfrowego praktycznie jedyną dobrze rozwiniętą technologią cyfrową była elektrofotografia. Ta technologia drukowania posiada szereg specyficznych wymagań co do podłoży zadrukowywanych w celu uzyskania wysokiej jakości procesu drukowania. W początkowym okresie drukowania elektrofotograficznego przeważała tendencja do produkowania papierów specjalnie przeznaczonych do drukowania cyfrowego i najczęściej dla konkretnej maszyny lub grupy maszyn. Są to tak zwane papiery dedykowane, tj. produkowane specjalnie do drukowania cyfrowego. Jednocześnie z ich produkcją wprowadzono systemy kwalifikowania papierów znajdujących się na rynku, które są możliwe do stosowania w maszynach cyfrowych.

Po 2000 roku nastąpił gwałtowny rozwój różnych technik drukowania cyfrowego. Aktualnie stosowane są w praktyce następujące metody drukowania: elektrofotografia, drukowanie natryskowe (ink-jet), oraz inne techniki cyfrowe (magnetografia, termografia, jonografia). Praktycznie każda z tych metod wymagała innego rodzaju papieru, o innych właściwościach. Obecnie jednym z trendów w drukowaniu cyfrowym nakładowym jest możliwość stosowania zwykłych papierów drukarskich.

Od momentu pojawienia się drukowania cyfrowego nie ustawały długotrwałe spory i dyskusje na temat porównania jakości odbitek cyfrowych (elektrofotograficznych) i analogowych (offsetowych). Obecnie jakość odbitek elektrofotograficznych dorównała jakości odbitek offsetowych, a pod kątem niektórych parametrów, lub wybranych technologii, przewyższyła jakość drukowania offsetowego. Oczywiście, specyficzne procesy przenoszenia obrazu tonerowego na podłoże lub procesy utrwalania narzucają swoje ograniczenia co do stosowanych podłoży, i właśnie ten kierunek – zwiększenie gamy zadrukowanych podłoży w drukowaniu elektrofotograficznym – jest obecnie bardzo aktualny. Z kolei technika drukowania natryskowego charakteryzuje się stosowaniem bardzo szerokiej gamy zadrukowywanych podłoży, w tym i papierów. W tej technice obecnie aktualnym problemem jest uzyskanie stabilnej i powtarzalnej jakości na dowolnych podłożach zadrukowanych.

Powyższe czynniki spowodowały podjęcie prac mających na celu kompleksowe podejście do rozwiązania tego problemu. Z tego powodu w pierwszej części monografii zostały opracowane teoretyczne podstawy procesów drukowania cyfrowego, a w szczególności zjawisk zachodzące w systemie papier-farba (toner i atrament). W drugiej części monografii na podstawie przeprowadzonych badań praktycznych opracowano modele matematyczne, które pozwoliły określić istotność wpływu poszczególnych parametrów papierów na jakość odbitek w drukowaniu elektrofotograficznym i natryskowym. Modele matematyczne pozwoliły również na utworzenie równań liniowych za pomocą których można prognozować jakość poszczególnych parametrów jakościowych odbitek.

W drugiej części pracy podjęto również problematykę dotyczącą optymalizacji jakości drukowania w technice drukowania natryskowego poprzez zastosowanie specjalnych powłok (primerów) na zwykłych papierach drukowych.

1 Teoretyczne podstawy sterowania jakością nadruku w drukowaniu cyfrowym

1.1. Analiza systemowa procesów drukowania cyfrowego

Nowoczesne metody analizy systemowej pozwalają na opracowanie klasyfikacji poligraficznych procesów technologicznych, a w szczególności na określeniu powiązań hierarchicznych pomiędzy procesami drukowania cyfrowego oraz zastosowanymi materiałami w druku (podłoże zadrukowywane i farba (toner, atrament)) a wymaganą jakością nadruku na odbitce.

Obecnie wszystkie techniki drukowania można podzielić na techniki drukowania klasycznego (analogowego) oraz techniki drukowania cyfrowego. W klasycznych technikach drukowania nośnikiem obrazu jest forma drukowa. W cyfrowych technikach drukowania nośnikiem obrazu jest plik cyfrowy. Zastosowanie formy drukowej w postaci nośnika obrazu wymaga z kolei stosowania w procesie drukowania docisku formy do podłoża lub powierzchni elementu pośredniego (na przykład cylindra offsetowego). Z tego powodu klasyczne techniki drukowania nazywane są analogowymi lub stykowymi (ang. *impact printing*). Do klasycznych technik drukowania należą: drukowanie wypukłe (typografia, fleksografia, typooffset), drukowanie płaskie (offset), drukowanie wklęsłe (rotograwiura, staloryt, drukowanie tamponowe) oraz drukowanie farboprzenikalne.

Sposoby drukowania, w których nie są stosowane tradycyjne formy drukowe, a proces drukowania odbywa się na podstawie informacji zgromadzonych w pamięci komputera w postaci danych cyfrowych, przenoszonych (pośrednio lub bezpośrednio) na zadrukowywane podłoże, są nazywane cyfrowymi. W literaturze angielskojęzycznej używa się nazwy digital print oraz computer-to-print.

Cyfrowe sposoby drukowania posiadają przewagę na technikami klasycznymi ze względu na to, że umożliwiają:

- drukowanie zmiennych danych (ang. variable data print, VDP),
- drukowanie na żądanie (ang. print on demand),
- drukowanie niskich nakładów.

Niewątpliwą zaletą drukowania cyfrowego jest to, że druk cyfrowy nie wymaga użycia agresywnej chemii i generuje mniej odpadów, przez co jego negatywny wpływ na środowisko naturalne jest znacznie mniejszy niż druku analogowego. Do technik drukowania cyfrowego należą: elektrofotografia, jonografia, magnetografia, drukowanie natryskowe, termografia i inne (rys. 1.1). Obiektem niniejszej pracy są dwie techniki drukowania cyfrowego, które są obecnie najbardziej rozpowszechnione – elektrofotografia i drukowanie natryskowe (ink-jet).



Rys. 1.1. Klasyfikacja technik drukowania cyfrowego Źródło: Khadzhynova S., Jakucewicz S., Sposoby drukowania cyfrowego, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2016.

1.1.1. Charakterystyka drukowania elektrofotograficznego

1.1.1.1. Zasada drukowania

Zasada powstania obrazu metodą drukowania elektrofotograficznego polega na zastosowaniu warstw fotoprzewodzących. Warstwy te pod wpływem światła zwiększają przewodnictwo, a nie przewodzą prądu w ciemności. Takie warstwy w warunkach ciemności naładowuje się elektrostatycznie, a następnie naświetla się tworząc utajony obraz elektrostatyczny. Zasadę druku cyfrowego elektrofotograficznego ukazuje rys. 1.2. Na powierzchnię cylindra metalowego naniesiona jest warstwa fotoprzewodząca (FP), którą się ładuje, naświetla się zgodnie z danymi pliku cyfrowego, a następnie utajony obraz wywołuje się (ujawnia) barwnym proszkiem, który nazywa się tonerem. W kolejnym etapie toner przenosi się na podłoże zadrukowywane, gdzie jest termicznie utrwalany. Warstwa fotoprzewodząca przy dalszym obrocie bębna jest oczyszczana z resztek tonera i rozładowywana [1, 2].



Rys. 1.2. Schemat cyfrowego drukowania elektrofotograficznego Źródło: Khadzhynova S., Jakucewicz S., Sposoby drukowania cyfrowego, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2016.

Podstawowe etapy elektrofotografii to: ładowanie warstwy fotoprzewodzącej, naświetlanie FP, wywoływanie obrazu, przeniesienie obrazu na podłoże i utrwalanie oraz czyszczenie i neutralizacja powierzchni cylindra. Dla każdej kolejnej odbitki taki cykl się powtarza, nawet jeżeli nie zmieniamy danych drukowanych.

Podstawowe etapy procesu drukowania realizowane są w cyfrowej maszynie elektrofotograficznej za pomocą odpowiednich zespołów lub mechanizmów. Dla drukowania wielobarwnego, najczęściej czterokolorowego za pomocą tonerów o kolorach Cyan (C), Magenta (M), Yellow (Y) i Black (K) poligraficzne maszyny elektrofotograficzne posiadają cztery (lub więcej) zespołów drukujących. Oprócz tego maszyna elektrofotograficzna posiada zespół wprowadzania arkuszy papieru lub zwoju (odwijak), zespół wykładania arkuszy lub nawijak w przypadku drukowania zwojowego i inne dodatkowe sekcje, np. cięcia zwoju na arkusze i inne sekcje finiszingu.

Charakterystykę podstawowych etapów procesów drukowania elektrofotograficznego przedstawiono w tabeli 1.1.

Nr etapu	Etap	Podstawowe funkcje etapu	Realizacja procesu
1	Ładowanie	Uzyskanie odpowiedniego potencjału na warstwie fotoprzewodzącej	Proces naniesienia dodatnich lub ujemnych jonów uzyskanych z powietrza za pomocą korotronów lub skorotronów. Może być stosowany wałek pod napięciem.
2	Naświetlanie	Utworzenie utajonego elektrostatycznego obrazu poprzez rozładowanie odpowiednich miejsc na warstwie fotoprzewodzacej	Naświetlanie wybranych miejsc na warstwie fotoprzewodzącej za pomocą wiązki/wiązek lasera lub diody świecącej LED
3	Wywoływanie obrazu	Wizualizacja utajonego obrazu elektrostatycznego za pomocą tonera czarnego (drukowanie monochro- matyczne) lub kolorowych tonerów np. CMYK (drukowanie wielobarwne)	Selektywne osadzenie na powierzchni warstwy fotoprzewodzącej cząste- czek naładowanego tonera. Stosowane metody: szczotka magnetyczna, chmura pyłowa lub wywoływanie dyspersyjne.
4	Przeniesienie	Przeniesienie obrazu tone- rowego na podłoże	Oderwanie cząsteczek tonera od warstwy fotoprzewodzącej i przeniesienie ich na podłoże za pomocą sił pola elektrostatycznego. Odbywa się za pomocą korotronu, skorotronu lub wałka pod napięciem
5	Utrwalenie	Uzyskanie mechanicznej odporności nadrukowanej warstwy tonera i homoge- nizacja wszystkich warstw tonerów (kolorów)	Termiczne lub termomechaniczne działanie powoduje stapianie czą- steczek tonera, połączenie ich miedzy sobą i z podłożem. Następuje również częściowa penetracja w głąb podłoży porowatych. Realizowane jest za pomocą systemów utrwalających dwuwałkowych (działanie ciepła i docisku), promien- ników IR (działanie promieniowania IR) lub ksenonowej lampy błyskowej (działanie promieniowania IR)
6	Czyszczenie	Przygotowanie warstwy FP do kolejnego cyklu	Usunięcie z powierzchni warstwy fotoprzewodzącej resztek tonera, neutralizacja pozostałości obrazu elektrostatycznego.
Do pozycji nr 1 dla kolejnego cyklu drukowania			

Tabela 1.1. Podstawowe etapy elektrofotografii

Źródło: opracowanie własne.

W postaci warstw fotoprzewodzących we współczesnych maszynach do druku elektrofotograficznego stosuje się warstwy na bazie organicznych żywic fotoprzewodzących (ang. *organic photoconduktors*, OPC) (nanoszone są na cylinder lub pas w postaci roztworu) lub na bazie krzemu amorficznego (naparowywane są na podłoże, np. cylinder w warunkach próżni) [3].

W trakcie tworzenia obrazu (naświetlania) zmniejsza się potencjał miejsc naświetlonych. W cyfrowych urządzeniach w procesie naświetlania miejsca naświetlone mogą być rozładowywane do różnych wartości potencjału. Dzięki temu w jednym miejscu (pikselu) można uzyskać do 256 różnych wartości potencjału. Pozwala to na odwzorowanie przez pojedynczy piksel obrazu do 256 różnych odcieni koloru. Przy zastosowaniu czarnego tonera będzie 256 odcieni szarości na druku. Z tego powodu nawet przy niezbyt wysokich rozdzielczościach pierwszych maszyn (600 dpi) można było jakościowo zreprodukować wielobarwne obrazy. Obecnie rozdzielczość maszyn, która zależy od systemu naświetlającego, jest duża i wynosi ok. 1200-2400 dpi. Na przykład, w przypadku maszyn elektrofotograficznych Kodaka Nexfinity Press rozdzielczość wynosi 1200 dpi/8 bit na kolor (28 = 256 odcieni na piksel) (rys. 1.3).



Rys. 1.3. Technologia Multibit LED Kodak Nexfinity Press Źródło: 256 Shades of Gray. Kodak Nexfinity Digital Press. https://www.kodak.com/uploadedFiles/ Graphics/Products/Printers_and_Presses/NEXFINI-TY_Digital_Press/Resources/WhiPpr_256Shades-Gray_A4.pdf

Na etapie wywoływania do powierzchni warstwy FP dostarcza się toner, wczesnej naładowany. W cyfrowych procesach elektrofotograficznych wykorzystuje się tzw. wywoływanie rewersyjne: na etapie naświetlania rozładowywane są miejsca drukujące, a na etapie wywoływania stosuje się toner z ładunkiem tego samego znaku co ładunki na warstwie fotoprzewodzącej (rys. 1.4). W trakcie wywoływania toner przyczepia się do miejsc rozładowanych.



Rys. 1.4. Wywoływanie bezpośrednie (ang. charget area development, CAD) i rewersyjne (ang. discharget area development, DAD): 1 – ładowanie warstwy fotoprzewodzącej,
2 – warstwa naładowana, 3 – naświetlanie obrazu, 4 – wywoływanie obrazu Źródło: Khadzhynova S., Jakucewicz S., Sposoby drukowania cyfrowego,
Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2016.

W większości współczesnych maszyn elektrofotograficznych stosuje się wywoływanie za pomocą mechanizmu szczotki magnetycznej. Wyjątek stanowią dwa modele maszyn: Xerox iGen oraz HP Indigo. W maszynie Xerox iGen stosuje się dwuetapowy proces wywoływania: najpierw toner jest dostarczany do strefy wywoływania za pomocą szczotki magnetycznej, ale ostatecznie obraz na warstwie fotoprzewodzącej wywołuje się za pomocą chmury pyłowej. W maszynach HP Indigo stosowany jest dyspersyjny sposób wywoływania ze względu na to, że toner jest w postaci ciekłej.

Przenoszenie tonera na podłoże odbywa się za pomocą sił pola elektrostatycznego. Może być wspomagane za pomocą drgań w strefie przenoszenia, które wywołuje rezonator piezoelektryczny, co ułatwia odczepienie się tonera od pasa z FP (maszyna Xerox iGen) i w efekcie zwiększa się efektywność przenoszenia tonera, a co za tym idzie uzyskuje się większą intensywność nadruku. Wyjątek stanowi maszyna HP Indigo w której zastosowano toner ciekły. W tej maszynie zastosowano pośredni proces przenoszenia tonera na podłoże za pomocą cylindra offsetowego, z którego obraz na podłoże przenosi się za pomocą docisku. Dodatkowo cylinder jest podgrzany do temperatury ok. 140°C i w momencie przenoszenia następuje utrwalanie nadruku.

W większości wielobarwnych maszyn z suchym tonerem zastosowano pośredni sposób przenoszenia tonera na podłoże najczęściej z użyciem pasa transferowego lub cylindra pośredniego. Najbardziej rozpowszechnione systemy przenoszenia przedstawiono na rys. 1.5. Pas transferowy, który zbiera obraz wielobarwny, przechodząc kolejno pod każdym z czterech CMYK (lub więcej) cylindrów z warstwą

fotoprzewodzącą, a następnie w jednym z kliku przekazuje wielobarwny obraz tonerowy na papier (rys. 1.5a). Ma to miejsce w urządzeniach firm Xerox (seria Color) Canon, Konica Minolta i innych. Takie rozwiązanie posiada pięć stref przenoszenia tonera: cztery strefy przeniesienia tonera z czterech cylindrów FP CMYK i piąta strefa - przeniesienie tonera (obrazu wielobarwnego) z pasa transferowego na papier. W wielobarwnej maszynie Kodaka Nexpress zastosowano również pośrednie przeniesienie tonera, ale każdy z cylindrów z warstwą FP (CMYK) wyposażony jest w odrębny cylinder pośredni, za pomocą którego obraz przenoszony jest na podłoże (rys. 1.5b). Papier przechodząc kolejno pod każdym z cylindrów pośrednich zbiera obraz wielobarwny. Takie rozwiązanie posiada osiem stref przeniesienia tonera, cztery strefy – przeniesienie z cylindrów FP CMYK na cylindry pośrednie obciągnięte specjalną gumą przewodzącą prąd, a z nich na podłoże zadrukowywane – też cztery strefy. W każdej ze stref przenoszenia toner na podłoże (pas transferowy, cylinder pośredni czy podłoże zadrukowywane) przenosi się w polu elektrostatycznym. Zwiększenie liczby stref przeniesienia tonera może powodować pogorszenie (zniekształcenie) obrazu graficznego. Z tego powodu firma Xerox uważa [14], że najlepsze parametry jakościowe nadruku uzyska się na maszynie z jedną strefą przeniesienia obrazu wielobarwnego, który przenosi się bezpośrednio z pasa z warstwą fotoprzewodzącą (FP) na zadrukowywane podłoże. Takie rozwiązanie posiada seria maszyna Xerox iGen, gdzie proces przeniesienia tonera dodatkowo jest wspomagany rezonatorem piezoelektrycznym, który powodując drgania na pasie, ułatwia tym samym oderwanie się tonera od FP i przeniesienie go na papier (rys. 1.5c).



Rys. 1.5. Najbardziej rozpowszechnione sposoby przenoszenia tonera we współczesnych maszynach wielobarwnych. FP – warstwa fotoprzewodąca na cylindrach (a i b) lub na pasie (c); PS – pośredni pas transferowy Źródło: opracowanie własne.

Utrwalanie obrazu następuje pod wpływem działania ciepła i docisku (systemy termomechaniczne) lub za pomocą tylko ciepła (promienniki IR lub błyskowe lampy ksenonowe – system flash fusing). Po etapie utrwalania odbitka ma ostatecznie sformowane właściwości optyczne (toner w trakcie utrwalania może zmienić swój kolor) i eksploatacyjne (odporność na ścieranie i różnych czynników chemicznych).

W czasie utrwalania odbitki cylinder z warstwą fotoprzewodzącą, na której znajdują się resztki tonera i ładunków podlega mechanicznemu czyszczeniu i neutralizacji pozostałości obrazu elektrostatystycznego. Ze względu na to, że dla każdej odbitki, nawet jeżeli drukuje się nakład identycznych odbitek (brak danych zmiennych) wszystkie podstawowe etapy procesu są powtarzane. Powoduje to mniejsze, w stosunku do technik klasycznych, wydajności systemów drukowania elektrofotograficznego. Pierwsze maszyny posiadały małe wydajności, które określano w postaci liczby odbitek formatu A4 na godzinę. Obecnie wydajności maszyn elektrofotograficznych, podobnie jak w technikach klasycznych, określa się w postaci liczby arkuszy maksymalnego formatu zadruku np. arkuszy formatu B2 na godzinę, a prędkość drukowania maszyn elektrofotograficznych dorównuje prędkości drukowania arkuszowych maszyn klasycznych.

Każdy z podstawowych etapów drukowania elektrofotograficznego będzie miał wpływ na poziom jakości nadrukowanego obrazu, ale najważniejsze jest współdziałanie tonera z podłożem, co szczegółowo rozpatrzono w rozdziale 1.2.1.

Mówiąc o maszynach cyfrowych, w tym elektrofotograficznych, trzeba pamiętać, że mamy do czynienia z systemem drukowania cyfrowego. System taki tworzy urządzenie drukujące i oprogramowanie sterujące i zarządzające danymi cyfrowymi (rys. 1.6).



Rys. 1.6. Ogólny schemat procesu drukowania elektrofotograficznego Źródło: opracowanie własne.

Często jakość nadrukowanego obrazu będzie zależeć od rodzaju RIP (ang. *raster image procesor*), który odpowiada przede wszystkim za proces rastrowania obrazu. RIP ma wpływ na takie parametry, jak rozdzielczość nadruku i możliwość odwzorowania drobnych szczegółów, a jak wynika z rys. 1.8 również ma wpływ na rozpiętość barw. Odbitki wydrukowane na maszynie Xerox iGen3 z RIPem Docu SP charakteryzują się większą rozpiętością barw w porównaniu do odbitek wydrukowanych na takiej samej maszynie z RIPem Fiery.

Wielobarwne maszyny do druku posiadają szereg różnych rozwiązań konstrukcyjnych. Większość maszyn posiada, podobnie jak i maszyny konwencjonalne, konstrukcję wielozespołową, np. cztery zespoły drukujące – dla każdego koloru tonera osobny. Ale są maszyny bazujące na jednym zespole drukującym i czterech sekcjach wywołujących. Na rysunku 1.7 przedstawiono wszystkie możliwe rozwiązania konstrukcyjne z uwzględnieniem liczby zespołów drukujących, sposobu syntezy obrazu wielobarwnego oraz sposobu przenoszenia na podłoże.

Technika drukowania elektrofotograficznego z zastosowaniem suchego tonera umożliwia również odwzorowanie większej liczby barw w druku w porównaniu do drukowania offsetowego. Na rysunku 1.8 przedstawiono sześciokąty rozpiętości barw reprezentujące gamut barw odbitek offsetowych na podłożu powlekanym i niepowlekanym (zgodnie z ISO 12647-2).



Rys. 1.7. Warianty konstrukcyjnych rozwiązań maszyn elektrofotograficznych Źródło: opracowanie własne.



Rys. 1.8. Rozpiętości barw odbitek elektrofotograficznych wykonanych za pomocą różnych systemów drukowania cyfrowego firmy Xerox, z wykorzystaniem maszyn cyfrowych z serii DocuColor (DC) oraz iGen3. Odbitki elektrofotograficzne wydrukowano na papierze niepowlekanym satynowanym Źródło: opracowanie własne.

Gamut barw odbitek elektrofotograficznych na papierze niepowlekanym satynowanym może być większy od gamutu barw odbitek offsetowych wydrukowanych na papierze powlekanym. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu suchego tonera, który po przeniesieniu i utrwalaniu zostaje na powierzchni odbitki. Odbitki z systemu iGen charakteryzują się zdecydowanie większym gamutem, z tym, że w praktyce w większości prac drukowanych symuluje się kolorystykę odbitki offsetowej, zgodnie z oczekiwaniami klientów. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu profili barwnych (profili ICC) i systemowi zarządzania barw. Odbitka elektrofotograficzna wydrukowana z profilem barwnym symulującym jakość (kolorystykę) odbitki offsetowej będzie posiadała gamut barw zbliżony do gamutu odbitek offsetowych.

Obecnie w większości maszyn elektrofotograficznych stosuje się toner w postaci suchej, otrzymywany głównie za pomocą nowoczesnych chemicznych metod produkcji, jedynie w przypadku maszyn HP Indigo stosowany jest toner w postaci ciekłej. W okresie lat 2008-2014 kilku innych producentów (Xeikon, Oce, Mijakoshi) prowadziły badania nad opracowaniem swoich systemów drukowania na bazie tonera ciekłego, ale ostatecznie wycofały się z tego kierunku. W drukowaniu elektrofotograficznym jednym z aktualnych kierunków rozwoju jest zwiększenie gamy zadrukowanych podłoży. Potwierdza to fakt zwiększania się udziału cyfrowych maszyn elektrofotograficznych na rynku etykiet i opakowań, a dzięki temu, że udało się zwiększyć grubość zadrukowanych podłoży, możliwy stał się zadruk tektur na maszynach elektrofotograficznych. Jedną z głównych tendencji w drukowaniu cyfrowym elektrofotograficznym jest zwiększenie formatu drukowania. Dość długo format B2, który jest bardzo popularny w drukarniach, był nieosiągalny dla maszyn elektrofotograficznych i stanowił wyraźną granicę pomiędzy możliwościami cyfrowych technik drukowania, a klasycznych. Wraz z pojawieniem się nowych maszyn HP Indigo i Xeikon granica ta została wyraźnie przekroczona.

Innym trendem drukowania elektrofotograficznego jest ciągłe zwiększanie wydajności i niezawodności maszyn. Obecnie większiść innowacji dotyczy technik drukowania natryskowego, a producenci maszyn elektrofotograficznych kierują swoje siły nie w stronę opracowywania nowych modeli maszyn, a raczej koncentrują się na modernizacji i udoskonaleniu już istniejących.

1.1.1.2. Toner i jego charakterystyka

Ważnym elementem systemu druku elektrofotograficznego jest toner. Toner jest środkiem, który wizualizuje nadruk na podłożu. Toner uczestniczy w kilku etapach procesu elektrofotograficznego (etap wywoływania, przeniesienia na podłoże i utrwalania obrazu na podłożu). Każdy z etapów stawia specyficzne wymagania co do właściwości tonera, stąd skomplikowany skład tonera. Głównymi komponentami tonerów są: polimery, pigmenty oraz dodatki – elektrostatyczne, antyadhezyjne i powierzchniowe.

Około 90% masy tonera stanowi żywica. Dzięki żywicy toner utrwala się na podłożu, a oprócz tego od żywicy będą zależeć takie podstawowe właściwości tonera, jak zdolność do tryboelektryzacji oraz zdolność do aglomeracji cząsteczek tonera. W tonerach czarnych najczęściej w postaci żywic stosuje się polistyren i żywice akrylowe, a w tonerach barwnych – poliestry i żywice epoksydowe [4].

Pigmenty stanowią około 5-15% masy tonera. Jako pigment czarny najczęściej stosuje się sadzę. W tonerach kolorowych stosuje się pigmenty organiczne.

Bardzo ważne są dodatki elektrostatyczne (ang. *charge control agent*, CCA), które mają wpływ na wydajność procesu ładowania tonera, szybkość ładowania i stabilność uzyskanych ładunków w czasie. Umożliwiają one określenie polaryzacji i otrzymanie żądanej wartości ładunku na cząsteczkach tonera. W przypadku ładunków dodatnich stosowane są m.in. nigrozyna, sole amonowe, a w przypadku ładunków ujemnych – kompleksowe sole metali.

Dodatki antyadhezyjne posiadają niższą, w porównaniu do żywic, temperaturę topnienia, dlatego w sekcji utrwalania stapiają się w pierwszej kolejności, a tym samym zapobiegają przylepianiu się tonera do wałków grzejnych. Stosowane są woski lub polimery o niskiej masie cząsteczkowej (np. polietylen lub polipropylen).

Dodatki powierzchniowe dodawane są w celu poprawienia płynności tonera i zwiększenia efektywności sekcji czyszczącej: stearynian cynku, drobnocząsteczkowe silikony. Podstawowe właściwości tonera to:

- tryboelektryczne stosunek ładunku elektrostatycznego do masy cząstki tonera (q/m), wartość tego parametru warunkuje przyczepność tonera do naładowanej warstwy fotoprzewodzącej, koncentrację cząstek tonera na warstwie, a następnie na papierze, ma wpływ na jakość druku,
- wymiary cząsteczek tonera decydują o rozdzielczości druku,
- płynność w wysokiej temperaturze (zależy od składu chemicznego),
- przewodność cieplna i energia powierzchniowa,
- sypkość.

Oprócz tego toner powinien zapewniać odpowiedni kolor (w tym odpowiedni poziom nasycenia i gestości optycznej) oraz połysk nadruku aby zapewniać skuteczność procesów wywoływania, przenoszenia i utrwalania. Większość etapów druku elektrofotograficznego jest bezpośrednio związana z tonerem, dlatego też właściwości tonerów wpływają na końcowa jakość odbitek elektrofotograficznych. Większość maszyn elektrofotograficznych drukuje za pomocą czterech podstawowych kolorów tonera CMY i K. Często w maszynie elektrofotograficznej jest dodatkowa sekcja drukującą w której może być zastosowany toner o barwie specjalnej. Mogą to być zwykle kolory dodatkowe np. R, G, B, lub kolory o specjalnych właściwościach np. tonery luminescencyjne widoczne w promieniowaniu UV lub IR. Tonery mogą posiadać właściwości magnetyczne tzw. MICR toner. Dla niektórych maszyn dostępne są tonery o barwach złotej lub perłowej. Większość producentów maszyn elektrofotograficznych ma w swojej ofercie tonery o barwie białej i tonery przezroczyste, które spełniają rolę lakieru. W przypadku maszyn HP Indigo dostępny jest zestaw tonerów dla rozszerzonego standardu barw – IndiChrome w którym drukuje się z zastosowaniem sześciu podstawowych kolorów CMYK+OV (O – pomarańczowy, V – fioletowy).

Na początku w produkcji tonera stosowano tradycyjną mechaniczną metodę. Polegała ona na zmieszaniu i rozdrabnianiu w specjalnych młynach wszystkich składników, a następnie stapianiu i ugniataniu w ekstruderze śrubowym. Po tym następowała separacja frakcji drobnej i zaokrąglenie cząsteczek tonera pod wpływem wysokich temperatur. Taki toner charakteryzował się nieregularnymi krawędziami cząsteczek (rys. 1.9a), co powodowało niską jakość obrazu. Natomiast ostre krawędzie cząsteczki tonera powodowały efekt "postrzępienia", który zwłaszcza był widoczny na krawędziach linii i znaków. Powodowało to niską rozdzielczość obrazu i duże zużycie tonera. Obecnie tonery produkowane są za pomocą chemicznych metod: w procesie agregacji emulsyjnej tonera (EA) oraz polimeryzacji suspensji. Nowe metody pozwalają na produkcję tonerów o bardzo małych wymiarach (3-5 μ m) i regularnych sferycznych kształtach (rys. 1.9b). Obrazy drukowane nowymi tonerami są bardziej ostre i nie tworzą dodatkowych satelitów wokół krawędzi obrazu. W druku uzyskuje się większy gamut barw, a zużycie tonera jest mniejsze.



Rys. 1.9. Toner starej generacji (a) i toner wyprodukowany metodą chemiczną (b) Źródło: Abouzeid M. EA Toner Technology & Image Quality in Electrophotography http://www.journal.faa-design.com/pdf/3-2-reda.pdf

Oprócz tonerów w postaci suchej (proszków) stosowane są tonery w postaci ciekłej (technologia Electroink w maszynach HP Indigo). Ciekły toner przedstawia sobą dyspersję cząsteczek tonera o bardzo małych wymiarach (0,1-1 µm) w rozpuszczalnikach. W postaci rozpuszczalnika stosuje się obecnie syntetyczne oleje parafinowe. Tak jak i w przypadku suchego tonera, cząsteczki tonera ciekłego zawierają pigment, dodatki elektrostatyczne i inne. Tonery dyspersyjne umożliwiają uzyskanie większej, w porównaniu do tonerów suchych, rozdzielczości nadruku oraz dają bardziej równomierną warstwę nadruku. Ze względu na małe wymiary cząsteczek uzyskuje się bardzo cienka warstwa tonera, co nie zawsze umożliwia uzyskanie wymaganej intensywności barwy nadruku. Niekiedy w trakcie drukowania nanosi się kilka warstw tego samego obrazu tonerowego, w celu zwiększenia gęstości optycznej nadruku.

Tonery te pozwalają rozszerzyć gamę zadrukowanych podłoży, ze względu na sposób przeniesienia tonera. Przeniesienie tonera na podłoże odbywa się nie w polu elektrostatycznym, ale za pomocą ciepła i docisku. Wybór podłoży nie jest w tym przypadku ograniczony właściwościami elektrostatycznymi podłoża.

1.1.2. Charakterystyka drukowania natryskowego (ink-jet)

1.1.2.1. Zasada drukowania

Technologia drukowania natryskowego (ang. *ink-jet*) należy do technik druku cyfrowego bezkontaktowego. Zasada drukowania polega na "wyrzucaniu" kropel atramentu z głowicy drukującej bezpośrednio na zadrukowywane podłoże. Głowica drukująca urządzenia do drukowania natryskowego składa się z szeregu mikroskopijnych dysz z których, zgodnie z obrazem cyfrowym, wyrzucane są krople atramentu. Pierwsze informacje o sposobie druku natryskowego pochodzą z roku 1976, lecz pierwsza współczesna drukarka atramentowa powstała w 1988 r. Wyprodukowała ją znana korporacja Hewlett-Packard. Od tamtego czasu urządzenia do drukowania natryskowego ewoluowały i powstało wiele typów urządzeń, różniących się nie tylko budową i sposobem drukowania, ale także zastosowaniem. Obecnie drukowanie natryskowe jest najbardziej dynamicznie rozwijającą się techniką drukowania [5-9].

Istnieją różne sposoby generowania kropel atramentu w głowicach drukujących. Wyróżnia się dwie technologie drukowania natryskowego: technologia ciągłego strumienia (ang. *continuous flow*) oraz technologia kropli na żądanie (ang. *drop on demand*) [5].

Technologia ciągłego strumienia składa się z trzech etapów: tworzenie ciągłego strumienia kropel, podział kropel na robocze (tworzą nadruk na podłożu) i nierobocze (nie docierają do podłoża). Możliwe są warianty w technologii generowania i selekcji kropel. Charakterystyka tych sposobów przedstawiona została w tabeli 1.2.

Sposób generowania kropel	Selekcja kropel	Warianty technologii
Ciągły sposób generacji kropel za pomocą rezonatora piezoelek- trycznego. Do rezonatora przykła- da się wysokie napięcie elektryczne z wysoką częstotliwością. Cykliczna deformacja elementu piezoelektrycz- nego wywołuje mechaniczne wibra- cje, które powodują rozbicie ciągłego strumienia atramentu na krople.	Za pomocą pola elektrostatycznego	Selekcja za pomocą pola elektrostatycz- nego ma miejsce w dwóch wariantach. W pierwszym sposobie, z binarnym odchyleniem kropel. Na początku za pomocą elektrod ładujących, zgodnie z sygnałem na podstawie pliku cyfrowe- go, ładuje się krople, które następnie za pomocą elektrod odchylających zostaną odchylone i wyłapane. Na podłoże docie- rają krople nienaładowane i lokują się wzdłuż jednej linii. W drugim sposobie, z wielokrotnym odchyleniem kropel, za pomocą elek- trod ładujących zgodnie z sygnałem na podstawie pliku cyfrowego, ładuje się krople, które następnie za pomocą elektrod odchylających zostaną odchy- lone i trafiają na podłoże. Ze względu na to, że wielkość ładunku kropel może być różna, w polu elektrostatycznym krople odchylają się na różną odległość i na pod- łożu można zadrukować jednocześnie kilka linii.

Tabela 1.2. Technologia ciągłego strumienia

Ciągły sposób generacji kro- pel za pomocą termicznego ele- mentu grzejnego. Element grzej- ny umieszczony jest wokół dyszy. Pod wpływem impulsu elektrycznego zwiększa się temperatura elementu grzejnego, co przyczynia się do zmiany napięcia powierzchniowego atramen- tu w okolicach dyszy i inicjuje powsta- nie kropli. Objętość wytworzonej kro- pli zależy od częstotliwości sygnału. W miejscach elementu drukujące- go częstotliwość impulsu zmniejsza się, co powoduje generowanie kropli roboczej, większej o około pięć razy w porównaniu do kropli nieroboczej. Metoda jest stosowana w technologii KodakStream [16].	Za pomocą strumienia powietrza	Dzięki temu, że robocze i nierobocze kro- ple mają różną objętość, pod wpływem strumienia powietrza przemieszczają się wg różnych trajektorii. Robocze krople trafiają na podłoże, a nierobocze wyłapy- wane są za pomocą pochłaniacza.
---	--------------------------------	--

Źródło: opracowanie własne.

W technologii kropli na żądanie kropla atramentu wyrzuca się z dyszy tylko w momencie, gdy sygnał/impuls elektryczny podawany jest do aktywatora. Stosowane są dwa rodzaje aktywatorów: płytka grzejna (metoda termiczna) i element piezoceramiczny (metoda piezoelektryczna), które umieszcza się w kanale łączącym dyszę z komorą z atramentem.

W metodzie termicznej wzrost temperatury elementu grzejnego (elementu rezystancyjnego) powoduje podgrzanie atramentu wodnego do temperatury wrzenia. W trakcie wrzenia wytwarza się pęcherzyk pary, który wyrzuca kroplę (rys. 1.10). Ograniczeniem tej metody jest stosowanie wyłącznie wodnych atramentów. Oprócz tego, częste podgrzanie i schładzanie głowic powoduje szybsze ich zużycie. Ponadto, kropla gorącego atramentu może nadmiernie rozlewać się po powierzchni podłoża co może obniżać jakość nadruku.

W metodzie piezoelektrycznej wyrzucenie kropli atramentu następuje na skutek deformacji elementu piezoceramicznego (kryształu piezoelektrycznego). Odkształcenie to wytwarza impuls ciśnienia w komorze z atramentem, co powoduje wyrzut kropli (rys. 1.11). Istnieje wiele odmian głowic zależnych od architektury kryształu piezoelektrycznego i typu jego deformacji. W zależności od rozmieszczenia i typu odkształcania elementu piezoelektrycznego wyróżnia się cztery główne rodzaje głowic pracujące w trybie: ściskania (ang. *squeeze-tube*), ugięcia (ang. *bend-mode*), nacisku (ang. *push-mode*) i ścinania (ang. *shear-mode*).



Rys. 1.10. Proces wytwarzania kropli metodą termiczną Źródło: Le H.P. Progress and Trends in Ink-jet Printing Technology, IS&The. Society for Imaging Science and Technology, Volume 42, Number 1, January/February 1998. http://www.imaging.org/site/ IST/Resources/Imaging_Tutorials/Progress_and_Trends_in_InkJet_Printing_Technology/IST/ Resources/Tutorials/Inkjet.aspx?hkey=4af47800-9584-4480-be8d-45fc3ee53e86

Do zalet technologii piezoelektrycznej kropli na żądanie należy możliwość stosowania bardzo szerokiej gamy atramentów oraz niezawodność i długotrwała żywotność.



Rys. 1.11. Proces wytwarzania kropli metodą piezoelektryczną Źródło: http://39print.ru/files/file/article_14.pdf

Obecnie stosowane są natryskowe głowice drukujące dwóch typów: w wysokowydajnych maszynach głowice posiadają szerokość równą maksymalnej szerokości podłoża, a w urządzeniach wielkoformatowych i urządzeniach biurowych – głowicę o niewielkich rozmiarach, która posiada ruch posuwisto-zwrotny w celu zadrukowania szerokości podłoża. Na jakość nadruku będą miały wpływ następujące parametry głowic: rozdzielczość, objętość wyrzucanej kropli, możliwość generowania kropel o różnej objętości (tryb Greyscale). Obecnie rozdzielczość (fizyczna) głowic natryskowych osiąga 1200 dpi, a najmniejsza objętość kropli wynosi 1-2 pl (głowice Fujifilm Dimatix). Pozwala to konkurować pod względem jakości na rynku komercyjnym z klasycznymi technikami druku. **Atramenty.** Podejście do klasyfikacji atramentów natryskowych powinno być dwutorowe. Z jednej strony atramenty można klasyfikować ze względu na to jaki rodzaj barwidła (pigment czy barwnik) jest zastosowany, a z drugiej strony – jaki rodzaj spoiwa/rozpuszczalnika zastosowano w produkcji atramentu (rys. 1.12).



Rys. 1.12. Klasyfikacja atramentów natryskowych Źródło: opracowanie własne.

Pierwszymi atramentami były atramenty barwnikowe wodne. Atramenty barwnikowe są dostępne w szerokiej gamie kolorystycznej, ale posiadają wady w postaci słabej odporności na działanie światła (niska światłotrwałość), słabej odporności na wpływ wody i wilgoci, a oprócz tego charakteryzują się niestabilnoscią w otoczeniu gazów środowiskowych takich jak azot. W zależności od podłoża zadrukowywanego i technologii drukowania, stosowane są różne rodzaje atramentów barwnikowych: bezpośrednie, kwasowe, reaktywne, dyspersyjne (zwane zawiesinowymi) i in.

Atramenty na bazie pigmentów są bardziej stabilne w porównaniu do atramentów barwnikowych. Są dużo bardziej odporne na działanie światła i znacznie mniej wrażliwe zarówno na wodę, jak i inne czynniki.

Ponieważ cząsteczki pigmentu nie rozpuszczają się w wodzie i innych rozpuszczalnikach, muszą być zdyspergowane w nośniku, który dostarczy je na podłoże. Jednym ze sposobów uzyskania stabilnej dyspersji pigmentu jest metoda enkapsulacji (kapsułkowania) pigmentów stosowana przez firmę Epson w większości swoich atramentów pigmentowych. W metodzie tej na powierzchni cząsteczki pigmentu wytwarza się otoczkę polimerową, która dodatkowo zawiera anionowy środek powierzchniowo--czynny, który stabilizuje dyspersję. Do wad atramentów pigmentowych trzeba zaliczyć to, że większe w porównaniu do barwników cząsteczki pigmentu, w większym stopniu rozpraszają światło, co redukuje skalę barw możliwych do odwzorowania. Rozpiętość barw odbitek wydrukowanych atramentem pigmentowym na ogół jest mniejsza w porównaniu do nadruków wykonanych atramentem barwnikowym (rys.1.13).



Rys. 1.13. Rozpiętość barw dwóch atramentów: pigmentowego (czerwona linia) i barwnikowego (biała linia) Źródło: Johnson H. Mastering Digital Printing, Second Edition. Thomson Course Technology PTR, USA, 2005, s. 218.

Również są różnice w zachowaniu się atramentów barwnikowych i pigmentowych w kontakcie z podłożem chłonnym (rozdział 1.2.1.2). Rozwiązaniem kompromisowym może być atrament, który w swoim składzie zawiera pigmenty, jak i barwniki.

Zarówno atramenty pigmentowe, jak barwnikowe mogą w postaci spoiwa posiadać wodę, rozpuszczalnik organiczny lub inny rodzaj spoiwa.

Atramenty wodorozcieńczalne, zwane popularnie w Polsce wodnymi, w swoim składzie zawierają do 80% wody. Ze względu na to, że woda jest tanim i nietoksycznym rozpuszczalnikiem, atramenty wodne spełniają wymogi ochrony środowiska naturalnego. Mogą być stosowane w różnych typach głowic drukujących (ciągłego strumienia, termicznych, piezoelektrycznych). Do zadruku mogą być stosowane tylko podłoża chłonne. Mechanizm utrwalania nadruku wykonanego atramentem wodnym polega na wchłanianiu i odparowaniu wody. Ze względu na to, że woda łatwo wchłania się przez papier, dla uzyskania dobrej jakości nadruku wymagana jest specjalna powłoka na podłożu, która będzie zapobiegać nadmiernemu rozciekaniu się czy wchłanianiu atramentów przez papier, a tym samym zapobiegnie utracie nasycenia nadruku czy pofalowaniu podłoża.

Atramenty rozpuszczalnikowe (solwentowe) stosowane są głównie do zadruku podłoży niechłonnych. Zawierają w swoim składzie rozpuszczalniki organiczne, które trafiając na podłoże z tworzywa sztucznego rozpuszczają go częściowo w miejscu kontaktu, a następnie, po odparowaniu rozpuszczalnika, barwidło zostaje "uwięzione" w wierzchniej warstwie podłoża, co powoduje, że nadruki takie charakteryzują się dużą odpornością na działanie światła, wody i innych czynników. Atramenty solwentowe typu hard solvent w swoim składzie mają wysoką zawartość agresywnych rozpuszczalników takich jak keton metylowo-etylowy (MEK) lub cykloheksanon. W atramentach o niskiej zawartości rozpuszczalnika (inaczej mild solvent, soft solvent, light solvent) zminimalizowano zawartość szkodliwych rozpuszczalników do 5-7% lub nawet niżej. Są one bardziej przyjazne dla środowiska, a odporność nadruków wykonanych tymi atramentami jest podobna do atramentów z wysoką zawartością rozpuszczalnika. Ostatnio opracowano atramenty eko i biosolwentowe, które są bardziej przyjazne dla zdrowia i środowiska, ale posiadają niższą odporność na zmienne warunki atmosferyczne.

Atramenty termotopliwe w swoim składzie zawierają żywice i woski termotopliwe, dzięki którym w warunkach temperatury mniejszej od temperatury stapiania atrament jest w postaci stałej a powyżej temperatury stapiania (60-70°C Xerox CiPress, 130-140°C Oce ColorWave) przyjmuje postać ciekłą. W postaci ciekłej atrament jest wyrzucany z głowicy drukującej a trafiając na podłoże krzepnie. Oprócz spoiwa termotopliwego w skład atramentów wchodzi barwidło (głównie pigment, który może być wspomagany barwnikiem) i różnego rodzaju dodatki (zwiększające przyczepność nadruku do podłoża, modyfikatory lepkości, środki bakteriobójcze i in). Stosowanie atramentów termotopliwych w dużym stopniu pozwala uniezależnić jakość nadruku od rodzaju podłoża, ze względu na to, że nadruk kropli atramentu natychmiast krzepnie na zimnym podłożu, pozostając na jego powierzchni. Niezależnie od tego czy jest to papier powlekany, czy niepowlekany uzyskuje się dużą intensywność nadruku i szeroką gamę barw (rys. 1.14).



Rys. 1.14. Nadruk wykonany na papierze offsetowym (niepowlekanym) za pomocą: a – atramentu termotopliwego (Xerox CiPress), b – atramentu wodnego Źródło: Xerox® CiPress® 500. Production Inkjet Systems. Brochure. https://www.office.xerox.com/ latest/XPIBR-01U.pdf

Atramenty utrwalane promieniowaniem UV szerokie zastosowanie w drukowaniu natryskowym znalazły od ok. 2000 r. Do tego czasu problemem było uzyskanie odpowiednio niskiej lepkości kompozycji fotopolimerowej atramentu. W celu obniżenia lepkości często stosuje się podgrzewanie atramentu w głowicy. Atrament UV umożliwia zadruk szerokiej gamy podłoży, w tym z tworzywa sztucznego. Uzyskuje się wyraziste i nasycone kolory w druku. Problemem może być nieco większa grubość nanoszonej warstwy w porównaniu do atramentów wodnych czy rozpuszczalnikowych. Oprócz tego, po zadrukowaniu większości podłoży kropla może nie rozpływać się równomiernie po powierzchni podłoża i po utrwalaniu tworzą się mikrosfery nadrukowanych kropel, co jest widoczne i wyczuwalne w dotyku. Może to pogarszać ogólną jakość nadruku, ze względu na rozpraszanie światła. Atrament UV składa się z monomerów, oligomerów, fotoinicjatorów, pigmentów i/lub barwników oraz dodatków. Światło UV powoduje zestalenie wszystkich składników farby bez odparowania jakichkolwiek substancji, dając trwałą powłokę nadruku. Dlatego też 100% składników atramentu pozostaje w utrwalanej warstwie. Farby natryskowe utrwalane promieniowaniem UV utrwalają się według dwóch odmiennych mechanizmów reakcji fotopolimeryzacji: rodnikowego i kationowego. Udział atramentów polimeryzujących według mechanizmu rodnikowego jest największy na rynku. Farby UV rodnikowe, ze względu na obecność w nadmiarze fotoinicjatorów, nie mogą być stosowane do drukowania opakowań mających bezpośredni kontakt ze środkami spożywczymi [17, 19].

Atrament jest jednym z najważniejszych elementów odpowiadających za jakość odbitki i z tego powodu powinien posiadać odpowiednie właściwości, które zapewnią prawidłowe funkcjonowanie głowicy drukującej i pozwalają uzyskać nadruk wysokiej jakości. Badania wykazały, że zmiany właściwości fizycznych atramentów, takich jak lepkości czy napięcia powierzchniowego, powodują zmiany w wielkości wytwarzanej kropli i prędkości ruchu kropli z dyszy do podłoża. To z kolei zakłóca stabilność procesu wytwarzania kropli i może powodować zmiany objętości kropli lub pojawienie się kropel-satelit. Wynikiem będzie pogarszanie się jakości nadruku.

Do najważniejszych właściwości atramentów należą: lepkość, napięcie powierzchniowe, wymiary cząsteczek barwiła, barwa, przewodnictwo właściwe, pH i in. Oczywiście, że dla każdego typu głowic drukujących te właściwości powinny być odpowiednio dobrane, ale można powiedzieć, że atramenty natryskowe charakteryzują się niską lepkością do 0,02 Pa·s, a najlepszym zakresem napięcia powierzchniowego jest zakres 25-60 mN/m [17-22].

Szeroka gama rodzajów atramentów umożliwia zadruk natryskowy prawie na każdym rodzaju podłoża. Oprócz tego, w technice drukowania natryskowego głowica drukująca nie kontaktuje z podłożem. Rozwój nowych technologii produkcji głowic

drukujących (MEMS i in.), nowych atramentów i inne innowacje spowodowały, że zakres zastosowania drukowania natryskowego jest znacznie szerszy niż w drukowaniu elektrofotograficznym [17, 18]. Z tego powodu drukowanie natryskowe jest stosowane w drukowaniu komercyjnym arkuszowym i zwojowym (książki gazety, reklama, opakowania i in.), w druku wielkoformatowym (reklama, zadruk tektury falistej), w zadrukowaniu różnego rodzaju kształtek, a nawet ostatnio maszyny natryskowe stosujące bezbarwny atrament utrwalany promieniowaniem UV służą do uszlachetniania druków (lakierowania i foliowania) [15,45]. Pojawiają się ostatnio maszyny hybrydowe łączące techniki druku klasycznego z cyfrowym drukiem natryskowym. Poza tym drukowanie natryskowe jest stosowane w systemach cyfrowych odbitek próbnych, w procesach wykonania form drukowych. Poza typowo poligraficznymi zastosowaniami rozwija się tzw. drukowanie przemysłowe natryskowe: zadruk tekstyliów, tapet, paneli podłogowych i in. Obecnie liczba instalacji maszyn elektrofotograficznych przewyższa liczbę maszyn natryskowych, ale przewiduje się (wg prognozy International Data Corporation (IDC)), że w segmencie rynku opakowań i etykiet dzięki dużemu średniorocznemu wzrostowi (2,4%) sprzedaż maszyn natryskowych w najbliższym czasie będzie przewyższać sprzedaż maszyn elektrofotograficznych. W zakresie druku wydawniczego problemem jednak jest uzyskanie stabilnej i przewidywalnej jakości nadruku na podłożach niepowlekanych. Obecnie istnieje kilka rozwiązań tego problemu, a szczegóły przedstawiono w rozdziale 2.5.

1.1.3. Papiery w drukowaniu cyfrowym

Od chwili powstania cyfrowych technik drukowania ścierały się dwa trendy dotyczące papierów stosowanych w druku cyfrowym. Trend pierwszy zakładał przystosowanie obecnych na runku papierów drukowych (szczególnie do druku offsetowego arkuszowego) do drukowania cyfrowego. Trend drugi to produkcja papierów przeznaczonych tylko i wyłącznie do drukowania na maszynach cyfrowych [23].

Druk cyfrowy znacznie różni się od tradycyjnego druku offsetowego. Papiery do druku cyfrowego muszą spełniać wiele wymogów co do stabilności rozmiarów, jakości i nieprzerwanego działania na różnego rodzaju maszynach cyfrowych. Specjalne powłoki, mniejsza tolerancja zawartości wilgoci, procedura cięcia arkuszy i opakowanie odróżniają ten papier od innych, przeznaczonych do druku offsetowego. Wszystkie te procesy, w połączeniu z faktem, że do tworzenia obrazu stosuje się zarówno suche lub ciekłe tonery i różne rodzaje atramentów zamiast farby graficznej, przyczyniają się do tego, że papiery stosowane w technikach drukowania cyfrowego muszą spełniać szereg wymogów. Dlatego też papiery stosowane do drukowania cyfrowego muszą spełniać pewne podstawowe kryteria. W przypadku **papierów do drukowania elektrofotograficznego** sformułowano wymagania co do: gramatury, wilgotności, gładkości, odporności na zwijanie się, przewodności elektrycznej, pylenia i inne [28, 29].

Gramatura. Większość maszyn do druku elektrofotograficznego może drukować na papierze o gramaturze 60-360 g/m². Wydajność maszyny może być inna (niższa) przy wysokiej gramaturze, ze względu na proces utrwalania.

Wilgotność. Zawartość wilgoci w papierze ma bezpośredni wpływ na niezawodność pracy cyfrowej maszyny drukującej i jakość odbitek. Jedna z podstawowych zasad mówi, że papier musi mieć wilgotność względną równowagową – równą z tą, która panuje w pomieszczeniu pracy maszyny cyfrowej lub magazynu papieru. Niekiedy, przy zadrukowywaniu papieru w postaci zwojów na maszynach Xeikon, HP Indigo papier musi mieć wilgotność względną równowagową niższą od wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniu, gdzie pracuje maszyna. Przy zbyt wysokiej wilgotności podłoża występują zakłócenia w pracy maszyny, niezbędne jest zatem klimatyzowanie temperaturowe papieru w pomieszczeniu maszyny w opakowaniu odpornym na wilgoć przez okres 24 godzin.

Jeżeli wilgotność będzie bardzo mała może to spowodować problemy związane z ładunkami statystycznymi, które powodują na etapach obróbki po druku. Absolutna wilgotność papieru powinna być niższa niż w drukowaniu offsetowym i wynosić 4,5%. Wilgotność względna powinna też być stosunkowo niska i wynosić 30-40%. Umożliwia to optymalne przeniesienie tonera na podłoże oraz zwiększa przyczepność tonera do podłoża. Dodatkowo niższa wilgotność sprawia, że podczas utrwalania tonera mniejsza ilość wilgoci musi zostać usunięta z arkusza papieru. Po przejściu arkusza papieru przez sekcje utrwalające musi on zachować zdolność do płaskiego leżenia. Jest to bardzo istotne podczas druku dwustronnego [28, 33].

Wilgoć powinna być równomiernie rozłożona na płaszczyźnie papieru. Niewłaściwy poziom wilgoci papieru często jest powodem pojawienia się efektu cętkowania na nadruku. Ponieważ standardowo w maszynach arkuszowych nie ma możliwości ustawienia odpowiedniego poziomu wilgotności papieru, dlatego też zapakowana ryza musi posiadać już wilgotność odpowiednio dostosowaną do procesu drukowania. Podczas przechowania papieru nie można dopuścić, żeby wilgotność papieru w opakowaniu się zmieniała. W celu utrzymania odpowiedniej wilgotności papier przeznaczony do drukowania elektrofotograficznego zostaje zapakowany w specjalne opakowanie odporne na wilgoć.

Ważnym czynnikiem determinującym jakość drukowania oraz stabilność całego procesu jest zapewnienie stabilnych warunków otoczenia. Pomieszczenie, w którym znajduje się maszyna drukująca, powinno być odpowiednio klimatyzowane wg zaleceń producenta maszyny.

Gładkość. Papier do druku elektrofotograficznego powinien charakteryzować się dużą gładkością, a w zasadzie – bardzo małą szorstkością. Gładkość ma wpływ na jakość obrazu. Nowoczesne urządzenia drukujące umożliwiają wykonywanie odbitek o rozdzielczości do 2400 dpi, co z kolei wymaga stosowania papierów o dużej gładkości. Podobnie jak przy tradycyjnych technikach drukowania, gładkość papieru ma wpływ na wyrazistość odbitki. Dzieje się tak, ponieważ powierzchnia papieru ma budowę nieregularną i punkt drukarski może znaleźć się zarówno na wierzchu tej powierzchni, jak i w jej mikroskopijnych zagłębieniach. Im mniejsza nieregularność powierzchni papieru, tym mniejsza niedokładność druku.

Odporność na zwijanie się. Ze względu na to, że bardzo często tonery utrwalane są termicznie, a temperatura utrwalania może dochodzić do l60-240°C, papiery mają tendencję do zwijania się. Wówczas pory na powierzchni papieru ulegają zamknięciu, co powoduje pofalowanie arkusza. Odkształcenia te są spowodowane tym, że ciepło nie jest równomiernie rozprowadzane na wierzchniej i spodniej części arkusza. Ponadto arkusz ulega wygięciu pod wpływem wałków prowadzących, gdyż włókna papieru ulegają wygięciu w kierunku równoległym do kierunku przemieszczania się arkusza. Tak zdeformowane arkusze papieru będą powodowały trudności przy zadrukowaniu drugiej strony arkusza lub na etapie wykańczania (obróbki) druków. Dlatego w cyfrowych maszynach drukujących nie zaleca się stosować zwykłych papierów offsetowych, gdyż papier ten nie był projektowany tak, aby był odporny na tego typu oddziaływania [34]. Stosowane muszą być papiery o ograniczonej podatności na zwijanie się (stabilne wymiarowo). Generalnie, jeżeli zawartość wilgoci w papierze przewyższa 5,3% to zwijanie się papieru po zadruku będzie nieuniknione.

Przewodność elektryczna. Odpowiednia przewodność papieru zapobiega zbieraniu się ładunków elektrycznych na powierzchni papieru. Ładunki na powierzchni arkusza powodują powstanie elektryczności statycznej, która utrudnia transport papieru podczas kolejnych procesów. Z drugiej strony od papieru do druku cyfrowego wymagana jest pewna oporność elektryczna (powierzchniowa i objętościowa). Umożliwia ona arkuszowi utrzymanie ładunków elektrostatycznych wymaganych w momencie transferu tonera.

Pylenie. Brak pylenia – niska jakość krojenia oraz stosowanie papierów nieprzystosowanych do druku cyfrowego powoduje pylenie papieru podczas druku. Maszyny do druku cyfrowego dysponują ograniczonymi możliwościami odpylania papieru, co może prowadzić do zacinania się i szybkiego zużywania się elementów w urządzeniach do druku cyfrowego.

Niewydzielanie przykrego zapachu – podczas utrwalania tonera papier poddawany jest działaniu wysokiej temperatury i nie powinien wówczas ani w trakcie trwania procesu utrwalania, ani po nim wydzielać żadnych przykrych zapachów [35]. **Białość** – w wyniku działania wysokiej temperatury następuje obniżenie białości (efekt żółknięcia), dlatego wymaga się wysokiej białości, aby w efekcie końcowym nie stracić "wrażenia" białości.

Nieprzezroczystość. Wysoka nieprzezroczystość jest czynnikiem bardzo istotnym w przypadku druku dwustronnego, żeby zapobiec prześwitywaniu nadruku na drugą stronę.

Dobre przezrocze – arkusz papieru może być bardzo gładki, lecz jego grudkowata struktura (złe przezrocze) może spowodować nierównomierne rozłożenie tonera.

Współczynnik tarcia. Przy podawaniu arkuszy i układaniu bardzo ważne jest, żeby arkusze łatwo oddzielały się jeden od drugiego. Dla stabilnej pracy urządzeń z frykcyjnym mechanizmem podawania arkuszy współczynnik tarcia pomiędzy sąsiednimi arkuszami w stopie powinien posiadać odpowiednią optymalną wartość. Jeżeli siła tarcia pomiędzy arkuszami będzie zbyt duża lub mała, wzrasta możliwość niepodawania arkuszy lub podawania kilku arkuszy naraz.

Opisane powyżej wymagania papierów do druku cyfrowego arkuszowego mają charakter ogólny i dotyczą większości obecnie dostępnych technik druku cyfrowego.

W początkowym okresie stosowania drukowania cyfrowego przystosowywano (po dokonaniu stosownych testów) papiery przeznaczone do innych technik drukowania, do technik cyfrowych. Następnie rozpoczęto produkcję specjalnych papierów dedykowanych (produkowanych) do konkretnej techniki cyfrowej oraz wprowadzono systemy kwalifikowania papierów znajdujących się na rynku, które są możliwe do stosowania w maszynach cyfrowych. Po pomyślnym przejściu procedury kwalifikacyjnej papiery uzyskiwały certyfikaty do stosowania jako podłoża do drukowania cyfrowego. Należy pamiętać, że praktycznie żaden z producentów maszyn cyfrowych nie jest producentem papieru do maszyn cyfrowych mimo, iż oferuje takowe papiery pod marką własną. Praktycznie każdy z producentów oryginalnych maszyn cyfrowych posiada własny system kwalifikacyjny dla danej techniki cyfrowej. Papiery, które uzyskały certyfikat sklasyfikowano w dwóch grupach:

- zakwalifikowane papiery do drukowania cyfrowego,
- autoryzowane papiery do drukowania cyfrowego.

Zakwalifikowane papiery – są papierami, w przypadku których producent maszyn gwarantuje możliwość ich zadrukowania w swoich systemach druku cyfrowego. Gwarantowane jest bezpieczeństwo podczas ich użytkowania (np. nietoksyczność), stabilność procesu i określony poziom jakości odbitki [32,36].

Autoryzowane papiery – są papierami, w przypadku których producent maszyn gwarantuje możliwość zadrukowania w swoich systemach druku cyfrowego, bez gwarancji jakości druku i stabilności procesu. Do końca pierwszej dekady XXI wieku dominowały papiery dedykowane i kwalifikowane do drukowania cyfrowego. Obecnie trendem jest stosowanie papierów przeznaczonych do drukowania analogowego w maszynach cyfrowych, oczywiście tam, gdzie to jest możliwe, bez awarii maszyny i wytwarzania dużej ilości makulatury [30, 31, 37, 38].

Papiery w drukowaniu natryskowym. Jedną z głównych zalet drukowania natryskowego jest możliwość drukowania na różnych podłożach papierowych i foliach z tworzyw sztucznych [24-27]. Dochodzą do tego oryginalne materiały, np. tkaniny, skóra naturalna i sztuczna, folie metalowe i inne. Chociaż na drukarkach natryskowych można zadrukowywać prawie wszystkie podłoża, to jednak druki wielobarwne wymagają przygotowania danego podłoża poprzez specjalne powlekanie [39]. Porównanie druków kolorowych wykonanych na papierze niepowlekanym oraz na papierze ze specjalną powłoką wykazuje bardzo dużą różnicę jakości na korzyść papieru powlekanego. Głębokość barwy, kontrast, gama kolorów i ich naturalność jest nieporównywalnie lepsza w przypadku papierów powlekanych. Rodzaje papierów stosowanych w drukowaniu natryskowym przedstawia rys. 1.15.



Rys. 1.15. Papiery do druku natryskowego Źródło: opracowanie własne.

Papiery niepowlekane. Jakość druku jest ściśle uzależniona od stanu powierzchni papieru. W papierze niepowlekanym istotny wpływ mają różnice w składzie włóknistym, obecność dodatków chemicznych oraz sposób wytwarzania i zaklejania powierzchniowego papieru. Rodzaj i rozmiar ziaren wypełniacza, środki retencyjne, wybielacze optyczne i inne dodatki masowe oraz obecność na powierzchni powłoki skrobiowej mają wpływ na dynamikę penetracji farby. Niektóre papiery niepowlekane dają wyjątkowo niską jakość druku, co objawia się zjawiskami zwanymi wicking lub feathering, czyli rozchodzeniem się farby wzdłuż włókien w kierunku równoległym do powierzchni papieru, wskutek czego powstają nieostre kontury punktów rastrowych. Szczególnie duże różnice jakości wydruków występują między papierami zaklejanymi tylko w masie a zaklejanymi w masie i powierzchniowo. Do poprawy jakości druku stosuje się powierzchniowe zaklejanie papieru na prasie zaklejającej z zastosowaniem skrobi i żywic polimerowych. Zaleca się przy tym stosowanie skrobi modyfikowanej z pigmentem krzemowym o bardzo małych ziarnach i dużej powierzchni właściwej. Należy przy tym zwrócić uwagę, że farby kolorowe mają bardziej złożoną charakterystykę absorpcji niż farby czarne i przez regulację zaklejenia powierzchniowego nie można uzyskać odpowiedniej jakości druku, co jest możliwe w drukowaniu farbą czarną [9, 15].

Papiery powlekane. Nanoszenie na podłoże papierowe odpowiedniej powłoki pigmentowej umożliwia szybką absorpcję farby, co pozwala otrzymać obrazy o dużej ostrości i dobrej gęstości optycznej. W literaturze patentowej zastrzeżono wiele rodzajów mieszanek powlekających na papiery, folie polimerowe i inne tego typu podłoża dla urządzeń natryskowych. Powłoka papierów powlekanych musi spełniać szereg wymogów, często przeciwstawnych sobie. Jej powierzchnia musi być jednorodna, aby umożliwić równomierną penetrację farby, a tym samym zapobiegać rozlewaniu farby [40]. Powłoka musi zaabsorbować całą ilość nałożonej farby bez powstawania zjawisk ujemnych, takich jak marszczenie lub falowanie papieru, ale farba nie może też przebijać na drugą stronę papieru. Czas absorpcji farby jest ściśle określony – z jednej strony powinien być możliwie krótki i nie przekraczać ok. 3 sekund, z drugiej strony czas ten musi pozwalać na dobre połączenie się kolorów podstawowych farb i powstawanie barw drugo- i trzeciorzędowych. Odpowiednia grubość powłoki powinna zapobiegać marszczeniu papieru po odparowaniu wody z farby. Należy też zapewnić wysoką jednolitość właściwości absorpcyjnych powłoki, gdyż w przeciwnym wypadku obserwuje się zjawisko mottlingu – niejednorodności nadruku. Pigmenty w powłoce nie mogą być zbyt silnie związane, ale jednocześnie powłoka nie może pylić. Dla zoptymalizowania tych dwóch przeciwstawnych właściwości duże znaczenie ma odpowiedni dobór wielkości ziaren pigmentu. W powłokach znajdują się pigmenty, środki wiążące i środki pomocnicze. Ważnym czynnikiem jest wielkość ziaren pigmentu i ich rozkład. Najlepsze efekty drukowania uzyskuje się na papierach z powłokami, w skład których wchodzi strącana krzemionka lub kwasy krzemowe. Strącana krzemionka, bardzo drobno zmielona, ma ziarna o średnicy zastępczej 0,02-0,04 µm. Oprócz krzemionki w powłokach papierów do drukowania natryskowego stosuje się też inne pigmenty, np. strącany węglan wapnia czy siarczan baru. Jako środki wiążące wymienia się w licznych patentach poliwinylopirolidon, żelatynę, kopolimery bezwodnika maleinowego, pochodne celulozy (np. metylocelulozę, hydroksyetylocelulozę) i skrobi (np. hydroksyetyloskrobię), rozpuszczalne w wodzie poliuretany, kwas poliakrylowy i jego kopolimery. Często wymieniany jest

całkowicie zhydrolizowany poli(alkohol winylowy). W porównaniu z innymi naturalnymi i syntetycznymi polimerami rozpuszczalnymi w wodzie, poli(alkohol winylowy) posiada dużą siłę wiążącą i powinowactwo do wody, co pozwala na szybkie schnięcie wodnych atramentów. Jako środki pomocnicze stosuje się środki dyspergujące oraz środki zwiększające oddziaływanie między farbą anionową a powłoką o odczynie kwaśnym. Służą do tego syntetyczne lub nieorganiczne polimery kationowe [9, 15].

Papiery powlekane metodą odlewu. Jest to papier powlekany z zastosowaniem specjalnego procesu powlekania. Powłoka takiego papieru posiada połysk lustrzany, który uzyskuje się dzięki kontaktowi z ciepłym polerowanym cylindrem chromowym w trakcie powlekania. Papier taki w zależności od sposobu powlekania posiada powłoki o wysokim połysku, które charakteryzują się różnym stopniem chłonności atramentu – od chłonnych do praktycznie niechłonnych. Na takim papierze można drukować róż-nymi rodzajami atramentów: ciekłymi (wodnymi, rozpuszczalnikowymi) na powłokach chłonnych i utrwalanymi promieniowanie UV na powłokach niechłonnych [15].

Papiery fotograficzne (na bazie papieru RC^1) są to papiery powlekane dwustronnie polietylenem (PE) i po jednej stronie warstwą absorpcyjną. Polietylen nanoszony jest metodą ekstruzyjną, przy czym na jedną stronę nanosi się polietylen z dodatkiem bieli tytanowej, która zapewnia nieprzezroczystość powłoki powyżej 90%. Warstwę PE poddaje się traktowaniu wyładowaniami koronowymi w celu zwiększenia jej napięcia powierzchniowego, dzięki czemu można nanieść na nią roztwory lub dyspersje polimerowe mające charakter superabsorbentów. Mogą to być zwykle powłoki polimerowe lub powłoki mikroporowate (rys. 1.16). Grubość takiej powłoki wynosi najczęściej ok. 4 µm. Powierzchnia papierów fotograficznych może być matowa, półmatowa lub z połyskiem [9, 44].



Rys. 1.16. Papier fotograficzny z powłoką zwykłą Źródło: http://www.dp3project.org/technologies/digital-printing/inkjet

¹ Papier bazowy typu RC - jest pokryty polimerem (np. PE) lub żywicą. Jest on stosowany w produkcji papierów fotograficznych, w których na warstwę polimeru nanosi się powłoki, w tym mikroporowatą.


Rys. 1.17. Papier fotograficzny z powłoką mikroporowatą Źródło: http://www.dp3project.org/technologies/digital-printing/inkjet

1.2. Parametry jakościowe odbitek cyfrowych i procesy standaryzacji w drukowaniu cyfrowym

1.2.1. Proces współdziałania farby i podłoża zadrukowywanego w drukowaniu elektrofotograficznym i natryskowym

Jakość odbitek poligraficznych jest uzależniona od wielu czynników. Należą do nich: rodzaj techniki drukowania, urządzenie drukujące i parametry procesu drukowania, właściwości farby oraz właściwości podłoża zadrukowanego (papieru). W procesie drukowania cyfrowego nie wykorzystuje się klasycznej formy drukowej, a każdy element obrazu odbitki jest zbudowany z pojedynczych pikseli.

W przypadku drukowania elektrofotograficznego można wyróżnić trzy kluczowe elementy (rys. 1.18), mające wpływ na jakość nadruku [1, 2, 10, 11]:

- urządzenie drukujące, RIP i parametry procesu drukowania,
- toner, jego skład chemiczny i właściwości,
- właściwości podłoża zadrukowywanego.



Rys. 1.18. Najważniejsze elementy, które mają wpływ na jakość odbitki elektrofotograficznej Źródło: opracowanie własne.

W przypadku drukowania natryskowego można wyróżnić cztery kluczowe elementy (rys. 1.19), mające wpływ na jakość nadruku [15, 51-53]:

- głowica drukująca (typ, rozdzielczość, objętość generowanych kropel i in.),
- urządzenie drukujące, RIP i parametry procesu drukowania,
- atrament (rodzaj, wymiary cząsteczek barwidła i właściwości atramentu),
- podłoże zadrukowywane (struktura powierzchni, energia powierzchniowa, zwilżalność i in.).



Rys. 1.19. Najważniejsze elementy, które mają wpływ na jakość odbitki natryskowej Źródło: opracowanie własne.

1.2.1.1. Proces współdziałania farby i podłoża zadrukowywanego w drukowaniu elektrofotograf cznym

Na jakość odbitki w drukowaniu elektrofotograficznym mają wpływ wszystkie etapy procesu drukowania, ale ostateczna jakość nadruku formowana jest na etapie przeniesienia obrazu na podłoże i etapie utrwalania tonera (rys. 1.20).



Rys. 1.20. Współdziałania w systemie "Toner-papier-proces" na etapie przeniesienia i utrwalania Źródło: opracowanie własne.

Proces przeniesienia tonera na podłoże odbywa się w polu elektrostatycznym i polega na tym, że odwrotną stronę podłoża ładuje się potencjałem o wysokiej wartości (400...2000 V) i znakiem przeciwnym do znaku ładunku tonera. Wzrost potencjału przenoszenia do pewnej wartości granicznej (około 900 V) powoduje wzrost ilości przenoszonego tonera (rys. 1.21).



Rys. 1.21. Wpływ potencjału transferu na ilość przeniesionego tonera na papier Źródło: AL-Rubaiey, H. Toner Transfer and Fusing in Electrophotography. Graphic Arts in Finland vol.1 (39), 2010, s. 23.

Ilość tonera, która znajduje się na warstwie fotoprzewodzacej będzie decydować o właściwościach optycznych odbitki.

W procesie przenoszenia na podłoże przenosi się tylko część tonera ok. 80-90%. Efektywność procesu przeniesienia tonera można określić na podstawie współczynnika przenoszenia (K):

$$K = \frac{M_0 - M_1}{M_0} 100\% \tag{1.1}$$

gdzie: $M_0 - masa$ tonera na warstwie fotoprzewodzącej do przeniesienia na podłoże,

 $\rm M_{_1}$ – masa tonera, który pozostał na warstwie fotoprzewodzącej po etapie przenoszenia.

Na ilość przeniesionego tonera, a co za tym idzie na jakość (gęstość optyczną) nadruku mają wpływ właściwości elektryczne papieru i wilgotność powietrza. Negatywny wpływ na przeniesienie tonera ma zbyt wysoka, jak i zbyt niska, wilgotność powietrza.

Efektywność przeniesienia wzrasta, jeżeli toner posiada niską adhezję do powierzchni z których przenosi się na papier. We współczesnych modelach maszyn często jest stosowane pośrednie przenoszenie tonera za pomocą pasa transferowego wykonanego z gumy silikonowej, co zwiększa efektywność transferu.

Inny sposób przenoszenia tonera na podłoże ma miejsce w przypadku tonerów dyspersyjnych (HP Indigo). Przeniesienie tonera na podłoże odbywa się nie w polu elektrostatycznym, a za pomocą ciepła i docisku. Pozwala to rozszerzyć gamę zadrukowanych podłoży, ze względu na to, że wybór podłoży nie jest w tym przypadku ograniczony właściwościami elektrostatycznymi podłoża.



Rys. 1.22. Wpływ procesu utrwalania na zmianę jakości nadruku (CTF – funkcja przekazania kontrastu) Źródło: AL-Rubaiey, H. Toner Transfer and Fusing in Electrophotography. Graphic Arts in Finland vol.1 (39), 2010, s. 23.

Jakość nadruku jest formowana w trakcie przeniesienia tonera na podłoże, ale większość parametrów jakości może być zmienione na etapie utrwalania [10], gdzie następuje ścisłe współdziałanie tonera z podłożem (rys. 1.22).

Po etapie przeniesienia tonera na podłoże zadrukowane, toner jest dosyć luźno związany z podłożem za pomocą słabych sił elektrostatycznych. Trwałe połączenie tonera ma miejsce na etapie utrwalania. Jest to ostatni etap procesu elektrofotograficznego i na tym etapie formowane są ostateczne parametry jakości obrazu: parametry optyczne (intensywność nadruku, barwa i in.) i eksploatacyjne (przyczepność tonera do podłoża, odporność na ścieranie i in.). Na tym etapie do odbitki dostarcza się odpowiednia ilość energii cieplnej. Temperatura utrwalania wynosi ok. 150-200°C i powinna być powyżej temperatury zeszklenia T_g składnika termotopliwego, który wchodzi w skład tonera. Umożliwia to kolejno proces stapiania, zwilżania i penetracji tonera w strukturę papieru. Na rysunku 1.23 przedstawiono kolejno etapy utrwalenia tonera. Jak już wspomniano, proces utrwalania można realizować za pomocą ciepła i docisku (metoda termomechaniczna) lub tylko ciepła (metoda termiczna – za pomocą promienników IR lub metodą flash fusing). Niezależnie od systemu utrwalania są trzy grupy parametrów mających wpływ na jakość obrazu na tym etapie: toner, papier i parametry procesu utrwalania.

Przy zastosowaniu metod termomechanicznych, ze względu na docisk w strefie utrwalania, pojawia się możliwość deformacji papieru pod wpływem temperatury i docisku. W zależności od zastosowanego rozwiązania systemu utrwalającego dwuwałkowego (w nowszych rozwiązaniach może być stosowany dodatkowo pas utrwalający i większa liczba wałków podgrzewających pas), mogą zmieniać się takie parametry nadruku, jak: gęstość optyczna nadruku, połysk, rozdzielczość i relief (rys. 1.24). Poza tym metoda termomechaniczna nie nadaje się do utrwalania odbitek zadrukowanych dwustronnie [4, 10].



Rys. 1.23. Mechanizm utrwalania tonera Źródło: AL-Rubaiey, H. Toner Transfer and Fusing in Electrophotography. Graphic Arts in Finland vol.1 (39), 2010, s. 7.



Rys. 1.24. Wpływ zastosowanego termomechanicznego systemu utrwalającego na gęstość optyczną nadruku: 1 – system z miękkim wałkiem utrwalającym, 2 – system z twardym wałkiem utrwalającym,

3 – system z dwoma wałkami podgrzewanymi, 4 – system z pasem podgrzanym Źródło: AL-Rubaiey, H. Toner Transfer and Fusing in Electrophotography. Graphic Arts in Finland vol.1 (39), 2010, s. 17.

Lepszym rozwiązaniem może być utrwalanie tylko za pomocą ciepła (metody bezkontaktowe). W wysokowydajnych maszynach elektrofotograficznych stosuje się utrwalanie za pomocą ksenonowych lamp błyskowych (flash fusing) lub promienników IR. W takiej metodzie utrwalania nie występuje deformacja papieru w trakcie utrwalania. Dodatkowo brak oddziaływania mechanicznego na warstwę nadruku pozwala osiągać lepsze parametry jakościowe nadruku. Metoda ta obecnie jest stosowana w wysokowydajnych maszynach elektrofotograficznych drukujących z wydajnością 400 arkuszy/min i więcej.

Jeżeli mówić o wpływie papieru na jakość odbitek, to trzeba zaznaczyć, że w klasycznych metodach drukowania, takie podstawowe optyczne parametry odbitek jak intensywność nadruku (gęstość optyczna) oraz związany z intensywnością nadruku parametr gamut (rozpiętość) barw w dużym stopniu zależą od jakości stosowanych podłoży papierowych. Na chłonnych papierach niepowlekanych farba wsiąka w głąb papieru w większym stopniu niż na papierach powlekanych, stąd na papierach powlekanych uzyskuje się większą intensywność barw, i co za tym idzie możliwość odwzorowania większej liczby barw (uzyskuje się większa rozpiętość barw).

W odróżnieniu od technik drukowania klasycznego w drukowaniu elektrofotograficznym z zastosowaniem suchego tonera jakość nadruku jest mniej zależna od stosowanego rodzaju papieru. Ale wyniki pracy pt. The Effect of Fusing on Gloss in Electrophotography [11] oraz wyniki badań własnych zamieszczone w rozdziale 2.2, wskazują na odwrotną zależność parametrów jakościowych nadruku linii w odniesieniu do techniki drukowania klasycznego. W drukowaniu klasycznym, np. w offsecie, uzyskuje się nieco gorszą jakość nadrukowanej linii na papierach niepowlekanych w porównaniu do papierów powlekanych. Według badań [11] w drukowaniu elektrofotograficznym na powlekanych papierach uzyskano większą (gorszą) szerokość nadrukowanej linii oraz gorsze parametry strzępiastości i rozmycia. Oprócz tego porównywalne wartości parametrów gęstości optycznej i połysku uzyskuje się na papierach niepowlekanych przy mniejszej temperaturze utrwalania w porównaniu do papierów powlekanych. Analiza optyczna nadruku obrazu wykazała, że na papierach powlekanych znajduje się więcej przeniesionego tonera (dla tych samych warunków przenoszenia) oraz jest większy rozrzut wymiarów cząsteczek tonera. Różnica ta może polegać na różnych elektrycznych właściwościach papierów. Analiza krzywych spadku potencjału papieru po etapie przenoszenia wykazała [11], że istnieje wyraźna różnica we właściwościach dielektrycznych dwóch typów podłoży. Papier powlekany wykazuje niższą potencjalną szybkość zaniku potencjału po etapie ładowania w strefie przeniesienia, w porównaniu do papieru niepowlekanego, co prowadzi do zwiększenia wartości potencjału pola na papierze powlekanym podczas ładowania elektrostatycznego, bardziej wydajnego procesu przenoszenia tonera i większej ilości tonera osadzonego na powierzchni papieru powlekanego (rys. 1.25). Tłumaczy to różnice zauważone w jakości nadruku na dwóch rodzajach papieru, jeszcze przed etapem utrwalania. Oprócz tego, na bazie własnych doświadczeń, można stwierdzić,

że na papierach niepowlekanych uzyskuje się mniejsze szerokości nadruku linii w porównaniu z papierami powlekanymi (badania wykonano po etapie utrwalania, rozdział 2.2.2). Na papierach niepowlekanych, gdzie powierzchnia jest mniej gładka, toner w trakcie utrwalania nie roztłacza się w takim stopniu jak na bardziej gładkiej powierzchni papieru powlekanego.



Rys. 1.25. Spadek potencjału powierzchni papieru powlekanego i niepowlekanego Źródło: Briggs J.C., Tse M.-K. The Effect of Fusing on Gloss in Electrophotography. Paper presented at the IS&T's NIP14 International Conference on Digital Printing Technologies October 18-23, 1998, Toronto, Ontario, Canada. https://www.qea.com/wp-content/uploads/2015/04/Paper_1998_IST-NIP_ The Effect of Fusing on Gloss in EP-newaddr.pdf



Rys. 1.26. Rozpiętość barw na odbitce: a – elektrofotograficznej wykonanej z wykorzystaniem suchego tonera (Xerox DocuColor 70); b – elektrofotograficznej wykonanej z wykorzystaniem ciekłego tonera (Indigo)

Źródło: Czichon H. Jakość w nowych technologiach poligraficznych. Materiały Konferencji Poligraficznej "Jakość w poligrafii – jeden cel, różne drogi". Polska Izba Druku, Poznań, MTP, 2003, s. 36. Co się tyczy rozpiętości barw, to w technice drukowania elektrofotograficznego z zastosowaniem suchego tonera gama barw jest praktycznie niezależna od stosowanego papieru (rys. 1.26a). Można to tłumaczyć tym, że toner w większości swojej pozostaje na powierzchni papieru tak niepowlekanego, jak i powlekanego. W technice drukowania elektrofotograficznego z zastosowaniem tonera ciekłego (maszyny HP Indigo) rozpiętość barw na papierach niepowlekanych jest nieco mniejsza w porównaniu do papierów powlekanych [2], co jest związane z tym, że ciekły toner w większym stopniu penetruje w głąb papieru niepowlekanego w porównaniu z papierem powlekanym (rys. 1.26b). Poza tym, grubość naniesionej warstwy tonera suchego jest większa w porównaniu do warstwy tonera ciekłego. Drobinki tonera suchego posiadają średnicę ok. 5 µm, a pigment w ciekłym tonerze – ok. 1 µm [9].

1.2.1.2. Współdziałanie papieru i farby w drukowaniu natryskowym

W drukowaniu natryskowym ze względu na stosowanie dwóch różnych rodzajów atramentów: barwnikowych i pigmentowych można wyróżnić dwa podstawowe mechanizmy współdziałania atramentu z podłożem. Na rysunku 1.27 przedstawiono porównanie współdziałania papieru z roztworem barwnika (atrament barwnikowy) i dyspersją pigmentu (atrament pigmentowy). Cząsteczki barwnika rozpuszczone są w rozpuszczalniku, który ma skłonność do penetracji lub absorpcji w podłożu papierowym lub jego powłoce. Cząsteczki pigmentu są rozproszone w spoiwie. Podczas gdy spoiwo atramentu wnika w głąb podłoża papierowego, cząsteczki pigmentu mają tendencję do pozostawania na powierzchni papieru [54].



Rys. 1.27. Współdziałanie atramentów barwnikowych i pigmentowych z papierem Źródło: Le H.P., Progress and Trends in Ink-jet Printing Technology, IS&TThe Society for Imaging Science and Technology, Volume 42, Number 1, January/February 1998, http://www.imaging.org/ist/ resources/ tutorials/inkjet.cfm (dostęp z dnia 12.10.2018).

Rodzaj stosowanego atramentu będzie zależeć od rodzaju i właściwości zadrukowywanego podłoża. Z kolei od rodzaju atramentu, jego właściwości i interakcji z podłożem będzie zależeć grubość nadrukowanej warstwy farby i jakość obrazu, zwłaszcza w drukowaniu wielobarwnym. Przy stosowaniu atramentów ciekłych grubość nadrukowanej warstwy farby mieści się w granicach 0,5 µm. Przy wykorzystaniu farb utrwalanych promieniowaniem UV oraz farb termotopliwych grubość nadruku wynosi od 10 do 15 µm, co może powodować niepożądany widoczny relief. Dla porównania – w druku offsetowym jednokolorowym warstwa nadruku wynosi około 0,7 µm [19].

Uzyskanie dobrej jakości nadruku za pomocą atramentów wodnych (pigmentowanych i barwnikowych) wymaga zastosowania podłoży ze specjalną powłoką. Atramenty wodne, ze względu na to, że są tanie i ekologiczne, są stosowane w urządzeniach do druku nakładowego (natryskowe maszyny drukujące arkuszowe i zwojowe) oraz w niektórych rodzajach ploterów.

Typowe zachowanie się kropli atramentu wodnego na podłożu przedstawiono na rys. 1.28.



Rys. 1.28. Zachowanie się kropli atramentu wodnego na podłożu Źródło: Magdassi S., The chemistry of inkjet inks, World Scientifi c Publishing Co. Pte. Ltd., 2010, s. 132.

Podczas pierwszych ~10 µs od zetknięcia kropli z podłożem, początkowo kulisty kształt kropli zmienia się, rozciąga i wybrzusza na krawędziach. Przez następne ~20-80 µs, nadrukowana kropla osiąga statyczny kształt, posiadający w przybliżeniu taką samą średnicę, jak końcowy rozmiar plamki nadruku, a następnie zaczyna się kurczyć, penetrując do podłoża i parując. Czas trwania poszczególnych etapów podano w przybliżeniu, ponieważ jest on zależny od składu chemicznego atramentu i warunków klimatycznych, przede wszystkim temperatury. Ostateczna średnica nadrukowanej plamki kropli jest ważną charakterystyką, ponieważ ma wpływ na taki parametr druku jak przyrost rastrowej wartości tonalnej. Badania wykazały, że przyrost punktu wzrasta wraz ze wzrostem liczby Reynoldsa² i liczby Webera³ i zmniejszeniem kąta związania kropli atramentu [55].

² Liczba Reynoldsa pozwalająca oszacować występujący podczas ruchu płynu stosunek sił bezwładności do sił lepkości.

³ Liczba Webera wyraża stosunek sił inercjalnych do sił napięcia powierzchniowego.

Zwilżanie cieczą powierzchni ciała stałego określa jest opisywane równaniem Younga (1.2), które określa wielkość kąta zwilżania powstającego przy naniesieniu kropli cieczy na zwilżaną powierzchnię [12].

$$\cos\theta = \frac{\sigma_{SV} - \sigma_{SL}}{\sigma_{LV}} \tag{1.2}$$

gdzie: σ_{sv} – napięcie powierzchniowe na granicy faz: ciało stałe – powietrze,

 $\sigma_{\scriptscriptstyle SL}$ – napięcie powierzchniowe na granicy faz: ciało stałe – ciecz,

 $\sigma_{\scriptscriptstyle LV}$ – napięcie powierzchniowe na granicy faz: ciecz-powietrze,

 σ – kąt zwilżania.

Warunkiem uzyskania dobrego efektu optycznego nadruku (wysokie nasycenie i gęstość optyczna nadruku) jest powstawanie właściwego punktu rastrowego, co wynika z fizykochemicznego oddziaływania między farbą, a powierzchnią podłoża. Oprócz zjawisk zwilżania i rozciekania się kropli duże znaczenie będzie miała absorpcja cieczy.

Głębokość wsiąkania farby będzie miała bezpośrednie przełożenie na parametry optyczne nadruku. Zgodnie z wzorem (1.3) głębokość wsiąkania cieczy w pory papieru jest tym większa, im większy jest promień porów i im mniejsza lepkość cieczy [12]:

$$l = \sqrt{\frac{r\sigma \cos\theta \cdot t}{4\eta}} \tag{1.3}$$

gdzie: *l* – głębokość wsiąkania cieczy; *m*,

- r średni promień porów; *m*,
- σ napięcie powierzchniowe cieczy; *N/m*,
- θ kąt zwilżania w stopniach,
- t czas przenikania; s,
- η współczynnik lepkości; *Pa·s*.

Mimo wielu badań na temat współdziałania cieczy/atramentu z papierem, nie opracowano dotychczas teoretycznego modelu, w oparciu o który można by przewidzieć kształt nadrukowanej kropli w zależności od właściwości farby i podłoża, a co za tym idzie prognozować jakość nadruku. Dla uzyskania dobrej jakości nadruku natryskowego ważne jest spełnienie następujących warunków [9, 40, 42, 43]:

- wszystkie punkty rastrowe nadruku muszą:
 - być obecne,
 - mieć kształt koła,
 - leżeć w płaszczyźnie podłoża,
- podłoża powinny dawać taką samą charakterystykę punktów rastrowych oraz posiadać następujące właściwości:

- zatrzymywać farbę na powierzchni,
- ograniczać i kontrolować rozmiar oraz kształt punktów rastrowych,
- posiadać żywe i kontrastowe tło,
- wykazywać kontrolowaną absorpcję,
- posiadać zdolność utrzymywania nośnika barwnika w farbie aż do momentu jego wyparowania.

W drukowaniu natryskowym rodzaj stosowanego podłoża, a przede wszystkim stan jego powierzchni, będzie miał bardzo duży wpływ na jakość nadruku. Poniżej w tabeli 1.3 przedstawiono objętość bryły barw na odbitkach wydrukowanych za pomocą atramentów wodnych (Canon Imageprograf 8400) i utrwalanych promieniowaniem UV (Agfa Anapurna MV) na specjalnych papierach dedykowanych do drukowania natryskowego oraz na papierach zwykłych przeznaczonych do drukowania offsetowego.

Druk atramentem	Rodzaj papieru	Objętość gamutu w przestrzeni:		
		CIEXYZ	CIELAB	CIECAM02
UV	Dedykowany 170 g/m ²	60516,00	401191,46	405723,62
	Niepowlekany 170 g/m ²	47527,11	226629,02	256751,51
	Niepowlekany 185 g/m ²	60603,62	321418,18	345923,50
	Powlekany 170 g/m ²	57562,52	379517,37	389579,87
wodnym	Dedykowany 170 g/m ²	72873,65	657233,31	630897,16
	Niepowlekany170 g/m ²	40405,18	164257,22	192871,91
	Niepowlekany 185 g/m ²	50148,42	159769,63	190001,82

Tabela 1.3. Objętość bryły barw

Źródło: [42].

W przypadku stosowania wodnych atramentów w drukowaniu na podłożach papierowych, jakość papieru będzie miała bardzo istotny wpływ na jakość odbitek. Jak widać z rysunku 1.29 oraz tabeli 1.3. gamut barw odbitek natryskowych wykonanych atramentem wodnym na specjalnych papierach dedykowanych do drukowania natryskowego (ze specjalną powłoką na powierzchni papieru) jest znacząco większy w porównaniu do gamutu odbitek wykonanych na papierze niepowlekanym. Odbitki wykonano na urządzeniu Canon Imageprograf 8400 drukującym atramentami wodnymi.

Naniesiona na papier kropla atramentu musi szybko schnąć (nie dłużej niż 3 s), aby zapobiec zbytniemu rozprzestrzenianiu się (rozlewaniu) na powierzchni. Pogarsza to jakość nadruku. Z drugiej strony atrament nie powinien być zaabsorbowany natychmiast. Między jego nałożeniem a wyschnięciem musi upłynąć pewien czas, aby kolory atramentów mogły zostać zmieszane. Atrament musi być związany z podłożem, ale nie może wnikać zbyt głęboko w głąb papieru, gdyż zmniejsza to intensywność nadruku (gęstość optyczną).





Źródło: Piłczyńska K., Wpływ parametrów papieru offsetowego na jakość zadruku cyfrowego natryskowego, rozprawa doktorska, Warszawa 2015, s. 140.

Papiery niepowlekane, które są zalecane do drukowania natryskowego to najczęściej tzw. papiery uniwersalne do prac biurowych. Można na nich uzyskać dobrej jakości nieskomplikowane druki. Nie można uzyskać na nich druków o fotograficznej jakości. Atrament w papierach niepowlekanych wsiąka na różną głębokość tworząc różny kształt kropli na powierzchni.

W przypadku papierów powlekanych produkowanych specjalnie dla techniki natryskowej jakość otrzymanej odbitki, w tym ostrość nadruku kropli i głębokość jej wsiąkania, zależy od rodzaju powłoki, którą posiada dany papier. W tym przypadku najczęściej wyróżnia się papier powlekany tradycyjną kilkukrotną powłoką, papier powlekany metodą odlewu (ang. *cast coated*) oraz papiery do drukowania zdjęć fotograficznych: papier powlekany żywicą lub polimerami oraz papier z powłoką porowatą z nano- i mikroporami [60]. Efekt współdziałania kropli atramentu z różnymi papierami przedstawiono na rys. 1.30 i 1.31.



Rys. 1.30. Charakter nadruku kropel atramentu w zależności od rodzaju papieru Źródło: Lavery A., Provost J. Color-Media Interactions in Ink Jet Printing. http://www.imaging.org/ site/PDFS/Papers/1999/RP-0-92/2059.ppolidf



Rys. 1.31. Widok nadruku kolorowych punktów rastrowych na papierze: a – niepowlekanych, b – papier powlekany metodą odlewu, c – papier z powłoką mikroporowatą Źródło: https://www.mpm.co.jp/eng/rd/field/inkjet.html

Papier do drukowania zdjęć fotograficznych pierwszego typu posiada powłokę na bazie środka wiążącego w postaci hydrofilowego polimeru: poli(alkoholu winylowego, PVA), kwasu poliakrylowego, poliakrylamidu, poli(winylopirolidonu) i ich kopolimerów. Powłoka zawiera również wypełniacze w postaci pigmentów białych, substancje reagujące z barwnikami i tym samym zatrzymujące barwnik w warstwie wierzchniej powłoki oraz inne środki pomocnicze.

W zależności od masy cząsteczkowej i długości łańcucha makromolekuły PVA tworzy roztwory o niskiej i wysokiej lepkości. Ze względu na stopień hydrolizy grup octanowych PVA można klasyfikować w postaci kilku klas (tabela 1.4).

Klasa poli(alkoholu winylowego)	Stopień hydrolizy (% mol)	
Super	>99,3	
Pełna	98,0-98,9	
Średnia	95,0-97,0	
Częściowa	87,0-89,0	
Niska	79,0-81,0	

Tabela 1.4. Klasyfikacja poli(alkoholu winylowego)

Źródło: [151].

Według badań [13] stopień hydrolizy PVA ma wpływ na jakość drukowania. W badania wykorzystano przemysłowo produkowane PVA o różnym stopniu hydrolizy: BP-08 i BP-14 o stopniu hydrolizy 86,0%-89,0% i lepkości odpowiednio 12,5 s i 14,0 s wg 4 mm kubka Forda; BF-08, BF-14 i BF-24 o stopniu hydrolizy 98,5%-99,2% i lepkości odpowiednio 12,5 s i 14,0 s i 23,0 s wg 4 mm kubka Forda; Mowiol (MW)-1579 o stopniu hydrolizy 79,3%-83,7% i lepkości 16,0 s wg 4 mm kubka Forda; Mowiol (MW)-1599 o stopniu hydrolizy 99,0%-99,8% i lepkości 17,0 s wg 4 mm kubka Forda; modyfikowane PVA o zawartości grup karboksylowych nie mniej niż 7% AP-17 (stopień hydrolizy 88,0%-90,0%), AT-17(stopień hydrolizy 92,0%-95,0%) i AF-17 (stopień hydrolizy powyżej 95%) i lepkości 24 s, 21 s i 19 s odpowiednio.

W wyniku tych badań [13] stwierdzono, że przy zastosowaniu powłok na bazie PVA o jednakowym stopniu hydrolizy wraz ze zwiększeniem masy cząsteczkowej obniża się jakość nadruku. Przy zastosowaniu PVA o tym samym stopniu hydrolizy i tej samej lepkości 4% roztworu PVA lepsze parametry jakości nadruku uzyskano w przypadku modyfikowanych PVA zawierających do 7% grup karboksylowych. Na podstawie badan gęstości optycznej nadruku i kąta zwilżania papierów z powłokami na bazie PVA dokonano wniosku, że powłoki na bazie PVA o stopniu hydrolizy poniżej 97% charakteryzują się lepszym zwilżaniem i przyjmowaniem atramentu (rys. 1.32 i 1.33) w porównaniu do powłok o wysokim stopniu hydrolizy (powyżej 97%)



Rys. 1.32. Wpływ stopnia hydrolizy na jakość nadruku: a – nadruk na powłoce na bazie PVA o pełnym stopniu hydrolizy, b – nadruk na powłoce na bazie PVA o stopniu hydrolizy poniżej 97% Źródło: Gowiazin I., Martianowa O. Wlijanie stiepieni omylienia i drugich swojstw poliwinilowogo spirta na swojstwa bumagi dla strujnoj pieczati. Compuart nr 8, 2008, https://compuart.ru/article/19394



Rys. 1.33. Zależność gęstości optycznej nadruku od stopnia hydrolizy PVA Źródło: Gowiazin I., Martianowa O. Wlijanie stiepieni omylienia i drugich swojstw poliwinilowogo spirta na swojstwa bumagi dla strujnoj pieczati. Compuart nr 8, 2008.

W przypadku papierów z warstwą mikroporowatą w powłokach wykorzystuje się żel krzemionkowy lub kaolin, a w postaci środka wiążącego – polimer hydrofilowy. Takie pigmenty tworzą porowate warstwy z powierzchnią właściwą (ok. 300 m²/g) i dużą ilością porów. Pory te dzięki zjawiskom kapilarnym szybko wchłaniają atrament i dużą część barwnika zatrzymują w wierzchniej warstwie (rys. 1.34). Badania wykazują, że bardzo efektywnie zatrzymują barwnik pory o średnicy 10 nm. Utrzymaniu barwnika sprzyja również współdziałanie grup anionowych barwnika z materiałem porów o charakterze kationowym. W przypadku atramentów barwnikowych stosowane są specjalne środki pomagające w adsorpcji barwnika na ściankach kapilar. Powłoki takie dedykowane są do atramentów tak barwnikowych jak i pigmentowych [16, 42, 61, 62].

Dolna warstwa powłoki powinna charakteryzować się zdolnością do wchłaniania wody.



Rys. 1.34. Współdziałanie atramentu z powłoką papieru fotograficznego: a – powłoka polimerowa, b – powłoka mikroporowata, 1 – kropla atramentu, 2 – atrament w wierzchniej warstwie powłoki, 3 – wierzchnia warstwa powłoki Źródło: Uarowa R., Wannikow A., Czurkin A. Osnowy cyfrowoj pieczati. MGUP, Moskwa, 2005 http://www.hi-edu.ru/e-books/ xbook792/01/part-005.htm#i2231 Właściwości, jakimi powinny się charakteryzować powłoki papierów do druku natryskowego, są następujące [61,62]:

- równomierna gładka powierzchnia;
- odpowiednia absorpcja atramentu w kierunku prostopadłym do powierzchni, przy jednoczesnym zachowaniu rozmiarów i kształtu elementów graficznych (punkt rastrowy, linia);
- zatrzymywanie atramentu na powierzchni powłoki do chwili wyparowania zawartej w niej wody;
- obecność mikroporów w powłoce przyjmującej atrament, które umożliwiają kontrolowany proces absorpcji atramentu.

1.2.2. Parametry jakościowe odbitek cyfrowych

Najważniejsze parametry jakościowe odbitek analogowych można podzielić na kilka grup:

- barwa, różnica barw i rozpiętość barw,
- gęstość optyczna, rastrowa wartość tonalna i przyrost rastrowej wartości tonalnej,
- kontrast druku, spasowanie obrazu.

Oczywiście w szczególnych przypadkach mogą być kontrolowane i inne parametry, takie jak np. trapping (przyjmowanie farby przez farbę).

Specyfika wytwarzania obrazu w technikach drukowania cyfrowego oraz ilość problemów związanych z jakością nadruku wymusiła kontrolowanie większej liczby parametrów odbitek cyfrowych. Wśród parametrów jakościowych odbitek cyfrowych można wyróżnić następujące grupy parametrów jakościowych:

- Jakość nadruku dużych obszarów jednolicie wypełnionych farbą (apla, tinta):
 - barwa nadruku, różnica barw, rozpiętość barw;
 - gęstość optyczna nadruku, rastrowa wartość tonalna, przyrost rastrowej wartości tonalnej,
 - mottling, ziarnistość;
 - połysk.
- Parametry jakościowe nadruku linii:
 - szerokość linii;
 - rozmycie brzegów linii;
 - strzępiastość linii;
 - gęstość optyczna nadruku linii;
 - kontrast linii.
- Dokładność pasowania obrazu:
 - dokładność pasowania obrazu wielobarwnego na jednej stronie arkusza;

- dokładność pasowania obrazu na awersie i rewersie arkusza zadrukowanego dwustronnie.
- Jednorodność/stabilność nadruku:
 - na powierzchni arkusza odbitki;
 - pomiędzy odbitkami w ramach nakładu;
- Rozdzielczość.
- Obecność zabrudzeń:
 - na obszarach bez nadruku;
 - na obszarach w bezpośredniej bliskości od elementów drukujących.

Odbitki przeznaczone do eksponowania na zewnątrz (odbitki wielkoformatowe) zwykle narażone są na większe działania czynników zewnętrznych: światła, wody, ciepła, ozonu oraz dobowych i sezonowych wahań klimatu. Z tego powodu, dodatkowo, powinny charakteryzować się takimi parametrami, jak:

- światłotrwałość,
- odporność na działanie wiatru,
- stabilność termiczna,
- określony okres żywotności druku,
- wodoodporność,
- odporność na zarysowania,
- odporności na ścieranie.

1.2.2.1. Jakość nadruku dużych obszarów jednolicie wypełnionych farbą (apla, tinta)

Barwa nadruku. Barwa jest psychofizyczną cechą percepcji wzrokowej. Percepcja taka jest możliwa, kiedy mają miejsce trzy procesy: a) emisja światła, b) pobudzenie receptorów siatkówki oka, c) przetworzenie w korze mózgowej pobudzeń przekazanych przez nerw wzrokowy.

Barwa jest jednym z najważniejszych parametrów jakościowych odbitek wielobarwnych tak w drukowaniu analogowym, jak i w cyfrowym. Pomiar współrzędnych barwy przeprowadza się za pomocą spektrofotometrów, spektrodensytometrów lub kolorymetrów. Do pomiaru barw najczęściej jest stosowana przestrzeń barw CIEL*a*b*. Model CIEL*a*b* jest przeznaczony do przedstawiania barw przedmiotów, które odbijają lub rozpraszają światło. Barwy w tym systemie opisują trzy parametry – współrzędne L*, a* i b*. W przestrzeni CIEL*a*b* L* jest osią jasności, która zmienia się w kierunku pionowym. Gdy L* = 0 – odpowiada czerni, jeżeli L* = 100 – odpowiada bieli. Parametry a* i b* informują o odcieniu i mogą przyjmować wartości ujemne. Dodatnie wartości a* odpowiadają barwom czerwonym, a ujemne – zielonym. Dodatnie wartości b* odpowiadają barwom żółtym, a ujemne – niebieskim. Standardowe warunki pomiaru barwy nadruku w poligrafii wg normy ISO 13655:2017 [63] to:

- warunki: M0, M1, M2, M3,
- geometria pomiaru 45°/0° lub 0°/45°,
- standardowy obserwator 2°,
- materiał podkładowy zgodny z ISO 5-4.

Bardzo istotną kwestią w poligrafii jest możliwość ilościowego wyrażenia różnicy barw. Różnica barw określa w dowolnej przestrzeni kolorymetrycznej odległość między punktami dwóch barw i oznacza się delta E lub Δ E (rys. 1.35).



Rys. 1.35. Ilustracja obliczenia różnicy barw w systemie CIELAB Źródło: Barwa i jakość. Heidelberg Polska Sp. z o.o., Warszawa, s. 42.

W procesach poligraficznych najczęściej jeden punkt stanowi barwa docelowa, a drugi – barwa nadruku uzyskanego na odbitce. Pomiar różnicy barw jest niezbędny dla ustalenia wartości tolerancji różnic pomiędzy barwami. Co równie ważne wartość wielkości liczbowej ΔE powinna być zgodna z odczuciem wzrokowym, tj. wartość liczbowa powinna wzrastać proporcjonalnie do wrażenia wzrokowego. W tym celu stosuje się obecnie kilka formuł do obliczania różnicy barw.

Formuły obliczania różnicy barw. W przestrzeni CIELAB różnicę barw ΔE_{ab} (CIELAB ΔE_{ab}) można obliczyć według wzorów 1.4 lub 1.5:

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$
(1.4)

gdzie, ΔL^* – różnica jasności, a Δa^* i Δb^* – różnicy współrzędnych.

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{\left(\Delta L^{*2} + \Delta C_{ab}^2 + \Delta H_{ab}^2\right)}$$
(1.5)

gdzie ΔC_{ab} – różnica nasycenia, a ΔH_{ab} – różnica odcienia:

$$\Delta H_{ab}^{*} = \sqrt{(\Delta E_{ab}^{*2} - \Delta L^{*2} - \Delta C_{ab}^{*2})}$$
(1.6)

53

Sprzeczność pomiędzy nierównomiernością przestrzeni barw w różnych jej kierunkach a koniecznością oceny odległości między dwoma punktami barw rozmieszczonych w przestrzeni dość blisko siebie (małe różnice barw) doprowadziła do dwóch różnych podejść w rozwiązaniu tego problemu:

- po pierwsze, wielokrotnie podejmowano próby opracowania skomplikowanych formuł dla obliczenia różnicy barw,
- po drugie, podejmowano próby stworzenia tak zwanej równomiernej przestrzeni barw.

Za idealną można by było uważać sytuację, kiedy przestrzeń barw i wzór dla obliczenia różnicy barw, na przykład CIELAB, spełniałaby następujące założenia:

- jednakowo postrzeganym różnicom barw (percepcyjne) odpowiadałyby jednakowe wartości obliczonych różnic barwy we wszystkich obszarach przestrzeni barwnej,
- różnice postrzegane były wprost proporcjonalne do wartości obliczonych,
- wartości różnicy barw, zmierzone przy jednym źródle światła, byłyby percepcyjnie zgodne z wartościami różnicy barw zmierzonymi przy innym źródle światła.

Faktem znanym jest to, że CIELAB nie jest przestrzenią równomierną i nie spełnia powyższych założeń, co więcej powyższe założenia nie są spełniane przez żadną z istniejących dzisiaj euklidesowych przestrzeni barwnych. W celu uzyskania zwiększenia równomierności obliczonych różnic barw zostało dokonanych kilka modyfikacji formuły ΔE_{ab} , na bazie różnych danych empirycznych. Pierwszą poważną modyfikacją była formuła CMC (*l*:c), która powstała na bazie eksperymentów z zakresu badania postrzegania różnic barw, wykonanych na zamówienie przemysłu tekstylnego. W 1988 r. Brytyjski Komitet Pomiaru Barwy (*Colour Measurement Committee of the Society of Dyers and Colorists in Great Britain*) zaproponował formułę ΔE_{CMC} :

$$\Delta E_{CMC} = \left[\left(\frac{\Delta L^*}{lS_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}}{cS_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}}{S_H} \right)^2 \right]^{1/2}$$
(1.7)

gdzie: ΔL^* – różnica jasności, ΔC_{ab} – różnica nasycenia, a ΔH_{ab} –metryczna różnica odcienia;

$$\begin{split} &S_{L}, S_{C}, S_{H} - \text{funkcje dodatkowe:} \\ &SL = 0,040975 \text{ L}^{*}/(1+0,01765 \text{ L}^{*}) \text{ dla } \text{ L}^{*} \geq 16, \\ &Jeśli \text{ L}^{*} < 16 \text{ to } S_{L} = 0,511, \\ &S_{C} = [0,0638 \text{ C}^{*}_{ab}/(1+0,0131 \times \text{ C}^{*}_{ab})] + 0,638, \\ &S_{H} = S_{C} (\text{FT} + 1 - \text{F}), \\ &gdzie: \text{F} = \{(\text{C}^{*}_{ab})4/[(\text{C}^{*}_{ab})4 + 1900]\}^{1/2}, \end{split}$$

 $T=0.56+abs[0.2\cos(h+168)],\,dla\,164^{\circ}\leq h\leq 345^{\circ}$ w przeciwnym przypadku:

 $T = 0,36 + abs[0,4\cos(h + 35)],$

h = arctan (b*/a*) jest kątem odcienia i mieści się w zakresie: $0^{\circ} \le h \le 360^{\circ}$

l i c – to współczynniki odpowiednio jasności i nasycenia.

W formule (1.7) wprowadzono dodatkowe współczynniki S_L , S_C , S_H , które zmieniają przestrzeń barw różniących się od wzorca o wartość mniejszą od zadanej, z kuli, jak miało to miejsce w przypadku ΔE_{ab} , na elipsoidę. Rozmiar oraz orientacja elipsoidy różnią się znacznie w zależności od usytuowania w przestrzeni barw. Gdy l = 2 i c = 1, równanie ustawia stosunek trzech współczynników ($S_L:S_C:S_H$) tak, aby korelowały z oceną wizualną obserwatora. Związane jest to z tym, że oko ludzkie jest bardziej wrażliwe na zmianę nasycenia i odcienia niż na zmianę jasności [64-66].

W 1995 r. CIE na podstawie nowych eksperymentalnych danych wizualnych opracowała i rekomendowała do zastosowania nową formułę dla obliczenia różnicy barw (1.8). Nowy system równań nazywa się "Model różnicy barw CIE 1994 (ΔL^* , ΔC_{ab} , ΔH_{ab})" i oznacza się CIE₉₄ lub ΔE_{94} . Formuła ta jest uproszczoną wersją formuły ΔE^*_{CMC} i rekomendowana jest w przypadku niewielkich różnic barw. Nowa metoda oceny różnicy barw, podobnie jak miało to miejsce w przypadku ΔE^*_{CMC} , bazuje na "eliptycznym opisie".

$$\Delta E_{94} = \left[\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}}{k_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}}{k_H S_H} \right)^2 \right]^{1/2}$$
(1.8)

gdzie: ΔL^* – różnica jasności, ΔC^*_{ab} – różnica nasycenia, a ΔH^*_{ab} –metryczna różnica odcienia.

 S_L , S_C , S_H stanowią wagi udziałów jasności, nasycenia i odcienia w łącznym odczuciu różnicy barw: $S_L = 1$; $S_C = 1 + 0.045C_{ab}^*$; $S_H = 1 + 0.015C_{ab}^*$.

$$C_{ab}^* = \sqrt{C_{ab1}^2 + C_{ab2}^2}$$

 $\rm C_{ab1}$ $\rm C_{ab2}$ – nasycenie odpowiednio próbki i wzorca.

Współczynniki k_L, k_C, k_H – są to współczynniki parametryczne kompensujące wpływ zewnętrznych czynników (rozmiar próbki, tekstura powierzchni, umiejscowienie barw w przestrzeni i in) na postrzeganie różnicy barwy i korygujące rozbieżności między warunkami doświadczalnymi bądź przemysłowymi i warunkami standardowymi. Dla standardowych warunków obserwacji k_L = k_C = k_H = 1 [64, 67].

Standardowe warunki obserwacji ustalone przez CIE w 1995 r. są następujące:

- -źródło światła: symulator iluminatu D₆₅,
- oświetlenie próbek: 1000 luksów,

- obserwator: normalnie rozróżniający barwy,
- tło barw: równomierne, szare, $L^* = 50$,
- obserwacja: bezpośrednio (gołym okiem),
- wielkość powierzchni próbki: zapewniająca kąt widzenia od 4° do 10°,
- różnica mierzonych barw: nie większa niż 0-5 jednostek CIELAB,
- struktura powierzchni: jednolita, bez tekstury.

Kolejną formułą wprowadzoną przez CIE dla obliczenia różnicy barw jest CIE DE2000 (oznacza się ΔE_{00} lub ΔE_{2000}):

 $\Delta E_{+} = \left[\left(\frac{\Delta L'}{\Delta L'} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{\Delta C'} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{\Delta H'} \right)^2 + R \left(\frac{\Delta C'}{\Delta C'} \right) \left(\frac{\Delta H'}{\Delta H'} \right) \right]^{1/2}$

$$\Delta E_{00} = \left[\left(\frac{\Delta E}{k_L S_L} \right) + \left(\frac{\Delta E}{k_C S_C} \right) + \left(\frac{\Delta E}{k_H S_H} \right) + R_T \left(\frac{\Delta E}{k_C S_C} \right) \left(\frac{\Delta E}{k_H S_H} \right) \right]$$
(1.9)

gdzie:

$$L' = L^*, a' = a^*(1+G), b' = b^*$$
$$G = \frac{1}{2} \cdot \left\{ 1 - \sqrt{\frac{\left(C_m^*\right)^7}{\left(C_m^*\right)^7 + 25^7}} \right\}$$

 C_m^* – średnia arytmetyczna nasycenia (C_{ab}^*) wzorca i próbki

$$C' = \sqrt{(a')^{2} + (b')^{2}}$$

$$\Delta L' = L'_{2} - L'_{1}$$

$$\Delta C' = C'_{2} - C'_{1}$$

$$\Delta H = 2\sqrt{C'_{1}C'_{2}}sin\left(\frac{\Delta h'}{2}\right)$$

$$\Delta h' = \begin{cases} h'_{2} - h'_{1} & |h'_{1} - h'_{2}| \le 180^{\circ} \\ h'_{2} - h'_{1} + 360^{\circ} & |h'_{1} - h'_{2}| > 180^{\circ}, \quad h'_{2} \le h'_{1} \\ h'_{2} - h'_{1} - 360^{\circ} & |h'_{1} - h'_{2}| > 180^{\circ}, \quad h'_{2} > h'_{1} \end{cases}$$

$$(1.9)$$

Indeksem 1 i 2 oznaczono odpowiednio wzorzec i próbkę.

$$S_{L} = 1 + \frac{0,015(L'_{m} - 50)^{2}}{\sqrt{20 + (L'_{m} - 50)^{2}}} \qquad L'_{m} = \frac{L'_{1} + L'_{2}}{2}$$
$$S_{C} = 1 + 0,045C'_{m}, \qquad C'_{m} = \frac{C'_{1} + C'_{2}}{2}$$

$$S_{H} = 1 + 0,15C'_{m}T$$

$$T = 1 - 0,17\cos(h'_{2} - 30^{\circ}) + 0,24\cos(2h'_{m}) + 0,32\cos(3h'_{m} + 6^{\circ}) - 0,20\cos(4h'_{m} - 63^{\circ}),$$
$$h'_{m} = \frac{1}{2}(h'_{1} + h'_{2})$$
$$R_{T} = -\sin(2\Delta\theta)R_{C}$$
$$\Delta\theta = 30exp\left\{-\left(\frac{h'_{m} - 275^{\circ}}{25}\right)^{2}\right\}$$
$$R_{C} = 2\sqrt{\frac{\left(\frac{C'_{m}}{C'_{m}}\right)^{7} + 25^{7}}}$$

Dla standardowych warunków obserwacji $k_L = k_C = k_H = 1$.

Nowa formuła (1.9) rozwija i komplikuje koncepcję CIE94. W CIE DE2000 uwzględnia się nie tylko wagi udziałów jasności, nasycenia i odcienia w łącznym odczuciu różnicy barw, ale też ich wzajemny wpływ w zależności od rozmieszczenia w przestrzeni barw. Dzięki wprowadzonemu współczynnikowi RT, osiąga się najbardziej dokładną zgodność pomiędzy wizualną a kolorymetryczną oceną różnicy barw [64, 68].

Obecnie, nowa klasa spektrofotometrów stosowanych do pomiaru barwy w poligrafii posiada opcję obliczeń różnicy barw według CIE DE2000. Bez wątpienia do popularyzacji CIE DE2000 przyczyni się również fakt, że została ona uwzględniona w standardach poligraficznych, w tym w jednej z najważniejszych serii norm ISO12647 – Technologia poligraficzna – Kontrola procesów wykonywania wyciągów barwnych, odbitek próbnych i nakładowych. Większa część norm z serii 12647 została zaktualizowana na przełomie lat 2013-2014 [69]. Przed aktualizacją zakres tolerancji odwzorowania barw na odbitkach offsetowych był podawany wyłącznie na podstawie wartości różnicy barw obliczonej wg formuły ΔE_{ab} . Obecnie, na razie tylko informacyjnie, zostały wprowadzone wartości tolerancji obliczone wg CIE DE2000 (ISO 12647-2:2013). W drukowaniu fleksograficznym zakres tolerancji odwzorowania barw na odbitkach jest podawany wyłącznie na podstawie CIE DE2000 (ISO 12647-6:2012).

Gamut to inaczej **obszar barw odtwarzalnych**, czy też **rozpiętość barw**, która określa granice możliwości odwzorowania barw i dotyczy wszystkich systemów tworzących lub reprodukujących barwę. Najczęściej rozpiętość barw przedstawia się w postaci tzw. płaskiego wykresu chromatyczności (xy lub ab, rys. 1.36) lub bryły barw w przestrzeni kolorymetrycznej CIELAB. Jednym ze sposobów opisu reprodukcji barwy w drukowaniu triadowym CMYK w systemie CIELAB jest pomiar wartości a* i b* pól pomiarowych (apli, 100%) testu: trzy barwy podstawowe (C, M, Y) i trzy barwy uzupełniające(R, G, B). Zmierzone wartości (współrzędne a* i b*) nanosi się na wykres i otrzymuje się sześciokąt, wyrażający projekcję na płaszczyznę ab bryły rozpiętości barw możliwych do reprodukcji na przykład w drukowaniu wielobarwnym na wybranym podłożu [70].



Rys. 1.36. a – gamut odbitek na diagramie chromatyczności CIELAB, b – gamut odbitki drukarskiej i typowego monitora na diagramie chromatyczności CIExyY Źródło: a – Lavery A., Provost J., Color-Media Interactions in Ink Jet Printing. http://www.imaging. org/site/PDFS/Papers/1999/RP-0-92/2059.pdf; b – Maureen C. Stone, William B. Cowan, John C. Beatty, Color Gamut Mapping and the Printing of Digital Color Images. http://citeseerx.ist.psu.edu/ viewdoc/download?doi=10.1.1.112.9572&rep=rep1&type=pdf

Gęstość optyczna, rastrowa wartość tonalna, przyrost rastrowej wartości tonalnej, krzywa charakterystyczna druku. Gęstość optyczna jest miarą intensywności nadruku. Jest to wynik pomiaru w densytometrii, jednej z najbardziej rozpowszechnionych metod pomiarowych w procesach reprodukcji i drukowania. Gęstość optyczna (D) jest logarytmem stosunku absorpcji światła przez tło podłoża drukowego (zwykle bieli) do absorpcji światła mierzonej warstwy farby na tym podłożu. Wartość gęstości optycznej barwy nadruku (apli) oblicza się według wzoru:

$$D = \lg \frac{1}{\beta} \tag{1.10}$$

gdzie β – współczynnik odbicia światła. Współczynnik odbicia β jest stosunkiem między strumieniami światła: odbitego od mierzonej próbki z warstwą farby drukowej i od niezadrukowanego tła.

Krzywą charakterystyczną druku wyznaczano przez przedstawienie w postaci wykresu zależności stopnia pokrycia powierzchni pól rastrowych na odbitce od stopnia pokrycia powierzchni pól rastrowych na formie drukowej (testowej).

Stopień pokrycia powierzchni (rastrowa wartość tonalna) jest to procentowy stosunek powierzchni punktów rastrowych do całkowitej badanej powierzchni. Parametr ten służy do określenia zgodności reprodukcji obrazu rastrowego (kopiowania, naświetlania, drukowania). W tym celu stosuje się skalę rastrową, mająca zazwyczaj 10 pól o stopniu pokrycia od 10% do 100%. Stopień pokrycia powierzchni oznacza się dla poszczególnych pól skali rastrowej [71].

Oznaczenie stopnia pokrycia odbywa się na podstawie wzoru Murray'a-Davies'a:

$$P(\%) = [(1-10^{-DR})/(1-10^{-DV})] \times 100$$
(1.11)

gdzie: DR - gęstość optyczna pola rastrowego,

DV – gęstość optyczna pola pełnego (100% pokrycia).

Przyrost stopnia pokrycia powierzchni (rastrowej wartości tonalnej) jest to różnica między stopniem pokrycia na odbitce a wartością na formie kopiowej, lub danymi w pliku cyfrowym:

$$\Delta P(\%) = P_{od} - P_{FK} \tag{1.12}$$

gdzie: ΔP – przyrost rastrowej wartości tonalnej,

 $\mathbf{P}_{\mathrm{od}}~$ – rastrowa wartość tonalna odpowiedniego pola na odbitce, %,

 $\rm P_{_{FK}}\,$ – założona wartość tonalna odpowiedniego pola (w pliku cyfrowym), %.

Do ustalenia przyrostu wartości tonalnych na drukach najbardziej miarodajny jest zakres tonów średnich. Dlatego często korzysta się z pomiaru stopnia pokrycia na polu 50%, a następnie oblicza się przyrost stopnia pokrycia powierzchni dla tego pola:

$$\Delta P(\%) = P_{od} - 50 \tag{1.13}$$

gdzie: ΔP – przyrost rastrowej wartości tonalnej na polu 50%,

 $\rm P_{od}$ – rastrowa wartość tonalna pola 50% na odbitce, %.

Krzywa charakterystyczna drukowania. Różnice między rastrowymi wartościami tonalnymi na odbitkach P_{Od} i wartościami w pliku cyfrowym P_{PC} (lub na formie kopiowej) są przedstawione za pomocą krzywej charakterystycznej drukowania (rys. 1.37). W celu ustalenia tej krzywej należy wydrukować rastrowaną stopniowaną skalę (szarości) z minimum trzema polami rastrowanymi o różnych wartościach

tonalnych oraz pole kontrolne o tonie pełnym (100%). Za pomocą densytometru mierzy się gęstość optyczną tonu pełnego i pola rastrowanego. Na podstawie wzoru Murray'a-Davies'a oblicza się rastrową wartość tonalną każdego pola. Wartości te nanosi się na wykres względem wartości tonów rastrowanych w pliku cyfrowym lub na formie kopiowej. Tworzą one krzywą charakterystyczną przenoszenia farby (dru-kowania). Kształt jej jest charakterystyczny tylko dla parametrów, które stosowane były w danym procesie drukowania. Obszar między krzywą a linią idealnego odwzo-rowania odpowiada przyrostom punktów rastrowych (ΔP).



Rys. 1.37. Krzywa charakterystyczna drukowania Źródło: Barwa i jakość. Heidelberg Polska Sp. z o.o., Warszawa, 2000, s. 17.

Kontrast druku. Kontrast druku jest parametrem, który wskazuje, w jakim stopniu obszary w zakresie tonów ciemnych (powyżej 75%) są reprodukowane na odbitce. W celu oceny kontrastu druku dokonuje się pomiar gęstości optycznej na polach o stopniu pokrycia powierzchni 75% (lub 80%) i pełnym pokryciu (100%), a następnie wylicza się ze wzoru 1.14. Zaleca się, żeby proces drukowania przeprowadzać z możliwie największym parametrem kontrastu druku.

$$K_{rel}(\%) = \frac{DV - DR}{DV} \cdot 100 \tag{1.14}$$

gdzie: DV – gęstość optyczna apli (100%),

DR – gęstość optyczna dla pola 75% lub 80%.

Pomiar gęstości optycznej oraz innych parametrów, które opierają się na pomiarze gęstości optycznej, odbywa się za pomocą densytometrów lub spektrodensytometrów.

Mottling, ziarnistość. Mottling (ang. *mottle*) w klasycznych technikach drukowania jest określany jako wada odbitek przejawiająca się w nierównomierności lub niejednorodności nadrukowanego obszaru w postaci apli (rys. 1.38) lub pola zrastrowanego i oceniany jest wizualnie [72]. Określenie tego parametru dla odbitek cyfrowych jest bardzo ważne ze względu na mechanizm powstania obrazu cyfrowego, który może powodować zjawisko mottlingu.

Jednorodność nadruku (mottling i ziarnistość) zgodnie z normami ISO/IEC 13660 i ISO/IEC TS 24790. Norma ISO/IEC TS 24790:2017, jak również norma ISO/IEC 13660:2001 (została obecnie zastąpiona normą ISO/IEC TS 24790), definiują niejednorodność nadruku cyfrowego w dwóch przedziałach: w skali mikro niejednorodność jest określana jako ziarnistość (ang. *graininess*), a w skali makro – jako mottling.



Rys. 1.38. Mottling – chmurkowata powierzchnia druku Źródło: Jakucewicz S. Błędy w drukowaniu offsetowym a wady papieru, Adamantan, Warszawa 2011, s. 118.

Określenie tych parametrów wg. ISO 13660 polega na zbadaniu obszaru pomiarowego o wielkości co najmniej 161 mm² (powierzchnia kwadratu o wymiarach $\geq 12,7 \times 12,7$ mm). Obszar ten dzieli się na co najmniej 100 jednakowych nienachodzących na siebie komórek kwadratowych (rys. 1.39) o powierzchni co najmniej 1,61 mm² (pojedyncza komórka kwadratowa o wymiarach 1,27 × 1,27 mm) [73].

Wewnątrz każdej komórki dokonywanych jest 900 pomiarów (gęstości optycznej). Dla każdej komórki liczona jest średnia wartość oraz odchylenie standardowe z 900 pomiarów gęstości optycznej. Średnie odchylenie standardowe gęstości optycznej wewnątrz komórki daje wynik ziarnistości. Mottling jest to odchylenie standardowe gęstości optycznej pomiędzy komórkami. Ziarnistość charakteryzuje wahania gęstości optycznej wewnątrz jednej komórki, a mottling – pomiędzy komórkami.



Rys. 1.39. Zasada pomiaru mottlingu i ziarnistości zgodnie z normą ISO 13660 Źródło: Timo Raabe. Ein Beitrag zur Homogenitätsbewertung mittels Druckverfahrens erzeugter Schichten unter Berücksichtigung der Farbwahl. http://elpub.bib.uni-wuppertal.de/servlets/ DerivateServlet/Derivate-6476/de1612.pdf

Zgodnie z normą ISO 24790 również określa się niejednorodność na skalę mikro (ziarnistosć) i makro (mottling), ale zmieniono wielkość obszarów pomiarowych [74, 75]. Dla pomiaru ziarnistości wybiera się pole pomiaru (ang. *Region of Interest, ROI*) o wielkości minimum 12,7 mm × 12,7 mm (rys. 1.40), który następnie należy podzielić na 81 kwadratów o wymiarach 1,27 mm × 1,27 mm (0,5 cala × 0,5 cala). Wewnątrz każdej komórki wykonuje się 14 400 nienakładających się na siebie pomiarów gęstości optycznej. Ziarnistość jest to odchylenie standardowe gęstości optycznej wewnątrz komórki. A dla pomiaru mottlingu wybrano większy obszar ROI – o wielkości minimum 25,4 mm × 25,4 mm, który również dzieli się na 81 małych kwadratów o wymiarach 2,54 mm × 2,54 mm. W każdej z komórek należy zrobić 14 400 nie nakładających się na siebie pomiarów gęstości optycznej. Mottlingiem będzie średnie odchylenie standardowe gęstości optycznej pomiędzy komórkami.



Rys. 1.40. Obszar pomiarowy dla oznaczenia ziarnistości (a) i mottlingu (b) zgodnie z ISO 24790 Źródło:ISO/IEC TS 24790:2012. Information technology – Offi ce equipment – Measurement of image quality attributes for hardcopy output. Monochrome text and graphic images.

Współczesne cyfrowe urządzenia do kontroli jakości odbitek pozwalają na automatyczny pomiar tych parametrów ze względu na to, że są wyposażone w kamerę do rejestracji obrazu i oprogramowanie do analizy obrazu cyfrowego [76].

Mottling M-Score. Metoda pomiaru mottlingu M-Score została opracowana przez Instytut Fogra w 2011 r. w ramach procedury standaryzacji drukowania cyfrowego (PSD) i opiera się na badaniach różnicy barw (DE2000). W tej metodzie wykorzystuje się specjalnie przygotowany test, składający się głównie z elementu pól testowych szarości i elementów sterujących do odczytu maszynowego. Taki test jest drukowany na urządzeniu cyfrowym na podłożu w formacie A4 lub A3. Zaleca się ocenę M-Score na bazie trzech pól szarości (tint) o składzie:

- C:20%, M:15%, Y:15%, K:15% (jasna szarość), Źródło: ISO/IEC TS 24790:2012. Information technology Office equipment Measurement of image quality attributes for hardcopy output,
- C:40%, M:30%, Y:30%, K:30% (średnia szarość),
- C:65%, M:50%, Y:50%, K:50% (ciemna szarość).

Na wydruku powierzchnię do oceny należy podzielić na pola pomiarowe o wielkości 36 mm². Nadruk testu na arkuszach o formacie A4 posiada elementy testowe o wymiarach 156 mm × 186 mm, co daje kombinację 26 kolumn (n = 26) i 31 rzędów (m = 31). W sumie odpowiednio 806 pól pomiarowych do pomiaru i oceny. Na poszczególnych polach pomiarowych dokonuje się pomiaru barwy za pomocą spektrofotometrów skanujących przy standardowych warunkach pomiaru (źródło światła D50, kąt obserwatora równy 2°, przestrzeń CIEL*a*b*). Dokonuje się obliczeń różnicy barw pomiędzy sąsiednimi polami pomiarowymi w rzędach (m), a następnie wartości różnicy barw są sumowane i znormalizowane dziesięciokrotnie wg. wzoru (1.15). Podobne obliczenia wykonywane są dla wszystkich kolumn (1.16):

$$\Delta E_{00}\left(\overline{x}\right) = 10 \cdot \sum_{i=1}^{m-1} \Delta E_i\left(\overline{L}^* \overline{a}^* \overline{b}_i^*, \overline{L}^* \overline{a}^* \overline{b}_{i+1}^*\right)$$
(1.15)

$$\Delta E_{00}\left(\overline{y}\right) = 10 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \Delta E_i\left(\overline{L}^* \overline{a}^* \overline{b}_i^*, \overline{L}^* \overline{a}^* \overline{b}_{i+1}^*\right)$$
(1.16)

Następnie oblicza się średnią ważoną różnicy barw dla kolumn i rzędów

$$\Delta E_{00}\left(\overline{xy}\right) = \frac{\Delta E_{00}\left(\overline{x}\right)}{m-1} + \frac{\Delta E_{00}\left(\overline{y}\right)}{n-1}$$
(1.17)

Ostateczna wartość parametru M-Score jest obliczana zgodnie z równaniem 1.18.

$$M Score = 100 \cdot \frac{1}{2\left(\frac{2 \cdot \Delta E_{00}\left(\overline{xy}\right)}{15}\right)}$$
(1.18)

Schematyczne przedstawienie procedury obliczenia M-Score przedstawiono na rys. 1.41. Nadruk charakteryzujący się parametrem M-Score na poziomie wartości 100 charakteryzuje się najlepszą jakością i brakiem mottlingu. Zgodnie z procedurą opracowaną w Instytucie Fogra zaproponowano skalę oceny mottlingu na bazie parametru M-Score (tabela 1.5) [77].



Rys. 1.41. Schematyczne przedstawienie procedury obliczenia M-Score zgodnie ze standardem Fogra Źródło: Kraushaar A. Image quality criteria for digital printing. https://www.fogra.org/suchergebnisse. html?q=Image%20quality%20criteria%20for%20digital%20printing

M-Score	Poziom jakości	Opis
≥95	Perfekcyjny	Nadruk nie wykazuje widocznych niejednorodności.
>80	Bardzo dobry	Nadruk z lekko widoczną niejednorodnością (niewielki mot- tling). Brak widocznych pasków.
>70	Dobry	Odbitka z widoczną niejednorodnością (średni mottling). Brak widocznych pasków. Typowy poziom jakości druku offsetowego.
>60	Satysfakcjonujący	Odbitka z widocznym mottlingiem i paskowaniem. Akceptowal- na dla większości obserwatorów.
>50	Adekwatny	Odbitka z widocznym mottlingiem i paskowaniem. Akceptowal- ność zależy od obrazu na odbitce.
<50	Słaby	Bardzo widoczne paski i mottling. Nieakceptowalna jakość.

Tabela 1.5. Interpretacja mottlingu M-Score wg Fogra

Źródło: [77].

Połysk. Jest to właściwość powierzchni określająca jej zdolność do kierunkowego odbijania światła. Połysk jest to współczynnik światła odbitego od powierzchni, wyrażany stosunkiem ilości światła odbitego do światła padającego.

Do badania połysku wykorzystuje się zgodnie z normami ISO 8254-1 lub ISO 2813 urządzenia zwane połyskomierzami. Połyskomierze mogą wykonywać pomiar pod jednym określonym kątem lub przy użyciu kilku kątów. Ocena połysku odbitek powinna być wykonana przy kacie 75° (15° względem podłoża). Dopuszcza się wykonanie pomiaru przy kącie 60° (30° względem podłoża). Zgodnie z metodą TAPPI T 480 pomiar połysku wykonuje się przy kącie padania 75° (15° względem powierzchni). Ta metoda najbardziej nadaje się do zastosowania w przypadku papierów powlekanych, ale również może być stosowana do papierów niepowlekanych. Rekomendowana jest do badania próbek o dużym, jak i małym połysku. W takich przypadkach stosuje się metodę TAPPI T 653 z wykorzystaniem kąta 20° [32].

Wyniki pomiaru połysku podaje się w jednostkach połysku (ang. *Gloss Units*, GU). Im większy stopień połysku, tym ciemniejsza wydaje się wizualnie barwa nadruku.

1.2.2.2. Parametry jakościowe nadruku linii

Linia jest podstawowym elementem geometrycznym, z jakiego jest zbudowany tekst i większość obrazów, dlatego jakość linii jest bardzo ważna. Jakość linii jest silnie powiązana z jakością tekstu, ponieważ większość pożądanych charakterystyk linii i tekstu jest ze sobą powiązana. Są to gęstość, ostrość, dokładna szerokość, jakość krawędzi, itp. Oprócz tego, w różnych technikach druku, jakość linii jest czułym pomiarem podstawowych parametrów urządzeń drukujących, takich jak stabilność docisków, grubości warstwy farby i in. Te zmienne nie tylko wpłyną na jakość linii, ale również na inne parametry jakościowe, takie jak jednorodność powierzchni, jakość tekstu itp.

Oceniając jakość nadruku linii w klastycznych technikach drukowania mierzono wyłącznie jej szerokość. Do oceny jakości cyfrowych nadruków linii norma ISO/IEC 13660:2001 wprowadziła oprócz szerokości jeszcze takie parametry jak rozmycie (ang. *blurriness*), strzępiastość (ang. *raggedness*) i kontrast. Zgodnie z tą normą szerokość linii jest to średnia wartość szerokości (co najmniej 600 pomiarów na cal) linii mierzonej od krawędzi do krawędzi progu wzdłuż linii normalnej. Próg krawędzi stanowi linia ze współczynnikiem odbicia wynoszącym 60% różnicy maksymalnego i minimalnego współczynnika odbicia światła (R_{max}-R_{min}) nadruku linii na podłożu. Rozmycie linii jest to parametr określający szerokość strefy przejścia od maksymalnie nasyconego nadruku linii do podłoża niezadrukowanego (rys. 1.43). Próg krawędzi w tym przypadku stanowią linie posiadające 10% i 90% różnicy R_{max}-R_{min}. Strzępiastość charakteryzuje nierówności krawędzi linii i jest zdefiniowana jako odchylenie standardowe pozostałości obrazu linii poza progiem określającym szerokość linii (rys. 1.42).



b

а

Rys. 1.42. Graficzne przedstawienie parametrów jakościowych nadruku linii: a – szerokość i strzępiastość; b – rozmycie Źródło: opracowanie własne.



Rys. 1.43. Profi l linii z zaznaczoną strefą rozmycia i szerokością Źródło: opracowanie własne.

Miarą stopnia zaczernienia linii jest gęstość optyczna mierzona wewnątrz obszaru ograniczonego granicą progu powyżej 75% różnicy R_{may}-R_{min}.

Kontrast linii (K) – ten parametr pokazuje związek pomiędzy współczynnikiem odbicia światła od tła, np. papieru (R_{max}) i wewnątrz linii (R_{min}):

$$K = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\max}}$$
(1.19)

Zgodnie z normą ISO/IEC TS 24790, która zastąpiła normę ISO 13660, szerokość linii pozostaje bez zmian – jest to średnia szerokość nadrukowanej linii, mierzona od jednej krawędzi progu do innej. Średnia szerokość linii oznaczana jest jako LW.

Miarą stopnia zaczernienia jest gęstość optyczna (LID) mierzona wewnątrz obszaru ograniczonego granicą progu na poziomie 25% różnicy R_{max}-R_{min}. Współczynnik zaczernienia linii oblicza się wg wzoru:

$$Współczynnik zaczernienia = LID \cdot \sqrt{LW}, \qquad (1.20)$$

gdzie LW to szerokość linii.

Przy określeniu rozmycia linii najpierw określa się szerokość strefy rozmycia (DIS₇₀₋₁₀), granice której stanowią progi R₁₀ i R₇₀ ze współczynnikiem odbicia 10% od różnicy R_{max}-R_{min} oraz 70% różnicy R_{max}-R_{min} odpowiednio, a następnie oblicza się wskaźnik rozmycia:

$$Wskaźnik \ rozmycia = \frac{DIS_{70-10}}{\sqrt{LID}}$$
(1.21)

gdzie DIS₁₀₋₇₀ to szerokość strefy rozmycia.

Strzępiastość linii charakteryzuje nierówności krawędzi linii i jest zdefiniowana jako odległość wystających elementów od linii progu $\rm R_{25}$ (granica wyznaczona progiem 25% różnicy $\rm R_{max}$ - $\rm R_{min})$ [75].

1.2.2.3. Dokładność pasowania obrazu

Pasowanie definiowane jest jako stopień dokładności pokrywania się obrazów z kolejnych separacji barwnych. Przy złym pasowaniu pogarsza się przekaz szczegółów motywów wielobarwnych, pogarsza się ostrość krawędzi lub szczegóły te zanikają. W praktyce, w najnowszych systemach drukowania cyfrowego osiąga się dokładność pasowania lepszą w porównaniu do odbitek klasycznych. W klasycznych technikach drukowania ten parametr zdefiniowany jest w serii norm ISO 12647 i dla odbitek offsetowych wynosi 0,1 mm (ISO 12647-2) [78].

Kontrola dokładności pasowania przeprowadzana jest wizualnie za pomocą lupy przez ocenę pokrywania się obrazów liniowych różnego kształtu (znaków pasowania, np. w postaci krzyży) o zdefiniowanej grubości linii (0,05-0,25 mm). W celu dokładnego ustalenia złego pasowania drogą wizualną istnieją kontrolne podziałki, umożliwiające określenie wartości błędów pasowania w mikrometrach.

Drugą możliwością jest określenie wartości przesunięć za pomocą układu kamery i monitora lub czujników CCD wraz z odpowiednimi elementami kontrolnymi na arkuszu. W nowoczesnych, zautomatyzowanych maszynach drukujących klasycznych i cyfrowych odczytane przez urządzenia wartości błędów pasowania są korygowane automatycznie poprzez sterowanie maszyną.

1.2.2.4. Stabilność nadruku

Stabilność to zdolność do odwzorowania danego obrazu drukowego z jednakowymi parametrami w obrębie arkusza lub całego nakładu. Wyróżnia się stabilność nadruku na arkuszu drukarskim oraz w trakcie drukowania nakładu (od odbitki do odbitki).

Stabilność nadruku na arkuszu. Parametr ten charakteryzuje równomierność nanoszenia farby na powierzchni arkusza drukarskiego. W celu kontroli stabilności nadruku na arkuszu ocenia się zmianę gęstości optycznej lub barwy nadruku pól kontrolnych, które rozmieszcza się w trzech lub czterech narożach arkusza drukarskiego. W postaci pól kontrolnych mogą być wykorzystane pola apli CMYK. Zmiany gęstości optycznej lub różnicy barw pól pełnych na arkuszu powinny być jak najmniejsze. Zmiany gęstości optycznej określa się na podstawie wzoru:

$$\Delta D = \left(\frac{D_{max}}{D_{min}} - 1\right) \cdot 100\% \tag{1.22}$$

gdzie: D $_{max}$ – największa ze zmierzonych trzech lub czterech wartość gęstości optycznej,

D_{min} – najmniejsza ze zmierzonych trzech lub czterech wartość gęstości optycznej. W przypadku cyfrowych odbitek próbnych (ISO 12674-7) zaleca się do określenia stabilności nadruku na arkuszu stosować pola kontrolne szarych tint o rożnej jasności: pole jasne (C65, M50, Y50, K50), pole o średniej jasności (C40, M30, Y30, K30) i pole ciemne (C20, M15, Y15, K15). Kontrola na bazie takich pól kontrolnych jest bardzo czuła. Ocenia się tak zmianę barwy, jak i odchylenie standardowe współrzędnych L*, a* i b*. W celu oznaczenia stabilności nadruku na arkuszu mierzone są wartości parametrów barwy L*, a*, b* każdego pola z grupy trzech pól o różnej jasności umieszczonych w czterech rogach arkusza, a następnie dla każdego z pól (C20M15Y15K15, C40M30Y30K30 i C65M50Y50K50) dokonuje się obliczeń wartości ΔE_{ab} pomiędzy wartością średnią z czterech pól (pole o tej samej jasności w czterech rogach arkusza), a każdym pojedynczym polem osobno (ΔE_{ab}1, ΔE_{ab}2, ΔE_{ab}3, ΔE_{ab}4). Schematyczny przykład obliczeń dla jasnego pola podano na rys. 1.44.



Rys. 1.44. Schemat obliczenia stabilnościdrukowania na arkuszu wg ISO 126747 Źródło: opracowanie własne.

Małe wartości odchylenia standardowego oraz różnicy barw będą świadczyć o dużej stabilności nadruku na arkuszu. Według normy ISO 12647-7 [79] dla cyfrowych odbitek próbnych kontraktowych odchylenie standardowe zmierzonych wartości L^{*}, a^{*}, b^{*}, nie powinno być większe od 0,5, natomiast wartości ΔE_{ab} pomiędzy wartości mi średnimi a każdym polem z osobna nie powinny przekraczać 2.

Stabilność nadruku w trakcie drukowania nakładu. Ocenia się na podstawie zmian gęstości optycznej lub barwy nadruku na odbitkach. Oznaczenie polega na wydrukowaniu na odbitkach paska kontrolnego (najczęściej zawierającego aplę CMYK), a następnie w trakcie drukowania nakładu pobiera się losowo odbitki do kontroli i bada się różnicę gęstości optycznej lub różnicę barw. W przypadku technik drukowania klasycznego różnice te oceniane są względem odbitki zatwierdzonej (OK-print). Dopuszczalna wariantywność różnicy barw w trakcie drukowania nakładu w technikach drukowania klasycznego jest ujęta w normach ISO 12647. Dla drukowania offsetowego powinien być spełniony wymóg, że dla 68% odbitek nakładu obowiązuje tolerancja wariantywności barwy nadruku apli CMYK na poziomie $\Delta E_{ab} \leq 4$ dla apli CMK i $\Delta E_{ab} \leq 5$ dla apli Yellow oraz tolerancja dla różnicy odcienia dla apli CMY na poziomie $\Delta H \leq 3$ (rys. 1.48). Jednocześnie norma zaleca uzyskanie stabilności procesu drukowania na poziomie połowy tych wartości. Oprócz tego istnieją wymogi co do stabilności nadruku barwy w tonach średnich i ¾ tonów, którą kontroluje się za pomocą parametru przyrostu rastrowej wartości [78].

1.2.2.5. Rozdzielczość

Rozdzielczość jest miarą zdolności systemu drukującego do drukowania drobnych szczegółów. Jest to złożone pojęcie, które nie ma jednej, prostej, obiektywnej definicji. Czasami obok parametru rozdzielczości używa się określenia ostrości. W przypadku specyfikacji Fogra parametr rozdzielczość oznacza zdolność urządzenia do odtworzenia drobnych elementów, szczegółów, takich jak: najmniejsza linia, najmniejszy punkt, najmniejsza czcionka, a parametr ostrości tyczy się przede wszystkim zdolności urządzenia drukującego do wytworzenia wyraźnej krawędzi elementów drukujących. Rozdzielczość określa się na podstawie specjalnych testów np. Gwiazdy Siemensa, Ugra/Fogra PostSrip Control Strip lub innych.

Do określenia rozdzielczości często jest wykorzystany test zawierający obraz gwiazdy Siemensa (rys. 1.45). Test ten składa się z linii zwężających się do środka. Im mniejsze kółko w postaci zlanej plamy farby w środku gwiazdy na odbitkach, tym większa rozdzielczość. Jeżeli test posiada skale do określenia rozdzielczości, wtedy oceny dokonuje się wizualnie, bez udziału przyrządów pomiarowych.



Rys. 1.45. Test do określenia rozdzielczości gwiazda Siemensa: a – bez skali pomocniczej, b – zawiera skale pomocnicze Źródło: Kraushaar A. PSD – Process Standard Digital. Fogra Graphic Technology Research Association, 2016.

Jeżeli na teście nie ma pomocniczej skali, to określenie rozdzielczości druków przeprowadza się na podstawie średnicy pola w środku testu, które wyznacza granicę pomiędzy obszarem linii pozlewanych oraz dobrze widocznymi odrębnymi liniami (ponad połowa linii powinna być dobrze wydrukowana). Następnie za pomocą wzo-ru oblicza się rzeczywistą rozdzielczość nadruku:

$$R = \frac{liczba \ par \ linii}{\pi d} \tag{1.23}$$

gdzie: R – rozdzielczość nadruku, ilość par linii na cm,

d – średnica pola pozlewanych linii, cm.

Test Ugra/Fogra PostSrip Control Strip zawiera pole do określenia rzeczywistej rozdzielczości, które składa się z linii o stałej szerokości 2 piksele rozchodzących się z dolnego lewego narożnika od poziomu 0° do 90°, przesunięte względem siebie o 1° (rys. 1.46). Pole to służy do wizualnej kontroli rozdzielczości druków. Prawidłowo odczytać rozdzielczość pomagają linie pomocnicze, umieszczone na teście, którym przyporządkowano następujące wartości rozdzielczości: 1200, 600, 300, 150 dpi. [80].



Rys. 1.46. Fragment testu Ugra/Fogra PostSrip Control Strip z polem kontrolnym do określenia rozdzielczości nadruku Źródło: Ugra/Fogra PostSrip Control Strip. Direction for Use. November, 2011, s. 6.

Rozdzielczość L-Score. Badania przeprowadzone w Instytucie Fogra udowodniły, że pomiar rozdzielczości na bazie testu składającego się z odpowiedniej liczby pól, zawierających geometryczne wzory (np. koncentryczne okręgi) o zmieniającej się szerokości linii i kontraście, pozwala określić rozdzielczość bardzo podobną do tej postrzeganej. Bazując na istniejącym teście RIT Contrast Resolution Test Target została stworzona metoda określenia rozdzielczości L-Score. Jednakże parametr ten wciąż podlega rozwojowi i dedykowane mu pola testowe są udoskonalane. Metoda ta jeszcze nie znalazła szerokiego rozpowszechnienia.

1.2.2.6. Obecność zabrudzeń

Do zabrudzeń obecnych na odbitkach cyfrowych należy zaliczyć:

- satelity w obszarze tła lub linii/czcionki (ang. extraneous marks, character field),
- zabrudzenia tła lub w obszarze linii/czcionki (ang. *background haze, character field*).

Różnica pomiędzy obszarem niezadrukowanym a obszarem elementu drukującego (linii/czcionki) polega na odległości obszaru, na którym dokonywano pomiaru. Obszar niezadrukowany, to obszar znajdujący się w odległości ponad 500 μm od elementu drukującego. Na tym obszarze dokonuje się pomiaru satelit i zabrudzenia charakteryzujących jakość powierzchni niezadrukowanej. Obszar linii/czcionki – to powierzchnia bezpośrednio przylegająca do pola znaku drukującego (linii/
czcionki) – do 500 µm. Na tym obszarze dokonuje się pomiaru satelit i zabrudzeń w obszarze linii/czcionki (rys. 1.47). Różnica pomiędzy satelitami i zabrudzeniami polega na wielkości tych elementów. Satelity to cząsteczki o wymiarach ponad 100 µm, a mniejsze cząsteczki klasyfikowane są jako zabrudzenia [73, 75].



Rys. 1.47. Rozróżnianie obszaru przylegającego bezpośrednio do elementu drukującego oraz obszaru niezadrukowanego. Obszar A zawiera satelity i zabrudzenia w obszarze linii/czcionki; obszar B zawiera satelity i zabrudzenia w obszarze niezadrukowanym Źródło: opracowanie własne.

1.2.3. Standaryzacja jakości nadruku w procesach drukowania analogowego i cyfrowego

Standaryzacja procesu drukowania w klasycznych (analogowych) technikach drukowania. W drukowaniu klasycznym najważniejsze parametry jakościowe ujęte są w serii norm ISO 12647 [78,79, 81-86]. W części pierwszej tej serii przedstawiono definicję parametrów jakościowych (i terminów podstawowych) oraz metodykę pomiaru wybranych parametrów. W kolejnych częściach (od drugiej do szóstej) przedstawiono wymogi stawiane co do jakości nadruku w klasycznych technikach drukowania: drukowaniu offsetowym (ISO 12647-2 i ISO 12647-3), rotograwiurze (ISO 12647-4), sitodruku (ISO 12647-5) i fleksografii (ISO 12647-6). Najważniejszym parametrem jakościowym nadruku jest barwa i w każdej z wyżej wymienionych norm przedstawione są tolerancje dla dokładnego odwzorowania barw podstawowych nadruku apli (CMYK) na odbitce zatwierdzonej (ang. OK-print) oraz dla odbitek nakładowych [88]. Tolerancja ta jest podana w postaci dopuszczalnych wartości różnicy barw. Kontrola barw w zakresie tonów środkowych (o rastrowej wartości tonalnej 50%) odbywa się na podstawie parametru przyrostu rastrowej wartości oraz parametru maksymalnej wartości rozrzutu CMY (ISO 12647-2), który został zdefiniowany dla tonów środkowych (30-60%), jasnych (poniżej 30%) oraz ciemnych (powyżej 60%) [75].

Trzeba zaznaczyć, że za pomocą parametru barwy – zgodności barwy nadruku apli (CMYK) dla losowo wybranych odbitek w trakcie drukowania nakładu z odbitką zatwierdzoną (OK-print), kontrolowana jest stabilność drukowania nakładu (rys. 1.48).



Rys. 1.48. Schematyczne przedstawienie wymogów stawianych jakości procesu drukowania offsetowego zgodnie z normą ISO 12647-2 Źródło: opracowanie własne.

Oprócz tych parametrów zdefiniowano wymagania co do zakresu odwzorowania tonów w poszczególnych technikach drukowania, spasowania separacji barwnych na odbitce i in.

Cyfrowe techniki drukowania w tej serii norm zostały ujęte tylko w postaci wymagań stawianych jakości kontraktowej cyfrowej odbitce próbnej (ISO 12647-7) oraz odbitce próbnej walidacyjnej (ISO 12647-8) [79,86]. Miejsce obydwu odbitek próbnych w procesie wydawniczo-poligraficznym przedstawia rys. 1.49.



Rys. 1.49. Miejsce cyfrowych odbitek próbnych (walidacyjnej i kontraktowej) w przepływie prac wydawniczo-poligraficznych Źródło: Kraushaar A., PSD – Process Standard Digital. Fogra Graphic Technology Research Association, 2016.

Jest również szereg parametrów jakościowych, które nie są ujęte w serii norm ISO 12647, ale są one kontrolowane w trakcie procesu drukowania: kontrast druku, gęstość optyczna i in.

Standaryzacja procesu drukowania w cyfrowych technikach drukowania. Obecnie trwają prace nad nową serią norm ISO 15311 [89] poświęconych ocenie jakości odbitek cyfrowych oraz opracowywano procedurę standaryzacji procesu drukowania cyfrowego (PSD) [77]. W serii norm ISO 15311 nie przewiduje się podziału na poszczególne techniki drukowania cyfrowego i zaplanowano trzy części norm. Część pierwsza tej normy będzie zawierać definicje podstawowych parametrów jakościowych i określać metodykę ich pomiaru. Część druga dotyczyć będzie jakości odbitek produkcyjnych/ nakładowych, a cześć trzecia – odbitek wielkoformatowych.

W normach tych zaplanowano trzy kategorie jakości odbitek cyfrowych – A, B, i C, dopasowane do rodzaju produkcji. Oceniane parametry jakościowe zostały zgrupowane w trzech grupach: dokładność reprodukcji barwy, ostrość i dokładność odwzorowania szczegółów nadruku i jednorodność nadruku.

Grupa pierwsza, dokładność reprodukcji barw, zawiera następujące kryteria jakości: rastrowa wartość tonalna; współrzędne barwy i różnica barw, gęstość optyczna; krzywa drukowania; rozpiętość barw; zgodność barw nadruku apli i przyrostu rastrowej wartości tonalnej z normą ISO 12647-2.

Grupa druga – ostrość i dokładność odwzorowania szczegółów nadruku – zawiera takie kryteria jakości, jak: rozdzielczość; zakres odwzorowania tonów; przyrost rastrowej wartości tonalnej; spasowanie separacji barwnych na arkuszu oraz obrazu na awersie i rewersie arkusza; parametry jakościowe nadruku linii.

Jednorodność nadruku (grupa trzecia) będzie oceniana na podstawie takich kryteriów jak: jednorodność nadruku na powierzchni arkusza; jednorodność nadruku w trakcie drukowania nakładu; jednorodność w obszarach nadruku (mottling i ziarnistość).

Grupy parametrów jakościowych	Kryteria oceny jakości	Typowy sposób oceny
Reprodukcja barwy (dokładność odwzorowania barwy)	 Pokrycie całkowite obszaru Odchylenia kolorymetryczne i densytometryczne Krzywe drukowania Gamut barw (rozpiętość barw) Zgodność barwy nadruku apli oraz przyrostu rastrowej wartości tonalnej z wartościami z normy ISO 12647-2 	– Pomiar barwy i określenie różnicy barw na paskach (polach) kolorystycz- nych i tabelach testowych

Tabela	1.6.	Trzy	grupy	parametr	ów ja	akościow	vych	odbitek	cyfrow	ych

Ostrość	 Rozdzielczość Zakres reprodukcji tonalnej Przyrost rastrowej wartości tonalnej Dokładność pasowania: "obraz-do-obrazu", "obraz-	 Gwiazda Siemensa (wizualnie) Pasek kontrolny (wizualnie) Znaczniki cięcia
detali/szczegółów	do-krawędzi", "awers-rewers"	(wizualnie i pomiarowo) Rozmycie i strzępiastość linii
Jednorodność (równomierność) nadruku	 Jednorodność nadruku na powierzchni arkusza drukarskiego Jednorodność w trakcie drukowania nakładu Jednorodność nadruku na dużych obszarach obrazu (paskowanie) 	 Profile gęstości optycznej Dziewięciopunktowy pomiar jedno- rodności nadruku na arkuszu zgodnie z ISO 12647-7 pomiar M-Score zgodnie z ISO 15311-1

Źródło: [77].

Tak jak przy odwzorowaniu barw, tak samo przy ocenie M-Score stosuje się trzystopniową skalę jakości.

M Soovaltinta	Poziom jakości					
	Α	В	C			
M-Score (ciemnoszara tinta)	≥80	≥60<80	≥40<60			
M-Score (średnia szara tinta)	≥80	≥60<80	≥40<60			
M-Score (jasnoszara tinta)	≥80	≥60<80	≥40<60			

Tabela 1.7. Trzystopniowa skala jakości wg M-Score

Źródło: [77].

1.2.4. Wady odbitek cyfrowych

1.2.4.1. Wady odbitek elektrofotograf cznych

Błędy występujące na odbitkach elektrofotograficznych można sklasyfikować w postaci trzech grup: błędy związane z jednolitością nadruku (paskowanie, smugi i in.), błędy w postaci chaotycznie rozrzuconych lub periodycznie pojawiających się elementów graficznych/artefaktów w nadruku (losowo pojawiające się białe plamki, periodycznie powtarzające się znaki, efekt ducha, zacieki tonera, pęcherzyki i in.) oraz błędy związane z barwą nadruku (stabilność barwy nadruku). Poniżej omówiono kilka najbardziej charakterystycznych wad dla odbitek elektrofotograficznych.

Paskowanie (ang. *banding*). Wada ta przejawia się w postaci pojawiających się pasków rozmieszczonych w poprzek do kierunku drukowania (rys. 1.50). Najczęstszą przyczyną paskowania są drgania mechaniczne występujące w zespole drukującym, które zakłócają pozycjonowanie wiązki laserowej na cylindrze z warstwą fotoprzewodzącą. Wada ta wcześniej była uznawana za jedną z najbardziej

niepożądanych wad w procesach drukowania elektrofotograficznego, obecnie w znacznym stopniu została wyeliminowana ze względu na bardziej stabilne mechaniczne konstrukcje zespołów drukujących oraz zwiększenie rozdzielczości obrazu naświetlanego [4, 16].



Rys. 1.50. Banding Źródło: http://studentsrepo.um.edu.my/3803/2/2._ Chapter_1_%E2%80%93_4.pdf (dostęp z dnia 16.03.2015).

Efekt ducha (ang. *ghosting*). Efekt ducha przejawia się na odbitkach w postaci powtarzania się obrazu wcześniej wydrukowanego na tle obrazu rozmieszczonego za nim (zgodnie z kierunkiem drukowania). Efekt ducha może przyjmować postać pozytywową, wtedy obraz-duch jest ciemniejszy na tle obrazu właściwego, lub postać negatywową, wtedy obraz-duch jest jaśniejszy na tle obrazu właściwego (rys. 1.51).





Rys. 1.52. Powtarzające się niepożądane elementy nadruku Źródło: http://studentsrepo.um.edu.my/3803/2/2._Chapter_1_%E2%80%93_4.pdf (dostęp z dnia 16.03.2015).

Pojawienie się efektu ducha może być związane z nieprawidłowościami w procesie utrwalenia obrazu (pozostałości tonera na wałku utrwalającym), podstawowymi etapami elektrofotograficznymi związanymi z warstwą fotoprzewodzącą (procesy ładowania i rozładowywania warstwy fotoprzewodzącej, resztki tonera na warstwie fotoprzewodzącej) oraz z nieprawidłowościami na etapie wywoływania obrazu (np. w przypadku tonera dwuskładnikowego po jednym obrocie szczotki cząsteczki nośnika tworzące włókna szczotki mogą zostać z powrotem skierowane do strefy wywoływania i nie zostaną w pełni otoczone cząsteczkami tonera) [4, 14].

Powtarzające się niepożądane elementy graficzne/artefakty (ang. repetitive marks). Powtarzające się niepożądane elementy graficzne/artefakty najczęściej są spowodowane lokalnymi zanieczyszczeniami lub uszkodzeniami występującymi na powierzchni warstwy fotoprzewodzącej (rys. 1.53).



Rys. 1.53. Powtarzające się niepożądane elementy nadruku Źródło: http://studentsrepo.um.edu.my/3803/2/2. Chapter_1_%E2%80%93_4.pdf (dostęp z dnia 16.03.2015).

1.2.4.2. Wady odbitek natryskowych

Wady pojawiające się na odbitkach natryskowych najczęściej spowodowane są przez niekontrolowane rozlewanie się lub wsiąkanie atramentu w podłoże, zaburzeniami w pracy głowicy drukującej (np. zapchane dyszy) oraz właściwości papieru lub atramentu.

Mottling. W wypadku wystąpienia mottlingu, w procesie drukowania uzyskuje się niejednorodne aple, które wykazują charakterystyczny nakrapiany wygląd (ciemniejsze plamy, przypominające chmury).

Przyczyn występowania mottlingu można upatrywać w zróżnicowanej wielkości natryskiwanych kropel atramentu lub w nierównomiernej chłonności podłoża drukowego [90-92].

Rozlewanie się atramentu (ang. *spreading***).** Termin ten odnosi się do rozprzestrzeniania się nadruku we wszystkich kierunkach poza zadany obszar (rys. 1.54) [90].



Rys. 1.54. Przykład rozlewania się atramentu Źródło: Rychter P., Analiza błędów w druku natryskowym na tworzywach sztucznych i sposoby ich eliminacji, praca dyplomowa magisterska wykonana w Instytucie Papiernictwa i Poligrafii i Politechniki Łódzkiej, Łódź 2015, s. 14.

Krwawienie (ang. *bleeding*). O krwawieniu druku mówi się w momencie, kiedy na granicy dwóch nadrukowanych atramentów o różnych kolorach następuje ich wzajemne, niepożądane przenikanie (rys. 1.55). Najczęściej bleeding jest spowodowany mieszaniem się dwóch przylegających kropel atramentu przed ich utrwaleniem na podłożu. Źródłem tego problemu może być zbyt niska chłonność podłoża lub niewystarczająca adhezja farby z podłożem [90, 91]. I. Teoretyczne podstawy sterowania jakością nadruku w drukowaniu cyfrowym



Rys. 1.55. Przykłady wad bleeding

Źródło: Menin G., Johnson K., The Impact of Third-Party Inks on Image Quality. W: PICS 2003: Image Processing, Image Quality, Image Capture Systems Conference, including MCS/05 Fifth International Symposium on Multispectral Color Science Rochester, NY; May 13, 2003; pp. 370-375.

Paskowanie (**ang.** *banding*). Objawia się w postaci równomiernie rozmieszczonych, prostych linii, ułożonych w kierunku zgodnym z kierunkiem ruchu głowicy drukującej (rys. 1.56). Możliwy jest również podobny efekt w kierunku prostopadłym, jednak występuje znacznie rzadziej. Najczęściej błąd ten powstaje w wyniku zatkania dysz drukujących lub złego wyrównania głowicy. Innym źródłem powstawania bandingu może być konwergencja nieutrwalonego atramentu przed jego wniknięciem w zadrukowywany materiał [92].



Rys. 1.56. Przykłady bandingu

Źródło: Rychter P., Analiza błędów w druku natryskowym na tworzywach sztucznych i sposoby ich eliminacji, praca dyplomowa magisterska wykonana w Instytucie Papiernictwa i Poligrafii i Politechniki Łódzkiej, Łódź 2015, s. 16. **Koalescencja (niejednorodność).** Niejednorodność powierzchni nadruku charakteryzująca się występowaniem zgrupowań kropel atramentu (rys. 1.57). Efekt koalescencji powstaje w momencie, kiedy nanoszone krople atramentu nie utrwalają się na czas. W wyniku tego łączą się w skupiska, które mają problem z wniknięciem w strukturę materiału i zostają utrwalone na jego powierzchni. Efekt ten może również potęgować wysoki stopień zaklejenia (niska chłonność) zadrukowywanego materiału [91].



Rys. 1.57. Przykłady koalescencji Źródło: Problemlösungskatalog Inkjet, http://www.sihl.com/downloads/company/download/troubleshooting_guide-inkjet_d.pdf (dostęp z dnia 02.02.2015).

Cockling. Termin Cockling odnosi się do silnego falowania się papieru w trakcie drukowania lub po jego zakończeniu. Ze względu na trwałość tego efektu, dzieli się go na falowanie mokre (niwelowane w procesie suszenia nadruku) oraz falowanie suche (nie podlegające zniwelowaniu przy suszeniu). Główną przyczyną powstawania pofalowania powierzchni odbitki jest pęcznienie papieru pod wpływem wody zawartej w atramencie w wypadku drukowania powierzchni o dużym stopniu pokrycia. Dodatkowo efekt ten może potęgować stosowanie podłoża papierowego o zbyt niskim stopniu zaklejenia [92].

Krople-satelity (ang. *satelite drops*). Mianem satelit określa się liczne krople atramentu upadające w obszarze przylegającym do obszaru zadruku. Mogą powstawać w momencie, kiedy od kropli atramentu padającej na podłoże odrywają się w locie mniejsze krople. Może to być spowodowane zbyt długą drogą, jaką kropla przebywa pomiędzy głowicą a podłożem drukowym, bądź też zanieczyszczeniem samej głowicy drukującej, która wystrzeliwuje niejednorodne krople [92].

Podsumowanie rozdziału 1

 Na jakość odbitek cyfrowych (elektrofotograficznych i natryskowych) ma wpływ znacznie więcej czynników niż w drukowaniu klasycznym. W przypadku drukowania elektrofotograficznego można wyróżnić trzy kluczowe elementy, mające wpływ na jakość nadruku: urządzenie drukujące (RIP i parametry procesu drukowania i in.), toner jego skład chemiczny i właściwości oraz właściwości podłoża zadrukowywanego. W przypadku drukowania natryskowego można wyróżnić cztery kluczowe elementy, mające wpływ na jakość nadruku: głowica drukująca (typ, rozdzielczość, objętość generowanych kropel i in.), urządzenie drukujące (RIP i parametry procesu drukowania), atrament (rodzaj, wymiary cząsteczek barwidła i właściwości atramentu) oraz podłoże zadrukowywane (struktura powierzchni, energia powierzchniowa, zwilżalność i in.).

- 2. Analiza procesu współdziałania farby (tonera, atramentu) w cyfrowych technikach drukowania elektrofotograficznego i natryskowego (ink-jet) wykazała, że:
 - w technice drukowania elektrofotograficznego z zastosowaniem suchego tonera intensywność nadruku jest w dużym stopniu niezależna od stosowanego papieru. W technice drukowania elektrofotograficznego z zastosowaniem tonera ciekłego (maszyny HP Indigo) rozpiętość barw na papierach niepowlekanych jest nieco mniejsza w porównaniu do papierów powlekanych, co jest związane z tym, że ciekły toner w większym stopniu penetruje w głąb papieru niepowlekanego w porównaniu z papierem powlekanym;
 - w drukowaniu natryskowym jakość nadruku będzie w dużej mierze uzależniona od rodzaju stosowanego podłoża, zwłaszcza przy zastosowaniu atramentów wodnych. W celu uzyskania wysokiej jakości nadruku w tej technice stosowane są podłoża ze specjalnymi powłokami przyjmującymi atrament (receptywnymi). Powłoki papierów do drukowania natryskowego, powinny się charakteryzować: równomierną gładką powierzchnią o kolorystycznie neutralnym odcieniu; odpowiednią adsorpcją atramentu w kierunku prostopadłym do powierzchni, przy jednoczesnym zachowaniu rozmiarów i kształtu elementów graficznych (punkt rastrowy, linia); zatrzymywanie atramentu powinno odbywać się w górnej części powłoki do chwili wyparowania zawartej w niej wody; posiadać mikroporowatość powierzchni powłoki, umożliwiająca zaadsorbowanie atramentu.
- 3. Ze względu na specyfikę drukowania cyfrowego, w tej technice trzeba kontrolować znacznie większą liczbę parametrów jakościowych nadruku, w odróżnieniu od technik drukowania klasycznego. Wśród parametrów jakościowych odbitek cyfrowych można wyróżnić następujące grupy parametrów jakościowych:
 - jakość nadruku dużych obszarów jednolicie wypełnionych farbą (apla, tinta);
 - parametry jakościowe nadruku linii;
 - dokładność pasowania obrazu;
 - jednorodność/stabilność nadruku;
 - rozdzielczość;
 - obecność zabrudzeń.

2 Modelowanie, optymalizacja i prognozowanie jakości odbitek cyfrowych

2.1. Cel i zakres pracy

Celem podjętej pracy było zbadanie wpływu poszczególnych cech fizykochemicznych papieru na jakość druków wykonywanych w technice drukowania cyfrowego metodą elektrofotograficzną i natryskową (ink-jet) oraz stworzenie na podstawie badań eksperymentalnych modeli matematycznych zależności jakości nadruku od parametrów (właściwości) papieru i określenie istotności wpływu poszczególnych właściwości papieru na jakość nadruku w badanych technikach drukowania cyfrowego (elektrofotografii i drukowaniu natryskowym).

Drugim celem było opracowanie, na podstawie modeli matematycznych, równań pozwalających na prognozowanie poszczególnych parametrów jakościowych odbitek cyfrowych (elektrofotograficznych i natryskowych).

Kolejnym celem było opracowanie sposobu optymalizacji jakości nadruku na zwykłych papierach w drukowaniu natryskowym za pomocą specjalnych powłok, które umożliwiają kontrolowany proces absorpcji cieczy/atramentu w drukowaniu natryskowym.

Zakres badań obejmował:

- wykonanie badań laboratoryjnych właściwości fizyko-chemicznych papierów,
- wykonanie nadruku na wybranych papierach metodą elektrofotograficzna i natryskową,
- ocena parametrów jakościowych odbitek,
- opracowanie modeli matematycznych w celu zbadania istotności wpływu poszczególnych cech fizykochemicznych papieru na jakość odbitek elektrofotograficznej i natryskowej,
- opracowanie, na bazie utworzonych modeli matematycznych, wzorów określających zależność wartości parametrów charakteryzujących jakość nadruku od właściwości użytych papierów,
- modyfikacja powierzchni papieru za pomocą powłok na bazie poli(alkoholu winylowego) i ocena jakości odbitek natryskowych wykonanych na modyfikowanych papierach.

2.2. Badania wpływu właściwości papieru na jakość odbitek w drukowaniu cyfrowym elektrofotograficznym i natryskowym

Celem badań przedstawionych w niniejszym rozdziale było określenie wpływu poszczególnych cech fizykochemicznych papieru na jakość druków wykonywanych w technice drukowania cyfrowego metodami elektrofotograficzną i natryskową (ink-jet). W tym celu dokonano wyboru papierów do druku (rozdział 2.2.1) i wytypowano ich właściwości, które mają wpływ na jakość druku, z uwzględnieniem specyfiki drukowania elektrofotograficznego i natryskowego oraz parametrów jakościowych nadruku. Opracowano testy do badania jakości druków, wykonywanych w technice drukowania cyfrowego metodami elektrofotograficzna i natryskowa (ink-jet). Na papierach wykonano wydruki testowe (bez profili barwnych) na przemysłowej cyfrowej maszynie elektrofotograficznej firmy Xerox oraz biurowej drukarce natryskowej. Zbadano następujące parametry nadruku: rozdzielczość nadruku, kontrast druku, barwę i rozpiętość barwy, różnicę barw i różnicę odcienia, zakres reprodukcji, dokładność odwzorowania linii, równomierność nadruku na arkuszu. Odbitki zawierały wydruk specjalnie opracowanego testu do badań oraz testu Ugra/ Fogra PostSrip Control Strip [93]. Wyniki badań wpływu wybranych właściwości papierów do drukowania wielobarwnego (niepowlekanych i powlekanych) na jakość odbitek elektrofotograficznych przedstawiono w rozdziale 2.2.2, a na jakość odbitek natryskowych w rozdziale 2.2.3.

2.2.1. Charakterystyka papierów użytych w badaniach

Do badań wybrano zwykłe papiery offsetowe oraz papiery dedykowane do drukowania cyfrowego (powlekane i niepowlekane). Papiery oznaczono numerami od 1 do 12 (tabela 2.1) i taka numeracja określa identyfikację papierów w uzyskanych wynikach badań przedstawionych w dalszej części pracy.

Dwa pierwsze rodzaje papierów odnoszą się typowo do papierów offsetowych, niepowlekanych. Obecność tych papierów w badaniach jest konieczna, by móc porównać ich wyniki z pozostałymi papierami, tymi już typowo cyfrowymi, powlekanymi oraz niepowlekanymi, a dodatkowo kalandrowanymi.

Papier objętościowy (pulchny) charakteryzuje się w porównaniu z typowym papierem offsetowym, wyższym wolumenem, czyli niższą gęstością pozorną (przy podobnej gramaturze jest bardziej gruby).

Papier Amber Kostrzyn to papier offsetowy, biały, gładzony maszynowo, o dobrym przeźroczu oraz wysokiej białości.

Oznaczenie papieru	Rodzaj papieru
1	Papier objętościowy (pulchny) 90 g/m ²
2	Papier offsetowy Amber Kostrzyń 80 g/m²
3	Papier Poljet Prime 80 g/m ²
4	Papier Polspeed 80 g/m ²
5	Papier powlekany, błyszczący (Color Copy Coated Gloss) 135 g/m ²
6	Papier powlekany, błyszczący (Color Copy Coated Gloss) 250 g/m²
7	Papier powlekany, półmatowy (Color Copy Coated Silk) 135 g/m²
8	Papier powlekany, półmatowy (Color Copy Coated Silk) 250 g/m²
9	Papier niepowlekany, satynowany (Color Copy) 90 g/m²
10	Papier niepowlekany, satynowany (Color Copy) 250 g/m ²
11	Papier powlekany fotograficzny 200 g/m² (tylko do druku ink-jet)
12	Papier powlekany z mikroporami 200 g/m² (tylko do druku ink-jet)

Tabela 2.1. Oznaczenie wybranych do badań papierów

Źródło: opracowanie własne.

Papier 3 oraz 4 to typowe papiery kserograficzne do zadruku w biurowych drukarkach arkuszowych, komputerowych. Papiery odpowiednio noszą nazwę: Poljet Prime oraz Polspeed. Papiery Poljet Prime przeznaczone są szczególnie dla użytkowników drukarek atramentowych. Według danych producenta papieru wysoka białość zapewnia wyraźny kontrast tekstu i kolorów. Optymalna sztywność sprawia, że urządzenia działają niezawodnie, umożliwiając zadruk jedno- i dwustronny. Technologia ColorLok gwarantuje błyskawiczne wysychanie druku, pogłębione odcienie czerni oraz jednolite intensywne kolory. Są idealne do kolorowych prezentacji, korespondencji biznesowej oraz ofert handlowych. Występują tylko w formacie A4.

Papiery Polspeed są przeznaczone dla użytkowników oczekujących papieru specjalnie przygotowanego do wysokonakładowych kopiarek i drukarek. Optymalna sztywność sprawia, że urządzenia działają niezawodnie, umożliwiając zadruk jednoi dwustronny. Technologia ColorLok gwarantuje błyskawiczne wysychanie druku, pogłębione odcienie czerni oraz jednolite intensywne kolory. Są idealne do czarno--białych codziennych dokumentów, korespondencji wewnętrznej.

Papiery 5, 6, 7, 8 stanowią już papiery specjalne do przemysłowego druku cyfrowego (laserowego). Wywodzą się z rodziny papierów typu Color Copy. Posiadają powleczenie specjalnie przystosowane do kolorowego druku cyfrowego, które nadaje papierom elegancki satynowy wygląd, a cechy te nie tylko są przyjemne dla oka, ale również miłe w dotyku. Papiery te stosuje się do pełnonolorowego druku w laserowych urządzeniach kopiujących oraz kolorowych drukarkach laserowych. Dostępne formaty to A4, A3, SRA 3. Zostały przebadane papiery o formacie A4 i gramaturze 135 oraz 250 g/m².

Papiery 5, 6, 7, 8 różnią się tylko tym, że jedne (5, 6) są typowo błyszczące o najmniejszej i największej gramaturze w jakiej są dostępne, a pozostałe (7,8) są półmatowe i również przebadane o gramaturze tej najmniejszej oraz największej w jakiej są produkowane.

Papiery 9, 10 to papiery dodatkowo kalandrowane, niepowlekane o podwyższonej gładkości, o przeznaczeniu przemysłowym w technologiach cyfrowych druku. Ich skalandrowanie umożliwia uzyskanie nadruków o wysokiej rozdzielczości.

Zbadano następujące właściwości papieru: gramaturę, grubość, gładkość/ szorstkość, przenikalność powietrza, sztywność (dla obu kierunków), rezystywność powierzchniową i skrośną, zdolność do płaskiego leżenia arkusza przed zadrukiem i po zadruku, tarcie powierzchniowe, wilgotność papieru oraz skurcz papieru pod wpływem ciepła i przyczepność tonera do podłoża (dla drukowania elektrofotograficznego) [94-103]. Wyniki zbadanych właściwości papierów zostały zestawione w tabeli 2.2. Pod kątem zadruku atramentem wodnym w technice natryskowej zbadano również wydłużenie papieru pod wpływem działania wody oraz prędkość i równomierność penetracji wody w głąb papieru i deformacje (wydłużenie) papieru przy stykaniu jego powierzchni z wodą (rozdział 4.4.1 i 4.4.2) [104, 105].

Wartości gramatury badanych papierów zawierały się w zakresie od 80 do 250 g/m^2 , grubości – 96 do 246 µm, gładkość Bekka: od 4 do 770 s, przenikalność powietrza – od 0 do 11 µm/Pa·s, sztywność dla kierunku maszynowego (MD) od 0,36 do 8,18 mNm; rezystywność skrośna od 0,4 do 22 G Ω m. Zauważono między innymi wpływ gramatury i grubości na sztywność papieru, wpływ obecności powłoki na wzrost gładkości i przenikalność powietrza (brak przenikalności). Stwierdzono również, że najwyższą rezystywność osiągnęły papiery pulchny (1) i powlekany z połyskiem (5).

Badana Jed- Rodzaj papieru											
właściwość	nostka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gramatura nominalna	g/m²	90	80	80	80	135	250	135	250	90	250
Gramatura oznaczona	g/m²	90,0	79,1	81,9	79,3	139,0	246,0	135,0	249,0	89,5	247,0
OS*		1,3	0,7	1,5	0,9	2,1	0,7	0,7	1,9	0,5	1,5
Grubość	um	156	97	110	104	110	208	114	231	97	246
OS*		2,27	1,10	1,33	1,75	2,09	2,13	1,53	2,95	0,80	2,98

Tabela 2.2. Wyniki zbadanych właściwości papierów

Szorstkość / Gładkość wg Bendtsena: 1 strona	ml/min	1260	124	203	315	13	7	9	8	37	56
OS*		74,7	16,8	35,8	23,9	11,8	3,2	3,7	4,6	3,3	17,2
2 strona	ml/min	1220	127	230	313	11	4	10	6	36	61
OS*		72,9	25,3	53,1	31,9	6,6	3,7	3,9	3,0	3,9	12,3
średnia z obu stron	ml/min		126,0	217,0	314,0	12,0	5,3	9,5	7,0	36,8	58,0
OS*		70,9	17,9	33,0	16,9	7,7	1,8	2,9	2,5	2,3	11,5
Gładkość Bekka	S	4	42	25	19	770	274	440	130	118	78
OS*		0	4	2	1	18	11	14	6	6	3
Przenikalność powietrza wg Bendtsena	µm/Pa∙s	6,75	7,66	11,30	8,98	0	0	0	0	4,70	1,49
OS*		0,40	0,48	0,62	0,27	0	0	0	0	0,17	0,12
Sztywność met. Rezo- nansową dla MD	mNm	0,70	0,38	0,61	0,36	1,16	6,93	1,20	8,18	0,46	6,28
OS*		0,05	0,02	0,03	0,02	0,08	0,22	0,06	0,25	0,01	0,19
dla CD	mNm	0,32	0,25	0,26	0,16	0,38	3,58	0,74	2,80	0,22	2,79
OS*		0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,06	0,02	0,07	0,02	0,03
Rezystyw- ność po- wierzchniowa	GΩ	27,4	0,9	0,3	0,3	26,4	5,1	1,7	4,7	0,4	2,9
OS*		2,66	0,08	0,09	0,01	4,23	0,60	0,45	0,82	0,04	0,28
Rezystyw- ność skrośna	GΩ∙m	21,6	1,7	0,2	0,2	15,8	2,4	2,6	2,7	0,4	1,2
OS*		5,44	0,28	0,03	0,03	2,99	0,11	0,44	0,33	0,04	0,05
Płaskie leżenie przed zadrukiem przy W = 30%	m ⁻¹	0,53	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0
przy W = 50%	m ⁻¹	1,98	0,88	0	0	0	0	0	0	0	0
przy W = 95%	m ⁻¹	4,12	0	0	7,59	0,93	0,35	0	1,02	1,3	1,4
Płaskie leże- nie po zadru- ku przy W = 30% str.1	m ⁻¹	3,70	2,39	3,00	1,64	0,82	0	0,51	0,69	3,88	1,06
str.2	m ⁻¹	3,25	2,25	0,79	1,29	0	0	0,82	0	3,15	1,07
Płaskie leżenie po zadruku przy W = 30% średnia z obu stron	m ⁻¹	3,47	2,32	1,89	1,47	0,82	0	0,67	0,69	3,51	1,06

Badana Jed-			Rodzaj papieru									
właściwo	nostka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Statyczny współczyn- nik tarcia	tgα	0,56	0,54	0,46	0,44	0,44	0,47	0,44	0,48	0,62	0,58	
OS*		4,03	3,32	1,50	1,21	1,36	1,80	0,20	1,72	1,85	1,74	
Przylega- nie tonera strona 1	[-]	1,14	1,05	1,04	1,03	1,1	1,06	1,06	1,07	1,01	0,99	
OS*		0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,08	0,03	
strona 2	r 1	1,15	1,07	1,05	1,02	1,08	1,06	1,06	1,02	1,03	0,99	
OS*	[-]	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,01	0,04	
Zawartość wilgoci met. suszarki komorowej W	%	4,5	4,9	3,4	4,6	3,0	3,5	2,9	3,0	5,7	4,6	
OS*		0,17	0,14	0,25	0,29	0,08	0,28	0,05	0,25	0,65	0,08	

*OS – odchylenie standardowe.

Źródło: opracowanie własne.

2.2.2. Badania wpływu określonych właściwości papierów na jakość na odbitkach elektrofotograficznych

Zbadano następujące parametry jakościowe odbitek elektrofotograficznych: gęstość optyczną, prześwitywanie nadruku, przyrost rastrowej wartości tonalnej, kontrast druku, rozdzielczość druku, ziarnistość i mottling, rozpiętość barw, stabil-ność nadruku na arkuszu i parametry jakościowe linii (szerokość, rozmycie i strzę-piastość) [71, 73, 79, 106-110].

W pierwszej kolejności zbadano wpływ gładkości papieru na jakość nadruku. Do badań użyto papieru objętościowego offsetowego (papier 1), który był kalandrowany laboratoryjnie jednokrotnie (K1), dwukrotnie (K2), trzykrotnie (K3), czterokrotnie (K4). Niekalandrowany papier oznaczono symbolem NK.

Kalandrowanie spowodowało znaczny wzrost gładkości papieru (3, 9 s – papier NK i 85,8 s – papier K4) oraz zmniejszenie grubości papieru (tabela 2.3). Na papierach niekalandrowanym i kalandrowanych wydrukowano test Ugra/Fogra PostSrip Control Strip na maszynie elektrofotograficznej. Na bazie pola testu z tarczą rozdzielczości określono rzeczywistą rozdzielczość druków (tabela 4.3) oraz parametry jakościowe nadruku linii (tabela 2.4).

Tabela 2.3. Gładkość i grubość papieru 1 (niekalandrowanego i kalandrowanego) oraz rozdzielczość nadruku, uzyskanego na tym papierze (na podstawie testu Ugra/Fogra)

Papier	Gładkość, s	Grubość, mm	Rozdzielczość, dpi
NK	3,9	0,16	510
K1	44,1	0,12	495
K2	57,2	0,11	480
К3	71,5	0,10	480
K4	85,8	0,10	480

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2.4. Wyniki pomiarów szerokości, rozmycia i strzępiastości linii (linia dwupikselowa osobno stojąca) dla papieru 1. Pomiary wykonano za pomocą urządzenia IAS (Qea) [107]

		Szeroko	sść, μm		ę	Strzępia	stość, µ	m	Rozmycie, µm			
Papier	Lir pion	nie owe	Lin pozic	ie ome	Linie Linie pionowe poziome		iie ome	Linie pionowe		Linie poziome		
NK	117	3,6	110	4,4	2,5	0,3	3,6	1,1	82	13,7	99	16,1
K1	120	2,6	113	2,8	3,3	0,5	3,5	0,6	88	9,2	93	22,2
K2	119	0,8	112	2,9	3,5	0,3	3,8	0,6	82	12,3	77	23,6
K3	119	2,7	115	1,4	3,6	0,6	3,7	0,6	78	16,2	90	14,3
K4	126	0,8	119	2,1	4	0,5	3,6	0,6	89	12,1	101	13,6

*OS – odchylenie standardowe. Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zwiększenie gładkości papieru powoduje wzrost szerokości reprodukowanych linii, co powoduje nieznaczny spadek rozdzielczości druku.

W kolejnych badaniach oceniano jakość odbitek elektrofotograficznych uzyskanych na różnych rodzajach papierów (papiery 1-10).

Zbadano parametry jakościowe nadruku linii: szerokość linii, rozmycie i strzępiastość. Wyniki badań tych parametrów dla linii dwupikselowej rozmieszczonej w kierunku poprzecznym do kierunku drukowania podano w tabeli 2.5.

Donior	Szerokoś	ć linii, µm	Rozmyci	e linii, µm	Strzępiastość linii, µm		
гаріеі	W	0 <i>S</i> *	В	0 <i>S</i> *	R	<i>OS</i> *	
1	167,5	13,7	119,9	10,0	10,9	0,7	
2	143,6	6,4	91,7	8,8	14,5	0,6	
3	141,9	1,6	128,2	9,6	16,0	0,5	
4	150,0	2,8	90,3	5,5	14,2	0,4	
5	157,9	1,4	78,5	3,8	15,2	0,6	
6	147,5	2,8	80,4	3,8	16,9	0,8	
7	160,3	2,8	83,4	3,1	14,7	0,8	
8	150,0	2,6	73,3	3,4	16,5	0,6	
9	145,5	6,5	88,1	4,3	14,5	0,7	
10	139,5	2,3	95,5	5,4	15,4	1,0	

Tabela 2.5. Wyniki pomiarów szerokości, rozmycia i strzępiastości linii (linia dwupikselowa osobno stojąca) dla papierów 1-10. Pomiary wykonano za pomocą urządzenia IAS (Qea)

**OS* – odchylenie standardowe. Źródło: opracowanie własne.

Nie stwierdzono wpływu rodzaju badanych papierów na szerokość (rozmiary) oraz strzępiastość linii. Wartości rozmycia rosną od wartości najmniejszych przypadających na papiery powlekane 5-8, do największych przypadających na papiery niepowlekane gładzone maszynowo 1-4. Czy są to linie poziome, czy pionowe, sytuacja w obu przypadkach jest podobna. Zauważono, że strzępiastość dla linii pozytywowych poziomych jest większa niż dla linii pionowych.

W tabeli 2.6 przedstawiono wyniki badań rozdzielczości nadruku na papierach nr 1-10.

		-		
Rodzaj papieru	Gładkość, s	<i>OS</i> * gładkości, <i>s</i>	Rozdzielczość, dpi	<i>OS</i> * rozdzielczości, <i>dpi</i>
1	4	0	689	1,7
2	42	4	685	3,0
3	25	2	688	2,1
4	19	1	688	2,1
5	770	18	688	2,1
6	274	11	684	3,3
7	440	14	687	2,1
8	130	6	680	1,7
9	118	6	682	3,9
10	78	3	682	6,7

Tabela. 2.6. Rozdzielczości nadruku dla papierów 1-10 (w oparciu o test Ugra/ Fogra) oraz gładkości wg Bekka

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie wyników badań trudno zdefiniować zależność parametru rozdzielczości od gładkości wyznaczonej metodą Bekka. Wartości rozdzielczości są bardzo zbliżone do siebie w przypadku każdego z badanych papierów 1-10, bez względu na występujące w papierach znaczne różnice w gładkości.

W tabeli 2.7 przedstawiono wyniki badań gęstości optycznej nadruku apli o kolorze Black (K) oraz mottlingu, ziarnistości i rozpiętości barwy. Największą gęstość optyczną uzyskano na papierach powlekanych 5-8, w następnej kolejności plasują się papiery: niepowlekane satynowane 9, 10, papier offsetowy 2 i papiery 3, 4, a najmniejszą intensywność uzyskano na papierze pulchnym 1. Lepszą jednorodnością nadruku (mniejszymi wartościami mottlingu i ziarnistości) charakteryzują się papiery powlekane oraz niepowlekane satynowane. Z kolei największą rozpiętość barwy wykazały papiery powlekane 8, 6, 7, 5, następnie satynowane 9, 10, a najmniejszą papiery niepowlekane gładzone maszynowo 2, 3, 4, 1.

Rodzaj papieru	Gęstość optyczna nadruku apli (K), [-]	Mottling nadruku apli (K), %	Ziarnistość na- druku apli (K), %	Rozpiętość barwy (obliczona powierzch- nia szesciokąta), [-]
1	1,50	0,43	0,89	10082
2	1,57	0,44	0,82	11345
3	1,60	0,47	0,82	11226
4	1,56	0,51	0,90	10946
5	2,03	0,30	0,48	14422
6	1,89	0,38	0,60	14877
7	2,04	0,30	0,42	14467
8	1,90	0,32	0,43	14922
9	1,70	0,37	0,65	12511
10	1,65	0,48	0,82	12473

Tabela 2.7. Gęstość optyczna, mottling, ziarnistość oraz rozpiętość barwy odbitek elektrofotograficznych wydrukowanych na papierach 1-10

Źródło: opracowanie własne.

Stabilność nadruku na arkuszu określano w oparciu o różnicę barw pół kontrolnych rozmieszczonych w czterech rogach arkusza formatu A4 oraz odchylenia standardowego dla współrzędnych barwy L*, a* i b* tych pól. Uzyskane w badaniach maksymalne wartości różnicy barw (tabela 2.8) wahają się w granicach od 0,2 do ok. 4,0, a maksymalne wartości odchylenia standardowego dla współrzędnych L*a*b*– od 0,05 do 1,7, co świadczy o średniej stabilności druku i jest prawdopodobnie związane z charakterystyką stabilności samego urządzenia drukującego.

Rodzaj popiaru	Maksymalna różnica ($\Delta E_{ m max}$) barw na polu kontrolnym:						
nouzaj papieru	C20M15Y15K15	C40M30Y30K30	C65M50Y50K50				
1	0,62	0,54	0,77				
2	0,2	2,89	0,62				
3	0,61	3,34	0,56				
4	1,44	2,98	1,23				
5	0,21	0,74	0,59				
6	0,81	0,64	0,71				
7	0,23	0,71	0,57				
8	3,89	1,22	1,21				
9	0,19	0,83	1,63				
10	0,50	1,42	1,01				

Tabela 2.8. Maksymalne wartości różnicy barw charakteryzujące stabilność nadruku na arkuszu formatu A4

Źródło: opracowanie własne.

Na wszystkich badanych papierach uzyskano zbliżone wartości przyrostu rastrowej wartości tonalnej i kontrastu druku. Wszystkie badane papiery charakteryzowały się brakiem prześwitywania nadruku.

Reasumując, stwierdzono, że na jakość nadruku w drukowaniu elektrofotograficznym wpływa przede wszystkim gładkość powierzchni oraz obecność powłoki. Nadruki wykonane na papierach powlekanych charakteryzują się najmniejszym stopniem rozmycia, najmniejszą skłonnością do mottlingu i ziarnistości oraz największą rozpiętością barwy. W dalszej kolejności plasują się papiery satynowane (o najwyższej gładkości wśród papierów niepowlekanych), a najniższą jakość nadruku uzyskano na papierach niepowlekanych gładzonych maszynowo. Wszystkie badane papiery charakteryzowały się zbliżoną reprodukcją linii pod względem szerokości i strzępiastości, podobną rozdzielczością druku i dobrym przyleganiem tonera. Wartości parametru rozmycia okazały się najniższe dla papierów powlekanych, a najwyższe dla papierów niepowlekanych gładzonych maszynowo.

2.2.3. Badania wpływu określonych właściwości papierów na jakość nadruku na odbitkach natryskowych

W niniejszym rozdziale przeanalizowano wpływ właściwości papieru na jakość druków wykonanych w technice druku cyfrowego natryskowego wykonanego na drukarce Canon PIXMA iP4500. W tych badaniach listę badanych podłoży, papierów offsetowych oraz papierów do druku cyfrowego niepowlekanych i powlekanych,

Rozszerzono o dwa papiery fotograficzne przeznaczone wyłącznie do druku natryskowego – papier powlekany fotograficzny (papier 11) i papier powlekany z mikroporami (papier 12).

W trakcie analizy odbitek natryskowych zauważono, że dla nadruku wykonanego atramentem kolorowym (C, M, i Y) oraz atramentem czarnym (K) uzyskano przeciwlegle wyniki dotyczące przyrostu punktu rastrowego (11-12), kontrastu druku, który jest związany z przyrostem punktu rastrowego (11-12) oraz parametrów jakościowych linii (13-14). Te rozbieżności można tłumaczyć różnym rodzajem farb (atramentów) stosowanych dla koloru i czerni. Można przypuścić, opierając się na danych literaturowych, że dla produkcji farb kolorowych użyto atramentu na bazie barwników, a dla produkcji atramentu czarnego – na bazie pigmentu, co mogło spowodować rozbieżności, zauważone w parametrach jakościowych nadruku. Z tego powodu dla części parametrów jakościowych wyniki podano osobno dla nadruku wykonanego atramentem czarnym i dla nadruku wykonanego atramentem kolorowym (średni wynik dla trzech atramentów C,M,Y lub tylko dla C).

Gęstość optyczna nadruku, prześwitywanie nadruku. Zdecydowanie większą intensywność nadruku z zastosowaniem zarówno atramentu kolorowego jak i czarnego uzyskano na papierach specjalnych 11,12 i powlekanych 5, 6, 7, 8 (rys. 2.1).



Rys. 2.1. Gęstość optyczna nadruku Źródło: opracowanie własne.

Przyrost rastrowej wartości tonalnej. W przypadku zastosowania atramentu kolorowego (C, M, Y) największy przyrost punktu rastrowego zaobserwowano dla papierów powlekanych 5, 6, 7 i 8 (rys. 2.2). Współdziałanie powłoki i atramentu powoduje, że po zadrukowaniu następuje rozlanie się atramentu w powłoce, co w efekcie powoduje większy przyrost punktu rastrowego dla papierów powlekanych. Natomiast w przypadku papieru nr 12 (papier specjalny z mikroporami) zaobserwowano najmniejszy przyrost punktu rastrowego. Spowodowane jest to obecnością mikroporów w powłoce, które "zamykają" atrament i nie pozwalają na jego rozlewanie się. Z kolei przy zadrukowaniu papierów powlekanych atramentem czarnym obserwowano najmniejszy przyrost rastrowej wartości tonalnej. Największe przyrosty w tym wypadku obserwowano dla papieru 10, oraz papierów specjalnych 11 i 12.



Rys. 2.2. Przyrost punktu rastrowego na polu 50% dla atramentu kolorowego (średnia z C,M,Y) i atramentu czarnego (K) Źródło: opracowanie własne.

Kontrast druku. Ze względu na to, że kontrast jest związany z przyrostem rastrowej wartości tonalnej, w tym przypadku również uzyskano różne wyniki w wypadku zastosowania atramentu kolorowego i czarnego (rys. 2.3). Dla wydruków wykonanych atramentem kolorowym (C, M, Y) największą wartością kontrastu druku charakteryzowały się papiery specjalne 11 i 12, a najniższą – papiery powlekane 5, 6, 7 i 8.

Z kolei na odbitkach uzyskanych atramentem czarnym na papierach powlekanych 5, 6, 7,8 oraz papierze specjalnym 12 zaobserwowano najwyższy kontrast druku. Najniższymi wartościami kontrastu druku charakteryzowały się odbitki na papierach 10 i 11.

Rozpiętość barw możliwą do uzyskania na wybranych podłożach (papiery 2, 3, 5, 7, 10, 11, 12) w drukowaniu natryskowym z zastosowaniem drukarki firmy Canon przedstawia rys. 2.4a. Obliczono powierzchnię uzyskanych płaskich wykresów chromatyczności. Największą rozpiętość barw nadruku uzyskano na papierach specjalnych 11 i 12, a na pozostałych papierach rozpiętość barw była bardzo zbliżona (rys. 2.4b).



Rys. 2.3. Kontrast druku dla atramentu kolorowego (średnia z C, M, Y) i atramentu czarnego (K) Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.4. Rozpiętość barw: a) – rozpiętość barw odbitek natryskowych (płaskie wykresy chromatyczności nadruku); b) – powierzchnia płaskich wykresów chromatyczności Źródło: opracowanie własne.

Jednorodność nadruku apli (ziarnistość i mottling). W przypadku zastosowania obydwu rodzajów atramentów, kolorowego i czarnego, najmniejszą ziarnistość nadruku uzyskano na papierach powlekanych 5, 6, 7, 8. Wartość ziarnistości ogółem przy nadruku atramentem kolorowym była wyższa około 2-2,5 razy w porównaniu do nadruków uzyskanych atramentem czarnym (rys. 2.5). Dla druku kolorowego (średnia wartość z C, M, Y) najwyższe wartości ziarnistości reprezentują papiery 11 i 12 (papier fotograficzny oraz papier fotograficzny z mikroporami). Natomiast dla druku atramentem czarnym (K) najwyższą ziarnistość zaobserwowano dla papierów 1 i 2. Najmniejszą wartością mottlingu, przy drukowaniu atramentem czarnym, charakteryzowały się papiery powlekane 5, 6, 7, 8 oraz papier 9 (rys. 2.6).



Rys. 2.5. Ziarnistość nadruku apli dla atramentu kolorowego (średnia z C, M, Y) i atramentu czarnego (K) Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.6. Mottling nadruku apli dla atramentu kolorowego (średnia z C, M, Y) i atramentu czarnego (K) Źródło: opracowanie własne.

Przy zastosowaniu atramentu kolorowego najmniejszy mottling obserwowano na papierach 5-10, 3 i 12, ale różnice w mottlingu pomiędzy papierami były mniejsze niż przy drukowaniu atramentem czarnym.

Parametry jakościowe nadruku linii. Na rysunku 2.7-2.9 przedstawiono parametry jakościowe nadruku linii (0,25 pt.) na badanych papierach. Dla atramentu cyjan (C) największą szerokość i rozmycie posiadają linie na papierze 1, największym parametrem strzępiastości linii charakteryzują się papiery 1 i 2. Dla atramentu czarnego (K) zarówno szerokość jak i strzępiastość są najwyższe dla papieru 10, największym parametrem rozmycia charakteryzuje się papier 11. Najniższe wartości dla rozmycia i strzępiastości zaobserwowano dla papierów powlekanych 5-8.



Rys. 2.7. Szerokość linii wydrukowanej atramentem czarnym (K) oraz cyan (C) Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.8. Rozmycie linii wydrukowanej atramentem czarnym (K) oraz cyan (C) Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.9. Strzępiastość linii wydrukowanej atramentem czarnym (K) oraz cyan (C) Źródło: opracowanie własne.

Stabilność nadruku na arkuszu określano w oparciu o różnicę barw pół kontrolnych rozmieszczonych w czterech rogach arkusza oraz odchylenia standardowego dla współrzędnych barwy L*, a* i b* tych pól (15). Odbitki wydrukowane na wszystkich badanych papierach odznaczały się wysoka stabilnością nadruku, średnia ΔE nie przekraczała 2, a średnie odchylenie standardowe dla L*, a* i b* było na niskim poziomie (poniżej 0,5). Tylko na wybranych pojedynczych odbitkach obserwowano nieznaczne przekroczenie odchylenia standardowego, co prawdopodobnie związane było raczej z charakterystyką stabilności samego urządzenia drukującego, niż z wpływem badanych podłoży (tabela 2.9).

pieru vanie , [-]		zna apli, tość z -]	trowej ej na polu /artość z 6)	, średnia <i>N</i> Y, (%)	Jednor nadruku wartość	odność (średnia z CMY)	barw	druku na nia ∆E _{max}	
Rodzaj pap	Prześwityw nadruku,	Gęstość optyc średnia war C,M,Y, [Przyrost ra Przyrost ra Przyrost ra 0%, średnia 18 50%, średnia 18 51 Kontrast druk wartość z O	Kontrast druku wartość z CN	Ziarnistość	Mottling	Rozpiętość	Stabilność nac arkuszu, średr	
1	0,065	0,77	18	21	2,34	1,02	6044	0,59	
2	0,060	0,84	18	21	2,29	0,13	6101	0,49	
3	0,040	0,79	16	22	2,41	0,77	6021	0,52	
4	0,055	0,81	18	22	2,91	0,84	6215	0,77	
5	0,030	0,95	28	15	0,90	0,68	6695	0,73	
6	0,000	0,87	28	13	1,00	0,71	6557	1,40	
7	0,045	0,88	30	14	0,82	0,61	6367	0,65	
8	0,000	0,78	29	12	1,13	0,78	6339	0,56	
9	0,040	0,85	19	21	2,40	0,75	6196	0,67	

Tabela 2.9. Zestawienie wyników badań parametrów jakościowych nadruków wykonanych atramentem kolorowym (CMY)

10	0,000	0,88	21	20	2,16	0,79	6970	0,68
11	0,000	1,28	15	37	2,54	0,59	13682	1,06
12	0,000	1,21	7	41	2,68	1,00	13989	0,61

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2.10. Zestawienie wyników badań parametrów jakościowych nadruków wykonanych atramentem czarnym (K)

0		pli, [-]	apli, [-] /artości o, K, (%)		Jednorodność nadruku, %		Parametry linii (szerokość 0,25 pt)				
Rodzaj papieru	Prześwitywani nadruku, [-]	Gęstość optyczna a	Przyrost rastrowej w tonalnej na polu 50%	Kontrast druku, K,	Ziarnistość	Mottling	Szerokość (W), µm	Rozmycie (B), µm	Strzępiastość (R), µm	Kontrast	
1	0.05	1,13	15	32	1,29	0,69	115	129	17	0,77	
2	0,075	1,16	9	39	1,24	0,33	92	88	11	0,86	
3	0,03	1,30	10	38	0,76	0,43	104	98	9	0,84	
4	0,05	1,33	13	38	0,83	0,45	107	97	11	0,85	
5		1,91	9	43	0,34	0,15	96	56	4	0,89	
6	0,02	1,93	8	45	0,32	0,11	96	50	4	0,90	
7	0,03	1,93	9	44	0,31	0,13	93	56	6	0,89	
8	0	1,97	8	46	0,37	0,12	97	47	4	0,90	
9	0,04	1,28	10	34	0,32	0,18	94	83	7	0,84	
10	0	1,06	25	16	1,13	0,78	109	101	12	0,83	
11	0	2,06	21	37	1,04	0,55	104	133	5	0,86	
12	0	2,75	17	47	0,97	0,35	100	106	4	0,95	

Źródło: opracowanie własne.

Reasumując, w odróżnieniu od uzyskanych wyników badań jakości odbitek elektrofotograficznych, stwierdzono bardziej wyraźny wpływ rodzaju papieru na ogólną jakość nadruku na odbitkach natryskowych. Najlepszymi parametrami jakościowymi pod względem gęstości optycznej i rozpiętości barwy charakteryzowały się papiery specjalne do druku ink-jet (papier fotograficzny i z mikroporami) (tabela 2.9 i 2.10), w dalszej kolejności są papiery powlekane, niepowlekane satynowane, a najniższą jakość nadruku uzyskano na papierach niepowlekanych gładzonych maszynowo (17).

Zaobserwowano wpływ rodzaju atramentu (atrament pigmentowy – kolor czarny i atrament barwnikowy – kolory C, M, Y) na współdziałanie papieru z farbą, co skutkowało różnymi wartościami następujących parametrów nadruku: przyrost punktu rastrowego, kontrast druku oraz dokładność reprodukcji linii. Przy zastosowaniu czarnego atramentu lepsze wartości tych parametrów uzyskano dla papierów powlekanych 5-8, natomiast używając atramentów kolorowych (C, M, Y), najlepsze wartości uzyskano dla papierów niepowlekanych 1-4, 9, 10 i specjalnych 11, 12.

Jednorodność nadruku (ziarnistość i mottling) apli papierów powlekanych okazała się najlepsza (przy obu rodzajach atramentu). Zdecydowanie największą rozpiętość barwy uzyskano na papierach specjalnych, a w dalszej kolejności – na papierach powlekanych.

2.2.4. Badania dynamiki wnikania wody w strukturę papierów przeznaczonych do drukowania natryskowego

Wykorzystanie w większości urządzeń natryskowych atramentu w postaci ciekłej (wyjątek stanowią drukarki stałoatramentowe), stawia specyficzne wymagania wobec papierów (podłoży) zadrukowywanych. Ciekły atrament musi w krótkim czasie zostać utrwalony na powierzchni papieru. Czas utrwalania atramentu jest kompromisem pomiędzy dwoma zjawiskami zachodzącymi w momencie druku: procesem wchłaniania się atramentu w głąb podłoża i procesem rozlewania się na powierzchni podłoża. Jeżeli atrament będzie się wchłaniał zbyt szybko, to może skutkować zmniejszeniem gęstości optycznej nadruku, a nawet powodować przebijanie nadruku na drugą stronę podłoża. Jeżeli atrament nie zostanie zaabsorbowany dość szybko, to może doprowadzić do zniekształcenia (rozlewania) elementów graficznych nadruku (linii i punktów rastrowych). Z tego powodu, oprócz podstawowych własności papierów (gramatura, grubość, gładkość wg Bendtsena, przenikalność powietrza, sztywność w kierunku maszynowym (ang. Machine Direction, MD) i poprzecznym (ang. Cross-Machine Direction, CD), absorpcja wody Cobb60 (2-7)) istotne dla drukowania natryskowego będą parametry określające współdziałanie papieru z cieczą (woda destylowaną). W pracy zastosowano nowe metody badań penetracji wody:

- wnikanie wody w strukturę włóknistą papieru za pomocą aparatu Emtec PEA (Penetration Evennes Analyzer);
- równomierność wnikania wody w strukturę włóknistą papieru za pomocą aparatu Emtec PEA (Penetration Evennes Analyzer);
- deformację (wydłużenie) papieru pod wpływem wnikania wody do wnętrza włókien – za pomocą aparatu Emtec WSD (Wet Stretch Dynamic Tester).

W efekcie zbadano parametry, które charakteryzują proces współdziałania papieru z cieczą: prędkość i równomierność penetracji cieczy w głąb struktury papieru oraz wydłużenie papieru pod wpływem działania wody przy namoczeniu.

2.2.4.1. Badanie penetracji cieczy w głąb struktury papieru

Kinetykę penetracji cieczy (wody destylowanej) w głąb struktury papieru badano za pomocą urządzenia Emtec PEA. Urządzenie mierzy dynamikę oddziaływania między wodą i powierzchnią oraz wnętrzem papieru. Oddziaływanie to określają parametry: objętość powierzchni papieru W (ilość wody wypełniającej powierzchniowe pory papieru), czas opóźnienia zwilżania powierzchni papieru (t_{max}), czas penetracji (t_{qs}), prędkość (S) oraz objętość wnikania (A).

Zasada działania aparatu opiera się na uchwyceniu zmian intensywności sygnału ultradźwiękowego wysyłanego w kierunku próbki papieru równocześnie z rozpoczęciem penetracji cieczy w jego strukturę.

Próbka papieru przymocowana jest za pomocą samoprzylepnej taśmy dwustronnie klejącej na płytce pomiarowej (z tworzywa sztucznego) i wraz z nią zostaje zanurzona w wodzie destylowanej (rys. 2.10). W chwili zanurzenia próbki w jej kierunku zostaje wysłany z nadajnika sygnał ultradźwiękowy o częstotliwości 1 lub 2 MHz (w badaniach zastosowano częstotliwość 2 MHz). Sygnał ten odbierany jest po drugiej stronie płytki przez odbiornik, który składa się z 32 mikroczujek o dużej czułości i powierzchni 1 mm², a zmieniające się natężenie sygnału ultradźwiękowego przetwarzane jest przez komputer. 32 mikroczujki ułożone są w linii na długości 32 mm. Pomiar intensywności ultradźwięków dostarcza informacji na temat zjawisk zachodzących w badanej próbce.



Rys. 2.10. Schemat działania analizatora dynamiki penetracji Źródło: PDA.C 02 PEA - MODULE PRINT EVENNESS ANALYZER. https://www.emtec-electronic. de/attachments/article/309/ModulePEA_eng.pdf

Parametry dynamiki wnikania wody w papier, mierzonej w aparacie DPA, mogą być wyznaczone na podstawie uśrednionej krzywej sygnału ultradźwiękowego z 32 odbiorników w funkcji czasu lub na podstawie serii 32 krzywych (rys. 2.11). Parametry dynamiki wnikania wody w papier, które wyznacza się na podstawie uśrednionej krzywej sygnału przedstawia rys. 2.12.





Rys. 2.11. Krzywe penetracji uzyskane w trakcie pomiaru na aparacie Emtec PEA Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.12. Parametry określające dynamikę wnikania cieczy w papier Źródło: Skowroński J. Porównawcza ocena testów penetracji wody w papier Część 2. Nowa metodologia testowania wnikania wody w strukturę papieru. Przegląd Papierniczy nr 7 (66), 2010, s. 396.

Objętość powierzchni papieru (W) jest wskaźnikiem ilości wody wypełniającej powierzchniowe pory papieru, zanim nastąpią zmiany w jego strukturze włóknistej spowodowane przez wodę. Czas opóźnienia wnikania wody w papier (t_{max}) jest czasem potrzebnym do zwilżenia powierzchni porów oraz wypełnienia ich objętości wodą (W) do czasu spowodowania zmian w strukturze włóknistej papieru. T_{max} jest to czas, w którym intensywność wsiąkania cieczy w strukturę papieru osiąga

maksimum. Czas wnikania (t_{95}) jest czasem wnikania małej ilości wody w strukturę papieru mierzonym do momentu, kiedy sygnał ultradźwiękowy obniży się o 5% od swego maksimum. Prędkość wnikania wody (S) jest prędkością oznaczoną w czasie od (t_{max}) do (t_{95}). Ilość wody, która wniknęła w strukturę papieru do czasu (t_{95}), jest oznaczona jako (A). Na podstawie uśrednionej krzywej w niniejszych badaniach mierzono następujące parametry: t_{max} , t_{95} , W [105, 111-113].

Na podstawie serii z 32 krzywych określano parametry, które charakteryzują równomierność (jednorodność) struktury papieru w stanie mokrym. Każdy z tych czujników daje swoją oddzielną krzywą sygnału ultradźwiękowego w funkcji czasu. Równomierność wnikania jest obliczana na podstawie różnic między 32 krzywymi (rys. 2.11). Różnica w prędkości wnikania jest oznaczona jako rel. Variance, a równomierność wnikania – Mottle Struktura określa wielkość powierzchni o tej samej prędkości penetracji wody. Wskaźnik Mottle Index wyraża kombinację dwu pierwszych wskaźników. Idealnie równomierne przemoczenie papieru uzyskuje się, kiedy te parametry są zbliżone do "0".

Wykresy przedstawione na rys. 2.13 są pochodnymi podstawowych 32 wykresów (pochodzących z 32 czujników) zależności intensywności penetracji od czasu wnikania cieczy w papier i przedstawiają równomierność wnikania cieczy w papier w odniesieniu do pozycji czujnika. Wykresy te powstają przy stałych założeniach (w naszym przypadku jest to intensywność ultradźwięków dla t₉₅). W efekcie otrzymuje się rozkład Mottle Index na szerokości badanej próbki papieru.



Rys. 2.13. Przykładowe wykresy równomierności penetracji cieczy w strukturę papieru Źródło: opracowanie własne.

Wyniki badań penetracji cieczy w głąb struktury papierów 1-12 przedstawiono na rysunkach 2.14-2.25 oraz przedstawiono w postaci zbiorczej w tabeli 2.11.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że pomimo zbliżonego charakteru przebiegu krzywej penetracji dla papierów 1, 3-8, 10 (papiery te nie stwarzają oporu wnikającej cieczy, a krzywa zaczyna się od punktu t_{max}) czas, przy którym intensywność penetracji spada do 95% jest dla nich zróżnicowany, co świadczy o różnym mechanizmie dalszego przebiegu procesu przemaczania papierów. Krótkie czasy t_{95} charakterystyczne są dla papierów niepowlekanych. Czasy dłuższe na poziomie 2 s i powyżej 2 s obserwowano dla papierów powlekanych, co świadczy, że dla tych papierów proces przemaczania (degradacji) przebiega znacznie wolniej. Prawdopodobnie w tych papierach proces penetracji zachodzi oprócz kierunku Z w kierunkach X i Y. Tą tezę potwierdzać mogą wyniki przyrostu punktu rastrowego. Na papierach Color Copy powlekanych przyrosty dla nadruku atramentami kolorowymi (C,M,Y) są większe (są na poziomie ok. 30%) niż na innych podłożach (poziom 20%).

	Rodzaj papieru z gramaturą nominalną (g/m²)	Czas osiągnięcia max penetracji, t _{nax} (s)	Czas spadku intensyw- ności penetracji do 95%, t _{ss} , (s)	Algorytm nawilżania, W	Mottle Index	rel. Variance	Cobb60-PEA, g/m²
1	Papier Pulchny 90	0,08	0,39	0	0,25	0,380	20,60
2	Papier offsetowy Amber Kostrzyn 80	0,56	1,78	0,73	0,17	0,120	20,40
3	Poljet 80	0,08	0,58	0	0,12	0,038	44,70
4	Polspeed 80	0.08	0,86	0	0,12	0,033	26.40
5	Color Copy Coated Gloss 135	0,08	3,52	0	0,01	0,001	29,30
6	Color Copy Coated Gloss 250	0,08	3,31	0	0,026	0,001	25,20
7	Color Copy Coated Silk 135	0,08	2,38	0	0,018	0,001	38,50
8	Color Copy Coated Silk 250	0,08	3,57	0	0,013	0,005	23,60
9	Color Copy Uncoated Satin 90	0,63	1,93	1,14	0,17	0,110	35,70
10	Color Copy Uncoated Satin 250	0,08	0,51	0	0,20	0,110	25,10
11	Papier fotograficzny	Powyżej 30	-	-	0,01	0	0,00
12	Papier z mikroporami	0,16	0,44	0,08	0,35	0,190	32,20

Tabela 2.11.	Wyniki badań	penetracji	cieczy w	głąb	struktury	papieru	oraz v	wskaźnik	a
	Cobb								

Papiery niepowlekane cechują się najwyższym parametrem rel. Varinace oraz Mottle Index, co świadczy o bardzo dużej nierównomierności wsiąkania wody w papier. Dla papierów powlekanych ma miejsce lepszy parametr rel. Varinace oraz Mottle Index. Najmniejsze wartości rel. Varinace oraz Mottle Index posiadał papier fotograficzny.



Rys. 2.14. Zależność intensywności penetracji cieczy w strukturę papieru od czasu penetracji dla papierów offsetowych Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.15. Intensywność penetracji w punkcie $\rm t_{95}$ oraz zależność Mottle Index od Structure dla papierów offsetowych Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.16. Zależność intensywności penetracji cieczy w strukturę papieru od czasu penetracji dla papierów biurowych Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.17. Intensywność penetracji w punkcie t₉₅ oraz zależność Mottle Index od Structure dla papierów biurowych Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.18. Zależność intensywności penetracji cieczy w strukturę papieru od czasu penetracji dla papierów Color Copy Coated Glossy Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.19. Intensywność penetracji w punkcie t₉₅ oraz zależność Mottle Index od Structure dla papierów biurowych Źródło: opracowanie własne.


Rys. 2.20. Zależność intensywności penetracji cieczy w strukturę papieru od czasu penetracji dla papierów Color Copy Coated Silk Źródło: opracowanie.



Rys. 2.21. Intensywność penetracji w punkcie t95 oraz zależność Mottle Index od Structure dla papierów Color Copy Coated Silk Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.22. Zależność intensywności penetracji cieczy w strukturę papieru od czasu penetracji dla papierów Color Copy Uncoated Satin Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.23. Intensywność penetracji w punkcie t95 oraz zależność Mottle Index od Structure dla papierów Color Copy Uncoated Satin Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.24. Zależność intensywności penetracji cieczy w strukturę papieru od czasu penetracji dla papierów fotograficznych Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.25. Intensywność penetracji w punkcie t₉₅ oraz zależność Mottle Index od Structure dla papierów fotograficznych Źródło: opracowanie własne.

Podsumowując, można stwierdzić, że większość badanych papierów (1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10) charakteryzowała się zbliżonym czasem osiągnięcia $t_{max} = 0,08$ s, co świadczy o tym, że nie stwarzały one oporu w trakcie nawilżania. Papiery niepowlekane cechują się krótkim czasem t_{95} , a papiery powlekane – dłuższym czasem t_{95} , co świadczy o tym, że proces przemaczania w tych papierach przebiega znacznie wolniej, w porównaniu do papierów niepowlekanych. Papiery niepowlekane charakteryzują się najwyższym parametrem rel. Varinace oraz Mottle Index, co świadczy o największej, wśród badanych papierów, nierównomierności wsiąkania wody w papier. Dla papierów powlekanych ma miejsce lepszy parametr rel. Varinace oraz Mottle Index w porównaniu do papierów niepowlekanych. A największą równomierności wnikania wody w papier charakteryzował się papier fotograficzny.

2.2.4.2. Badania deformacji (wydłużenia) papieru pod wpływem działania wody

Dynamikę wnikania wody w strukturę papieru można określić w oparciu o pomiar dynamicznego wydłużania się próbki w czasie kontaktu z wodą w aparacie Emtec DSS (Dimension Stability System) z modułem WSD (Wet Stretch Dynamics Analyzer) (rys. 2.26a). Badana próbka papieru 1 jest zamocowana w uchwytach i obciążona prostującym ją małym ciężarkiem 2. Pomiar rozpoczyna się wtedy, gdy zbiornik z wodą 3 jest podniesiony do góry tak, aby menisk wody w zbiorniku miał kontakt z powierzchnią papieru. Próbka papieru rozszerza się w momencie, kiedy woda wnika we włókna i powoduje ich pęcznienie. Wydłużenie się próbki jest rejestrowane za pomocą czujnika 4 podłączonego do ruchomego uchwytu podtrzymującego próbkę papieru. Rozszerzanie się próbki jest rejestrowane w funkcji czasu (pokazane na rys. 2.26b).



Rys. 2.26. Zasada pomiaru (a) oraz interpretacja wyników otrzymanych na urządzeniu WSD (b)

Źródło: Skowroński J. Porównawcza ocena testów penetracji wody w papier Część 2. Nowa metodologia testowania wnikania wody w strukturę papieru. Przegląd Papierniczy nr 7 (66), 2010, s. 398. Wynik pomiaru jest odczytem wydłużenia się próbki w określonym czasie, odpowiadającym czasowi badanego procesu przetwarzania papieru (lub też w czasie przyjętym jako standardowy) [104].

Wyniki deformacji badanych papierów pod wpływem działania wody przedstawiono w tabeli 2.12. Ze względu na wartości wydłużenia papierów uzyskane na etapie namoczenia przez pierwsze 10 s wszystkie badane papiery można podzielić na cztery grupy:

- o największym wydłużeniu w granicach 0,86 –1,06 % papiery 3,4,2;
- o średnim wydłużeniu w granicach 0,47-0,56% papiery 1 i 9;
- o najmniejszym wydłużeniu 0,09-0,17 papiery 6,5,8,7,10 wszystkie papiery powlekane i papier satynowany o grubości 250 g/m,;
- papiery nie deformujące się pod wpływem działania wody 11 i 12.

Po upływie czasu ok. 10 s deformacja papieru offsetowego (2) zaczyna znacznie zwiększać się i odbiegać od deformacji innych papierów. Na odcinku czasu nawilżania od 10 do 30 s deformacja tego papieru jest największa i dochodzi do 3,98%. Dla pozostałych papierów zależności wielkości deformacji zaobserwowane dla czasu 10 s obserwowane również i dla czasu 30 s. Rysunek 2.27 ilustruje wpływ grubości na wielkość deformacji papieru przy namaczaniu. Stwierdzono, że zwiększenie grubości tak papierów powlekanych, jak i niepowlekanych powoduje zmniejszenie wydłużenia papieru pod wpływem działania wody o ok. 2-4 razy.

	Rodzaj papieru	Deformacja (wydłużenie), % dla czasu:	
	z gramaturą nominalną (g/m²)	10 s	30 s
1	Papier Pulchny 90	0,47	1,33
2	Papier offsetowy Amber Kostrzyn 80	0,99	3,98
3	Poljet 80	0,86	2,34
4	Polspeed 80	1,06	2,58
5	Color Copy Coated Gloss 135	0,09	0,43
6	Color Copy Coated Gloss 250	0,07	0,18
7	Color Copy Coated Silk 135	0,16	0,59
8	Color Copy Coated Silk 250	0,14	0,24
9	Color Copy Uncoated Satin 90	0,56	1,51
10	Color Copy Uncoated Satin 250	0,17	0,33
11	Papier fotograficzny	0	0
12	Papier z mikroporami	0	0

Tabela 2.12. Deformacja papierów pod wpływem działania wody (dla czasu 10 s i 30 s)

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.27. Dynamika wydłużenia dla papierów o różnej gramaturze: papier Color Copy Coated Silk o gramaturze 135 g/m² (7) i 250 g/m² (8) Źródło: opracowanie własne.

Podsumowanie rozdziału 2.2.

- 1. Właściwości wybranych do badań papierów. Wszystkie papiery wybrane do badań można podzielić na trzy grupy: papiery niepowlekane gładzone maszynowo (papier objętościowy (pulchny (1)), papier offsetowy (2), papiery biurowe (3 i 4)); papiery powlekane o powłokach z połyskiem i matowe o dwóch różnych gramaturach (5, 6, 7 i 8). Odrębną grupę stanowiły specjalne papiery dedykowane do drukowania natryskowego (11 i 12). Wartości gramatury badanych papierów zawierały się w zakresie od 80 do 250 g/m², grubości – 96 do 246 µm, gładkość Bekka: od 4 do 770 s, przenikalność powietrza – od 0 do 11 µm/Pa · s, sztywność dla kierunku maszynowego (MD) od 0,36 do 8,18; rezystywność skrośna od 0,4 do 22 G Ω m. Zauważono między innymi wpływ gramatury i grubości na sztywność papieru, wpływ obecności powłoki na wzrost gładkości i przenikalność powietrza (brak przenikalności). Stwierdzono również, że najwyższą rezystywność osiągnęły papiery pulchny (papier 1) i powlekany z połyskiem (papier 5).
- 2. Właściwości sorpcyjne papierów. Pod kątem druku natryskowego zbadano właściwości sorpcyjne papierów w kierunku prostopadłym do powierzchni dynamikę intensywności penetracji wody. Większość badanych papierów (1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10) charakteryzowała się zbliżonym czasem osiągnięcia maksimum penetracji t_{max} = 0,08 s, co świadczy o tym, że nie stwarzały one oporu w trakcie nawilżania. Papiery niepowlekane cechują się krótkim czasem spadku intensywności penetracji do poziomu 95% od maksymalnej wartości (t₉₅), a papiery powlekane dłuższym czasem t₉₅, co świadczy o tym, że proces przemaczania

w tych papierach przebiega znacznie wolniej, w porównaniu do papierów niepowlekanych. Papiery niepowlekane charakteryzują się najwyższym parametrem rel. Varinace oraz Mottle Index, co świadczy o największej, wśród badanych papierów, nierównomierności wsiąkania wody w papier. Dla papierów powlekanych ma miejsce lepszy parametr rel. Varinace oraz Mottle Index w porównaniu do papierów niepowlekanych. A największą równomiernością wnikania wody w papier charakteryzował się papier fotograficzny. Również wydłużenie papierów przy kontakcie ich powierzchni z wodą jest najmniejsze dla papierów powlekanych. Większe wartości deformacji papieru na mokro zaobserwowano dla papierów niepowlekanych, za wyjątkiem papieru satynowanego (papier 10 o gramaturze 250 g/m²). Papiery o większej gramaturze ulegają mniejszej deformacji wydłużania na mokro.

3. Jakość odbitek elektrofotograficznych. Zauważono różnice w jakości nadruku na papierach powlekanych, niepowlekanych gładzonych maszynowo i niepowlekanych satynowanych. Nadruki wykonane na papierach powlekanych charakteryzują się najmniejszym stopniem rozmycia, najmniejszą skłonnością do mottlingu i ziarnistości oraz największą rozpiętością barwy. W dalszej kolejności uplasowały się papiery satynowane (o najwyższej gładkości wśród papierów niepowlekanych), a najniższa jakość nadruku uzyskano na papierach niepowlekanych gładzonych maszynowo. Wszystkie badane papiery charakteryzowały się zbliżoną reprodukcją linii pod względem szerokości i strzępiastości, podobną rozdzielczością druku i dobrym przyleganiem tonera. Wartości parametru rozmycia linii okazały się najniższe dla papierów powlekanych, a najwyższe dla papierów niepowlekanych gładzonych maszynowo. Nie zauważono bardzo wyraźnego wpływu stosowanych rodzajów papieru na takie parametry nadruku jak przyrost rastrowej wartości tonalnej i kontrast druku. Wszystkie badane papiery charakteryzowały się również brakiem prześwitywania nadruku.

Badania wpływu gładkości papieru (symulacja zmiany gładkości na podstawie kalandrowania papieru pulchnego) wykazały, że zwiększenie gładkości powoduje wzrost szerokości reprodukowanych linii, co powoduje nieznaczny spadek rozdzielczości druku.

4. Jakość odbitek natryskowych. W odróżnieniu od uzyskanych wyników badań jakości odbitek elektrofotograficznych, stwierdzono bardziej wyraźny wpływ rodzaju papieru na ogólną jakość nadruku na odbitkach natryskowych. Najlepszymi parametrami jakościowymi pod względem gęstości optycznej i rozpiętości barwy charakteryzowały się papiery specjalne lub dedykowane do druku ink-jet (papier fotograficzny i z mikroporami), w dalszej kolejności są papiery powlekane, niepowlekane satynowane, a najniższą jakość nadruku uzyskano na papierach niepowlekanych gładzonych maszynowo.

Zaobserwowano wpływ rodzaju atramentu (atrament pigmentowy – kolor czarny i atrament barwnikowy – kolory C, M, Y) na współdziałanie papieru z farbą, co skutkowało różnymi wartościami następujących parametrów nadruku: przyrost punktu rastrowego, kontrast druku oraz dokładność reprodukcji linii. Przy zastosowaniu atramentu pigmentowego (K) lepsze wartości tych parametrów uzyskano dla papierów powlekanych (papiery 5-8), natomiast używając atramentów kolorowych (C, M, Y), najlepsze wartości uzyskano dla papierów niepowlekanych (papiery 1-4, 9, 10) i specjalnych (papiery 11, 12).

Jednorodność nadruku (ziarnistość i mottling) apli na papierach powlekanych okazała się najlepsza (przy obu rodzajach atramentu). Zdecydowanie największą rozpiętość barwy uzyskano na papierach specjalnych, a w dalszej kolejności – na papierach powlekanych.

2.3. Ocena istotności wpływu własności papieru na jakość nadruku w drukowaniu cyfrowym elektrofotograficznym i natryskowym

W celu zbadania istotności wpływu poszczególnych parametrów wybranych papierów na jakość odbitek wykonanych w technikach drukowania elektrofotograficznego i natryskowego stworzono modele matematyczne wpływu właściwości papieru na jakość druków. Modele zostały opracowane przy użyciu programu do analizy wieloczynnikowej SIMCA P+ firmy Umetrics [115], w oparciu o wyniki badań eksperymentalnych. Ten program akceptuje tabele sporządzone w arkuszu kalkulacyjnym Excel i pozwala na oznaczenie wszystkich danych wejściowych jako "X" oraz danych wyjściowych jako "Y". Następnie program wykonuje obliczenia wprowadzonych danych i podaje opis modelu wieloczynnikowego [116-118]. Otrzymana informacja o wieloczynnikowym modelu MMR posiada cztery składniki:

- współczynniki równań przewidujące dane wyjściowe;
- informacje o współczynnikach korelacji między czynnikami wejściowymi (R²X), korelacji między parametrami wyjściowymi (R²Y) oraz poziom zdolności przewidywania (Q²);
- istotność ważnych zmiennych wejściowych modelu;
- dopasowanie pomiarów eksperymentalnych do modelu;

W opracowanych modelach matematycznych stworzono dwie macierze (rys. 2.28): macierz czynników wejściowych A i macierz parametrów wyjściowych B.



Rys. 2.28. A (NxX) – macierz zmiennych niezależnych (czynniki wejściowe), gdzie N – liczba badanych rodzajów podłoży, X – liczba niezależnych zmiennych (parametrów podłoża). B (NxY) – macierz zmiennych zależnych, gdzie Y – liczba parametrów jakościowych nadruku (wielkości wyjściowe) Źródło: opracowanie własne.

Opracowano dwa modele matematyczne dotyczące istotności wpływu właściwości papierów na jakość odbitek elektrofotogarficznych (pt. "Electrofotografia – Sumaryczna" oraz pt. "Electrofotografia – Gładkość") oraz dwa modele dotyczące istotności wpływu właściwości papierów na jakość odbitek natryskowych (pt. "Ink-jet Sumaryczna CMY" dla odbitek drukowanych atramentem barwnikowym i model drugi – "Ink-jet Sumaryczna K" dla odbitek drukowanych atramentem pigmentowym").

2.3.1. Ocena istotności wpływu gładkości papieru na jakość odbitki elektrofotograficznej

W celu zbadania istotności wpływu gładkości papieru na jakość odbitki elektrofotograficznej, przy użyciu oprogramowania "SIMCA 11 P" stworzono model matematyczny pt. "Electrofotografia – Gładkość". Model oparty jest na wynikach badań eksperymentalnych wpływu gładkości papieru na jakość odbitki (rozdział 2.2.2). Dla modelu wybrano pięć próbek podłoża – objętościowy offsetowy papier nie kalandrowany (1) oraz cztery próbki tego samego papieru o różnym stopniu skalandrowania (o rosnącej gładkości), cztery parametry zmiennych niezależnych i siedem parametrów zmiennych zależnych: N = 5, X = 4, Y = 7.

Liczba podłoży (próbek): N = 5.

Parametry wejściowe X to:

- gładkość,
- grubość,
- rezystywność powierzchniowa,
- rezystywność skrośna.

Parametry wyjściowe Y to:

- rozdzielczość druku,
- szerokość linii pionowych i poziomych,
- rozmycie linii pionowych i poziomych,
- strzępiastość linii pionowych i poziomych.

W wyniku modelowania uzyskano bardzo dobre równanie modelowe: 100% zgodności w korelacji (R2X=1, R2Y=1) oraz 100% zdolność przewidywania ($Q^2 = 1$) [119, 121].

W wyniku modelowania oznaczono istotność wpływu poszczególnych właściwości (parametrów) papieru (tabela 2.13).

Tabela 2.13. Istotność wpływu poszczególnych parametrów papieru na jakość nadruku

	Właściwość papieru	lstotność (ważność)	
1.	Grubość	1,22021	
2.	Gładkość	1,09941	
3.	Rezystywność skrośna	0,91519	
4.	Rezystywność powierzchniowa	0,68176	

Źródło: opracowanie własne.

Wykonana analiza wykazała, że na jakość nadruku (definiowaną jako: rozdzielczość druku, szerokość linii pionowych i poziomych, rozmycie linii pionowych i poziomych i strzępiastość linii pionowych i poziomych) mają przede wszystkim gładkość papieru i jego grubość (w wyniku kalandrowania grubość maleje) oraz, w mniejszym stopniu, rezystywność.

2.3.2. Ocena istotności wpływu poszczególnych właściwości papieru na sumaryczną jakość odbitki elektrofotograficznej

Dla matematycznego modelu procesu drukowania elektrofotograficznego nazwanego "Electrofotografia – Sumaryczna" wybrano 10 podłoży papierowych (N = 10), 17 parametrów podłoża (zmiennych niezależnych (X = 17)) i 13 parametrów jakościowych nadruku odbitek wydrukowanych na tych papierach – zmiennych zależnych (Y = 13). Model oparty jest na wynikach badań eksperymentalnych wpływu rodzaju papieru na jakość odbitki (rozdział 2.2.2).

Parametry wejściowe X to:

- gramatura,
- grubość,
- gładkość wg Bekka,

- szorstkość wg Bendtsena,
- przenikalność powietrza,
- sztywność w kierunku maszynowym (md) i poprzecznym (cd),
- rezystywność skrośna i powierzchniowa,
- statyczny współczynnik tarcia,
- stopień zaklejenia Cobb₆₀,
- płaskie leżenie przed drukiem przy wilgotności powietrza 30%, 50% i 95%,
- przyleganie tonera,
- wilgotność papieru,
- skurcz papieru (przy nagrzewaniu papieru do temperatury t = 160° C w ciągu 30 s).

Parametry wyjściowe Y to:

- gęstość optyczna nadruku apli o kolorach Cyan (C) i Black (K),
- kontrast druku,
- rozdzielczość,
- szerokość linii poziomych i pionowych,
- rozmycie linii poziomych i pionowych,
- strzępiastość linii poziomych i pionowych,
- mottling,
- ziarnistość,
- rozpiętość barwy.

W wyniku modelowania uzyskano dobre równanie modelowe dla modelu "Electrofotografia – Sumaryczna":100% korelacji ($R^2X = 1$, $R^2Y = 1$) oraz 100% zdolność przewidywania ($Q^2 = 1$). W wyniku modelowania oznaczono istotność wpływu poszczególnych właściwości (parametrów) papieru (tabela 2.14).

Tabela 2.14. Wartości istotności

	Parametr papieru	lstotność	
1	Przenikalność powietrza wg Bendtsena	1,3165	
2	Gładkość wg Bekka	1,2752	
3	Przyleganie tonera	1,1288	
4	Zawartość wilgoci	1,1231	
5	Gładkość wg Bendtsena	1,0925	
6	Sztywność cd	1,0690	
7	Skurcz papieru (t = 160°C, czas 30 s)	1,0120	
8	Płaskie leżenie (W = 50%)	0.9679	
9	Rezystywność powierzchniowa 0,9485		
10	Płaskie leżenie (W = 95%)	0,9410	

II. Modelowanie, optymalizacja i prognozowanie jakości odbitek cyfrowych

11	Sztywność md	0,9284
12	Rezystywność skrośna	0,8993
13	Tarcie powierzchniowe	0,8777
14	Gramatura	0,8762
15	Płaskie leżenie (W = 30%)	0,8534
16	Grubość	0,7512
17	Cobb60	0,7220

Źródło: opracowanie własne.

Wykonana analiza wykazała, że na sumaryczną jakość nadruku (definiowaną jako: gęstość optyczna nadruku apli, kontrast druku, rozdzielczość, szerokość linii poziomych i pionowych, rozmycie linii poziomych i pionowych, strzępiastość linii poziomych i pionowych, mottling, ziarnistość, rozpiętość barwy) wykonanego metodą elektrofotografii mają wpływ przede wszystkim takie parametry podłoża, jak:

- przenikalność powietrza (charakteryzująca obecność powłoki na powierzchni papieru /przenikalność równa zeru/ lub jej brak),
- gładkość papieru,
- przyleganie tonera,
- zawartość wilgoci.

2.3.3. Ocena istotności wpływu poszczególnych właściwości papieru na sumaryczną jakość odbitki natryskowej

Dla procesu drukowania natryskowego stworzono dwa modele matematyczne zależności jakości nadruku od parametrów (właściwości) papierów [120]:

- model pierwszy "Ink-jet Sumaryczna CMY" dla odbitek drukowanych atramentem barwnikowym;
- model drugi "Ink-jet Sumaryczna K" dla odbitek drukowanych atramentem pigmentowym.

Modele są oparte na wynikach badań eksperymentalnych wpływu rodzajów papieru na jakość odbitki natryskowej (rozdział 2.2.3 i 2.2.4). Pierwszy model "Ink-jet Sumaryczna CMY" dotyczy jakości obrazu wydrukowanego za pomocą atramentów barwnikowych Cyan, Magenta, Yellow (CMY) i posiada 14 zmiennych niezależnych i 11 zmiennych zależnych: X = 14 Y = 11.

Parametry X to:

- gramatura,
- grubość,
- szorstkość wg Bendtsena,
- przenikalność powietrza,

- sztywność w kierunku md,
- sztywność w kierunku cd,
- czas osiągnięcia maksimum penetracji (T_{max}),
- czas spadku intensywności penetracji do 95% (T₉₅),
- algorytm nawilżania (W),
- równomierność penetracji (Mottle Index), rel. Variance,
- Cobb₆₀,
- wydłużenie papieru na mokro przy t = 10 s,
- wydłużenie papieru na mokro przy t = 30 s.

Parametry Y to:

- prześwitywanie nadruku (średnia wartość z C, M, Y),
- gęstość optyczna nadruku apli (średnia wartość z C, M, Y),
- przyrost rastrowej wartości tonalnej na polu 50% (średnia wartość z C, M, Y),
- kontrast druku (średnia wartość z C, M, Y),
- mottling (średnia wartość z C, M, Y),
- ziarnistość (średnia wartość z C, M, Y),
- rozpiętość barwy,
- stabilność nadruku (ΔE),
- szerokość linii C,
- rozmycie linii C,
- strzępiastość linii C.

W wyniku modelowania uzyskano dobre równanie modelowe dla modelu "Ink--jet Sumaryczna CMY": 100% i 99,3% zgodności w korelacji ($R^2X = 1$, $R^2Y = 0,993$) oraz 67,5% zdolność przewidywania ($Q^2 = 0,675$). W wyniku modelowania oznaczono istotność wpływu poszczególnych właściwości (parametrów) papieru (tabela 2.15).

Wykonana analiza wykazała, że na jakość nadruku (prześwitywanie nadruku (średnia wartość z C, M, Y), gęstość optyczna nadruku apli (średnia wartość z C, M, Y), przyrost rastrowej wartości tonalnej na polu 50% (średnia wartość z C, M, Y), kontrast druku (średnia wartość z C, M, Y), mottling (średnia wartość z C, M, Y), ziarnistość (średnia wartość z C, M, Y), rozpiętość barwy, stabilność nadruku (delta E), szerokość linii C (0,25 pt.), rozmycie linii C (0,25 pt.), strzępiastość linii C 0,25 pt.) mają przede wszystkim wpływ parametry procesu penetracji cieczy w głąb struktury papieru (T_{95} , T_{max} , M Index) oraz deformacja papieru przy kontakcie z wodą.

Drugi model "Ink-jet Sumaryczna K" dotyczy jakości obrazu wydrukowanego za pomocą atramentu pigmentowego i posiada 14 zmiennych niezależnych i 9 zmiennych zależnych: X = 14 Y = 9.

	Parametr papieru	Istotność
1	Czas spadku intensywności penetracji do 95%, T ₉₅	1,3700
2	Czas osiągnięcia max penetracji, T _{max}	1,3621
3	M Index, (wartość średnia z M1, M2, M3)	1,1502
4	Wydłużenie papieru na mokro (czas 30 s)	1,0460
5	Sztywność md	1,0239
6	Gładkość wg Bendtsena	1,0184
7	Sztywność cd	0,9329
8	Przenikalność powietrza	0,9055
9	Grubość	0,8964
10	Wydłużenie papieru na mokro (czas 10 s)	0,8804
11	Algorytm nawilżania, W	0,8225
12	rel. Variance	0,8031
13	Cobb60	0,8031
14	Gramatura	0,7279

Tabela 2.15. Wartości istotności

Źródło: opracowanie własne.

Parametry X to:

- gramatura,
- grubość,
- szorstkość wg Bendtsena,
- przenikalność powietrza,
- sztywność w kierunku md,
- sztywność w kierunku cd,
- czas osiągnięcia max penetracji (t_{max}),
- czas spadku intensywności penetracji do 95% (T₉₅),
- algorytm nawilżania (W),
- równomierność penetracji (Mottle Index), rel. Variance,
- stopień zaklejenia Cobb60,
- wydłużenie papieru przy kontakcie z wodą w czasie t = 10 s.,
- wydłużenie papieru przy kontakcie z wodą w czasie t = 30 s.

Parametry Y to:

- prześwitywanie nadruku (K),
- gęstość optyczna nadruku apli (K),
- przyrost rastrowej wartości tonalnej na polu 50% (K),
- kontrast druku (K),
- mottling (K), ziarnistość (K),

- szerokość linii K,
- rozmycie linii K,
- strzępiastość linii K.

W wyniku modelowania uzyskano dobre równanie modelowe dla modelu "Ink--jet Sumaryczna K": 99,8% i 98,2% zgodności w korelacji ($R^2X = 0,998$, $R^2Y = 0,982$) oraz 45% zdolność przewidywania ($Q^2 = 0,45$). W wyniku modelowania oznaczono istotność wpływu poszczególnych właściwości (parametrów) papieru (tabela 2.16).

	Parametr papieru	lstotność
1	Czas spadku intensywności penetracji do 95%, T ₉₅	1,4859
2	Czas osiągnięcia max penetracji, T _{max}	1,2624
3	Wydłużenie papieru na mokro (czas 30 s)	1,1478
4	Przenikalność powietrza	1,0729
5	Wydłużenie papieru na mokro (czas 10 s)	0,9461
6	Sztywność cd	0,9402
7	Grubość	0,9292
8	Sztywność md	0,9074
9	Algorytm nawilżania, W	0,9039
10	M Index, (wartość średnia z M1, M2, M3)	0,8631
11	Gładkość wg Bendtsena	0,8459
12	rel. Variance	0,8368
13	Cobb60	0,8368
14	Gramatura	0,7655

Tabela 2.16. Wartości istotności

Źródło: opracowanie własne.

Wykonana analiza wykazała, że na jakość nadruku (prześwitywanie nadruku (K), gęstość optyczna nadruku apli (K), przyrost rastrowej wartości tonalnej na polu 50% (K), kontrast druku (K), mottling (K), ziarnistość (K), szerokość linii K 0,25 pt., rozmycie linii K 0,25 pt., strzępiastość linii K 0,25 pt.) mają przede wszystkim wpływ parametry procesu penetracji cieczy w głąb struktury papieru (T_{95} , T_{max} , M Index), deformacja papieru przy kontakcie z wodą oraz przenikalność powietrza.

Podsumowanie rozdziału 2.3.

 Istotność parametrów papieru w drukowaniu elektrofotograficznym oceniano na podstawie dwóch modeli matematycznych. Jeden model matematyczny pt. "Electrofotografia – Sumaryczna" miał na celu określenie istotności wpływu parametrów wszystkich badanych podłoży na jakość odbitek elektrofotograficznych. Drugi model pt. "Electrofotografia – Gładkość" miał na celu określenie istotności wpływu wybranych parametrów podłoża związanych ze zmianą jego gładkości (symulowanej za pomocą kilkakrotnego kalandrowania papieru pulchnego) na jakość odbitki elektrofotograficznej.

- 1.1. Wykonana analiza utworzonego modelu matematycznego "Electrofotografia – Sumaryczna", zadaniem którego było określenie istotności wpływu właściwości papieru na sumaryczną jakość druków elektrofotograficznych wykazała, że na sumaryczną jakość nadruku (definiowaną jako: gęstość optyczna nadruku apli, kontrast druku, rozdzielczość, szerokość linii poziomych i pionowych, rozmycie linii poziomych i pionowych, strzępiastość linii poziomych i pionowych, mottling, ziarnistość, rozpiętość barwy) wykonanego metodą elektrofotografii z zastosowaniem suchego tonera mają przede wszystkim wpływ takie parametry podłoża, jak:
 - przenikalność powietrza (charakteryzująca obecność powłoki na powierzchni papieru /przenikalność równa zeru/ lub jej brak),
 - gładkość papieru,
 - przyleganie tonera,
 - zawartość wilgoci.
- 1.2. Analiza modelu "Electrofotografia Gładkość" wykazała, że na jakość nadruku (definiowaną jako: rozdzielczość druku, szerokość linii pionowych i poziomych, rozmycie linii pionowych i poziomych i strzępiastość linii pionowych i poziomych) mają przede wszystkim wpływ gładkość papieru i jego grubość (w wyniku kalandrowania grubość maleje) oraz, w mniejszym stopniu, rezystywność.
- Istotność parametrów papieru w drukowaniu natryskowym oceniano również na podstawie dwóch modeli matematycznych ("Ink-jet Sumaryczna CMY" oraz "Ink-jet Sumaryczna K"), co było związane z tym, że w procesie drukowania wykorzystano dwa rodzaje atramentów: barwnikowe kolorowe atramenty (CMY) i pigmentowy czarny atrament (K).
 - 2.1. Wykonana analiza modelu "Ink-jet Sumaryczna CMY" wykazała, że na jakość nadruku (definiowanego jako: prześwitywanie nadruku (średnia wartość z C, M, Y), gęstość optyczna nadruku apli (średnia wartość z C, M, Y), przyrost rastrowej wartości tonalnej na polu 50% (średnia wartość z C, M, Y), kontrast druku (średnia wartość z C, M, Y), mottling (średnia wartość z C, M, Y), ziarnistość (średnia wartość z C, M, Y), rozpiętość barwy, stabilność nadruku (delta E), szerokość linii C (0,25 pt.), rozmycie linii C (0,25 pt.), strzępiastość linii C 0,25 pt.) mają przede wszystkim wpływ parametry

procesu penetracji cieczy w głąb struktury papieru (t₉₅, t_{max}, M.Index) oraz deformacja papieru przy kontakcie z wodą.

- 2.2. Wykonana analiza modelu "Ink-jet Sumaryczna K" wykazała, że na jakość nadruku (definiowana jako: prześwitywanie nadruku (K), gęstość optycz-na nadruku apli (K), przyrost rastrowej wartości tonalnej na polu 50% (K), kontrast druku (K), mottling (K), ziarnistość (K), szerokość linii K 0,25 pt., rozmycie linii K 0,25 pt., strzępiastość linii K 0,25 pt.) mają przede wszyst-kim parametry procesu penetracji wody w głąb struktury papieru (t₉₅, t_{max}, M.Index), deformacja papieru przy kontakcie z wodą oraz przenikalność powietrza.
- 2.3. Podsumowując, można stwierdzić, że w drukowaniu natryskowym atramentami barwnikowymi najbardziej istotnymi parametrami papieru mającymi wpływ na sumaryczna jakość nadruku miały parametry charakteryzujące współdziałanie papieru z cieczą (wodą):
 - szybkość penetracji (T₉₅ i T_{max}),
 - równomierność penetracji (Mottle Index),
 - deformacja papieru (rozciąganie) na mokro.

Natomiast przy zastosowaniu atramentu pigmentowego dodatkowym istotnym parametrem papieru okazała się przenikalność powietrza (obecność powłok pigmentowych).

2.4. Prognozowanie parametrów jakości odbitek cyfrowych

W oparciu o wyniki wykonanych badań opracowano (z wykorzystaniem oprogramowania "SIMCA 11 P" i utworzonych modeli matematycznych) algorytmy określające zależność wartości parametrów charakteryzujących jakość nadruku od właściwości użytych papierów. Przewidywaną (obliczoną) wartość tych parametrów oblicza się wg liniowego równania:

$$\mathbf{Y}_{i} = \mathbf{B}_{0} + \mathbf{B}_{1} \cdot \mathbf{X}_{1} + \mathbf{B}_{2} \cdot \mathbf{X}_{2} + \mathbf{B}_{3} \cdot \mathbf{X}_{3} + \mathbf{B}_{4} \cdot \mathbf{X}_{4} + \dots + \mathbf{B}_{n} \cdot \mathbf{X}_{n}$$

gdzie : Y_i – rodzaj parametru jakościowego nadruku,

- $\mathbf{B}_{_{0}}~$ stała równania dla danego parametru jakościowego nadruku,
- B współczynnik dla danej właściwości podłoża,
- X wartość właściwości podłoża.

2.4.1. Prognozowanie parametrów jakości odbitek elektrofotograficznych dla zmiennej gładkości papieru

Na podstawie wyników badań i dokonanych obliczeń (rozdział 2.2.2 i 2.3.1) ustalono wartości współczynników do równań, określających prognozowane wartości parametrów jakościowych nadruku. W równaniach predykcji uwzględniono następujące parametry podłoża: gładkość, grubość, rezystywność powierzchniową oraz rezystywność skrośną oraz parametry jakościowe nadruku: rozdzielczość druku, szerokość linii pionowych i poziomych, rozmycie linii pionowych i poziomych i strzępiastość linii pionowych i poziomych.

Wyznaczone wartości współczynników, potrzebne do obliczenia prognozowanych, poszczególnych parametrów jakościowych nadruku podano w tabeli 2.17.

Parametr	Współczynniki dla zmiennych X:				
jakościowy nadruku	B ₀	gładkości	Rezystywności skrośnej	rezystywności powierzchniowej	grubości
Rozdzielczość	380,1750	-0,0058	0,0122	-0,0059	920,3420
Szerokość linii poziomych	56,9281	0.2785	0,0032	-0.0014	342,8070
Strzępiastość linii pionowych	4,2004	0,0277	-0,0004	-0,000004	-1,1762
Strzępiastość linii poziomych	5,4695	-0.0068	-0.0002	0.0002	-17.5080
Rozmycie linii pionowych	95,4168	0,7539	-0,0133	-0,0032	446,2620
Rozmycie linii poziomych	-238,8280	0,7652	0,0294	-0,0097	2044,4800
Szerokość linii pionowych	85,7690	0,4845	-0,0043	-0.0011	361,8620

Tabela 2.17. Wartości współczynników do równań

Źródło: opracowanie własne.

Model zbudowany dla różnej gładkości papieru ma bardzo wysoką zdolność przewidywania co potwierdzają wykresy (rys. 2.29-2.31), przedstawiające zależności wartości parametrów nadruku zmierzonych i obliczonych. Uzyskana wysoka korelacja pomiędzy wartościami parametrów nadruku zmierzonych i obliczonych potwierdza prawidłowy charakter równania.



Rys. 2.29. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – rozdzielczość; b – szerokość linii pionowych Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.30. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – szerokość linii poziomych; b – strzępiastość linii pionowych Zródło: opracowanie własne.





Rys. 2.31. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – strzępiastość linii poziomych; b – rozmycie linii pionowych; c – rozmycie linii poziomych Źródło: opracowanie własne.

2.4.2. Prognozowanie parametrów jakości odbitek w drukowaniu elektrofotograficznym

Na podstawie wyników badań i dokonanych obliczeń dla modelu "Elektrofotografia-Sumaryczna" (rozdział 2.2.2 i 2.3.2) ustalono wartości współczynników do równań, określających prognozowane wartości parametrów jakościowych nadruku. W równaniach predykcji uwzględniono następujące parametry podłoża: gramatura, grubość, gładkość wg B-ekka i Bendtsena, przenikalność powietrza, sztywność md i cd, rezystywność skrośna i powierzchniowa, statyczny współczynnik tarcia, Cobb₆₀, płaskie leżenie przed drukiem 30%, 50% i 95%, przyleganie tonera, wilgotność papieru, skurcz papieru (t = 160°C, czas 30 s) oraz parametry jakościowe nadruku: gęstość optyczna nadruku apli (K), kontrast druku, rozdzielczość, szerokość linii poziomych i pionowych, rozmycie linii poziomych i pionowych, strzępiastość linii poziomych i pionowych, mottling, ziarnistość, rozpiętość barwy.

Wyznaczono wartości współczynników, potrzebne do obliczenia prognozowanych poszczególnych parametrów jakościowych nadruku i dla każdego parametru nadruku uzyskano równanie predykcji. Wysoką zdolność przewidywania modelu "Elektrofotografia-Sumaryczna" potwierdzają wykresy (rys. 2.32-2.37), przedstawiające zależności wartości parametrów nadruku zmierzonych i obliczonych. Uzyskana wysoka korelacja pomiędzy wartościami parametrów nadruku zmierzonych i obliczonych potwierdza prawidłowy charakter uzyskanych równań predykcji. Poniżej zamieszczono równania predykcji oraz wykresy zależności wartości parametrów nadruku zmierzonych i obliczonych (rys. 2.32-2.37).

Gęstość optyczna

= $0,134 - 7,779 \cdot 10^{-5} \cdot Przenikalność powietrza - 7,912 \cdot 10^{-4} \cdot Gładkośc wg$ $Bekka - 7,743 \cdot 10^{-5} \cdot Przyleganie tonera + 1,577 \cdot 10^{-4} \cdot Zawartość wilgoci 0,027 \cdot Gładkość wg Bendtsena + 4,078 \cdot 10^{-3} Sztywność cd - 7,851 \cdot 10^{-3} \cdot Skurcz papieru - 3,062 \cdot 10^{-3} \cdot Płaskie leżenie (W = 50%) - 1,627 \cdot 10^{-3} \cdot Rezy$ $stywność powierzchniowa + 0,107 \cdot Płaskie leżenie (W = 95%) + 2,276 \cdot 10^{-3} \cdot Sztywność (md) - 0,081 \cdot Rezystywność skrośna - 9,578 \cdot 10^{-3} \cdot Współczynnik$ $tarcia - 8,027 \cdot 10^{-3} \cdot Gramatura + 1,824 \cdot Płaskie leżenie (W = 30%) - 0,019 \cdot Grubość - 0,281 \cdot Cobb_{60}$

Kontrast druku

= $17,865 - 2,791 \cdot 10^{-3} \cdot Przenikalność powietrza + 0,023 \cdot Głądkośc wg Bekka - 1,675 \cdot 10^{-3} \cdot Przyleganie tonera - 4,712 \cdot 10^{-3} \cdot Zawartość wilgoci - 0,012 \cdot Gładkość wg Bendtsena + 0,261 \cdot Sztywność cd - 2,921 \cdot Skurcz papieru + 0,102 \cdot Płaskie leżenie (W = 50%) + 0,148 \cdot Rezystywność powierzchniowa + 26,468 \cdot Płaskie leżenie (W = 95%) + 0,127 \cdot Sztywność md - 1,883 \cdot Rezystywność skrośna - 1,119 \cdot Współczynnik tarcia - 0,173 \cdot Gramatura + 6,642 \cdot Płaskie leżenie (W = 30%) - 2,520 \cdot Grubość - 18,622 \cdot Cobb_{50}$



Rys. 2.32. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – gęstość optyczna nadruku apli (K); b – kontrast druku Źródło: opracowanie własne.

Rozdzielczość

= 742,820 + 3,084 \cdot 10⁻³ · Przenikalność powietrza + 3,467 \cdot 10⁻³ · Gładkość wg Bekka + 4,652 \cdot 10⁻³ · Przyleganie tonera + 6,785 \cdot 10⁻³ · Zawartość wilgoci + 0,151 · Gładkość wg Bendtsena - 0,678 · Sztywność cd + 1,244 · Skurcz papieru + 0,018 · Płaskie leżenie (W = 50%) + 0,049 · Rezystywnośc powierzchniowa - 36 · Płaskie leżenie (W = 95%) + 0,072 · Sztywnośc md + 1,588 · Rezystywność skrośna + 1,736 · Wspólczynnik tarcia + 0,184 · Gramatura - 45,630 · Płaskie leżenie (W = 30%) - 0,047 · Grubość + 7,458 · Cobb₆₀

Szerokość linii poziomych

= 77,019-0,011 · Przenikalność powietrza – 0,026 · Gładkość wg Bekka + 8,695 · 10^{-3} · Przyleganie tonera + 3,587 · 10^{-3} · Zawartość wilgoci - 1,499 · Gładkość wg Bendtsena – 0,552 · Sztywność cd – 0,497 · Skurcz papieru – 0,214 · Płaskie leżenie (W = 50%) + 0,045 · Rezystywność powierzchniowa + 0,693 · Płaskie leżenie (W = 95%) + 0,195 · Sztywność md – 3,364 · Rezystywność skrośna + 5,295 · Wspólczynnik tarcia + 0,661 · Gramatura + 80,057 · Płaskie leżenie (W = 30%) – 0,740 · Grubość-15,129 · Cobb₅₀



Rys. 2.33. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – rozdzielczość; b – szerokość linii poziomej Źródło: opracowanie własne.

Szerokość linii pionowych

= $207,985 - 7,890 \cdot 10^3 \cdot Przenikalność powietrza + 0,095 \cdot Gładkość wg Bekka - 2,842 \cdot 10^4 \cdot Przyleganie tonera - 9,313 \cdot 10^3 \cdot Zawartość wilgoci - 0,443 \cdot Gładkość wg Bendtsena - 0,235 \cdot Sztywność cd - 10,618 \cdot Skurcz papieru + 0,277 \cdot Płaskie leżenie (W = 50%) + 0,563 \cdot Rezystywność powierzchniowa + 90,594 \cdot Płaskie leżenie (W = 95%) + 0,394 \cdot Sztywność md - 0,481 \cdot Rezystywność skrośna - 0,149 \cdot Wspólczynnik tarcia - 0,042 \cdot Gramatura - 81,493 \cdot Płaskie leżenie (W = 30%) - 7,857 \cdot Grubość - 90,124 \cdot Cobb_{co}$

Rozmycie linii poziomych

= $347,788 + 0,029 \cdot Przenikalność powietrza + 0,138 \cdot Gładkość wg Bekka + 0,021 \cdot Przyleganie tonera - 3,089 \cdot 10⁻³ \cdot Zawartość wilgoci + 2,483 \cdot Gładkość wg Bendtsena - 1,688 \cdot Sztywność cd + 1,782 \cdot Skurcz papieru + 0,348 \cdot Płaskie leżenie (W = 50%) + 0,443 \cdot Rezystywność powierzchniowa - 57,523 \cdot Płaskie leżenie (W = 95%) + 0,769 \cdot Sztywność md + 5,855 \cdot Rezystywność skrośna + 6,185 \cdot Wspólczynnik tarcia - 1,231 \cdot Gramatura - 272,21 \cdot Płaskie leżenie (W = 30%) - 4,065 \cdot Grubość + 54,274 \cdot Cobb_{60}$



Rys. 2.34. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – szerokość linii pionowej; b – rozmycie linii poziomej Źródło: opracowanie własne.

Rozmycie linii pionowych

= $370,256 + 0,019 \cdot Przenikalność powietrza + 0,112 \cdot Gładkość wg Bekka + 0,024 \cdot Przyleganie tonera + 7,162 \cdot 10^3 \cdot Zawartość wilgoci + 0,813 \cdot Gład$ $kość wg Bendtsena - 2,624 \cdot Sztywność cd + 0,088 \cdot Skurcz papieru + 0,126 · Płaskie leżenie (W = 50%) + 0,403 \cdot Rezystywność powierzchniowa - 49,189 · Płaskie leżenie (W = 95%) + 0,587 \cdot Sztywność md + 4,461 \cdot Rezystywność skrośna + 8,443 \cdot Wspólczynnik tarcia + 0,972 \cdot Gramatura - 294,931 \cdot Pła$ $skie leżenie (W = 30%) - 2,222 \cdot Grubość - 4,470 \cdot Cobb₅₀$

Strzępiastość linii poziomych

= $370,256 + 0,019 \cdot Przenikalność powietrza + 0,112 \cdot Gładkość wg Bekka + 0,024 \cdot Przyleganie tonera + 7,162 \cdot 10^3 \cdot Zawartość wilgoci + 0,813 \cdot Gładkość wg Bendtsena - 2,624 \cdot Sztywność cd + 0,088 \cdot Skurcz papieru + 0,126 \cdot Płaskie leżenie (W = 50%) + 0,403 \cdot Rezystywność powierzchniowa - 49,189 \cdot Płaskie leżenie (W = 95%) + 0,587 \cdot Sztywność md + 4,461 \cdot Rezystywność skrośna + 8,443 \cdot Wspólczynnik tarcia + 0,972 \cdot Gramatura - 294,931 \cdot Płaskie leżenie (W = 30%) - 2,222 \cdot Grubość - 4,470 \cdot Cobb_{60}$



Rys. 2.35. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – rozmycie linii pionowej; b – strzępiastość linii poziomej Źródło: opracowanie własne.

Strzępiastość linii pionowych

= $-3,308 - 3,454 \cdot 10^4 \cdot Przenikalność powietrza -7,30 \cdot 10^3 \cdot Gładkość wg$ Bekka - 2,558 $\cdot 10^3 \cdot Przyleganie tonera - 1,117 \cdot 10^3 \cdot Zawartość wilgoci + 0,116 \cdot Gładkość wg Bendtsena + 0,276 \cdot Sztywność cd + 0,22 \cdot Skurcz papieru - 5,227 \cdot 10^4 \cdot Płaskie leżenie (W = 50%) - 0,051 \cdot Rezystywność powierzchniowa - 1,538 \cdot Płaskie leżenie (W = 95%) - 0,038 \cdot Sztywność md - 0,294 \cdot Rezystywność skrośna - 1,204 \cdot Wspólczynnik tarcia - 0,187 \cdot Gramatura + 19,462 \cdot Płaskie leżenie (W = 30%) + 0,032 \cdot Grubość + 3,508 \cdot Cobb_{60}$

Mottling

= 2,293 + 2,007 \cdot 10⁻⁴ \cdot Przenikalność powietrza + 5,343 \cdot 10⁻⁴ \cdot Gładkość wg Bekka + 7,037 \cdot 10⁻⁵ \cdot Przyleganie tonera + 4,933 \cdot 10⁻⁵ \cdot Zawartość wilgoci + 0,013 \cdot Gładkość wg Bendtsena – 0,009 \cdot Sztywność cd + 0,025 \cdot Skurcz papieru + 1,57 \cdot 10⁻³ \cdot Płaskie leżenie(W = 50%) + 8,253 \cdot 10⁻⁴ \cdot Rezystywność powierzchniowa – 0,545 \cdot Płaskie leżenie (W = 95%) – 4,321 \cdot 10⁻⁴ \cdot Sztywność md + 0,052 \cdot Rezystywność skrośna + 0,011 \cdot Wspólczynnik tarcia + 5,672 \cdot 10⁻³ \cdot Gramatura – 1,81 \cdot Płaskie leżenie (W = 30%) + 0,009 \cdot Grubość + 0,136 \cdot Cobb₅₀



Rys. 2.36. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – strzępiastość; b – mottling Źródło: opracowanie własne.

Ziarnistość

= 4,601 + 4,016 · 10⁻⁴ · Przenikalność powietrza + 0,001 · Gładkość wg Bekka+1,797 · 10⁻⁴ · Przyleganie tonera + 1,381 · 10⁻⁴ · Zawartość wilgoci + 0,030 · Gładkość wg Bendtsena – 0,023 · Sztywność cd + 0,065 · Skurcz papieru + 4,182 · 10⁻³ · Płaskie leżenie(W = 50%) + 2,775 · 10⁻³ · Rezystywność powierzchniowa – 1,144 · Płaskie leżenie (W = 95%) – 1,721 · 10⁻³ · Sztywność md) + 0,132 · Rezystywność skrośna + 0,043 · Wspólczynnik tarcia + 0,012 · Gramatura – 3,878 · Płaskie leżenie (W = 30%) + 0,038 · Grubość + 0,52 · Cobb₆₀

Rozpiętośc barw

= $-10176,9-0,282 \cdot Przenikalność powietrza - 8,811 \cdot Gładkość wg Bekka - 1,330 \cdot Przyleganie tonera + 0,553 \cdot Zawartość wilgoci - 194,311 \cdot Gładkość wg Bendtsena + 155,319 \cdot Sztywność cd + 126,402 \cdot Skurcz papieru - 28,071 \cdot Płaskie leżenie(W = 50%) - 33,685 \cdot Rezystywność powierzchniowa + 1813,570 \cdot Płaskie leżenie (W = 95%)-10,491 \cdot Sztywność md) - 855,785 \cdot Rezystywność skrośna - 397,8672 \cdot Wspólczynnik tarcia - 85,07 \cdot Gramatura + 23521,3 \cdot Płaskie leżenie (W = 30%)+32,1426 \cdot Grubość - 514,121 \cdot Cobb_{60}$



Rys. 2.37. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – ziarnistość; b – rozpiętość barw Źródło: opracowanie własne.

Utworzony model "Elektrofotografia-Sumaryczna" z bardzo dużym prawdopodobieństwem umożliwia przewidywanie poszczególnych parametrów jakości odbitki elektrofotograficznej. Znając podstawowe właściwości podłoża i posługując się uzyskanymi równaniami predykcji można prognozować jakość nadruku na szerokiej gamie podłoży papierowych w drukowaniu elektrofotograficznym.

2.4.3. Prognozowanie parametrów jakości odbitek w drukowaniu natryskowym

2.4.3.1. Prognozowanie parametrów jakości odbitek w drukowaniu natryskowym atramentem barwnikowym

Na podstawie wyników badań i dokonanych obliczeń (rozdział 2.2.3, 2.2.4 i 2.3.3) dla modelu "Ink-jet Sumaryczna CMY" ustalono wartości współczynników do równań, określających prognozowane wartości parametrów jakościowych nadruku. Uwzględniono następujące parametry podłoża: gramatura, grubość, gładkość wg Bendtsena, przenikalność powietrza, sztywność md i cd, czas osiągnięcia max penetracji (T_{max}), czas spadku intensywności penetracji do 95% (T_{95}), algorytm nawilżania (W), M Index , rel. Variance, Cobb₆₀, wydłużenie papieru przy t = 10 s i t = 30 s oraz parametry jakościowe nadruku: prześwitywanie nadruku (średnia wartość z C, M, Y), gęstość optyczna nadruku apli (średnia wartość z C, M, Y), przyrost rastrowej wartości tonalnej na polu 50% (średnia wartość z C, M, Y), kontrast druku(średnia wartość z C, M, Y), mottling (średnia wartość z C, M, Y), ziarnistość (średnia wartość z C, M, Y), rozpiętość barwy, stabilność nadruku delta E, szerokość linii C 0,25 pt., rozmycie linii C 0,25 pt., strzępiastość linii C 0,25 pt.

Wyznaczone wartości współczynników, potrzebne do obliczenia prognozowanych, poszczególnych parametrów jakościowych nadruku uwzględniono w przedstawionych poniżej równaniach predykcji. Uzyskano również wysoką korelację pomiędzy wartościami parametrów jakości nadruku zmierzonych i obliczonych (rys. 2.38-2-42), co potwierdza prawidłowy charakter uzyskanych równań predykcji.

Prześwitywanie nadruku (CMY)

 $= 0,088 - 9,088 \cdot 10^{-5} \cdot Gramatura - 1,505 \cdot 10^{-4} \cdot Grubość + 2,683 \cdot 10^{-5} \cdot Gład$ $kość wg Bendtsena - 0,004 \cdot Przenikalność powietrza + 9,265 \cdot 10^{-5} Sztywność$ $cd - 1,651 \cdot 10^{-3} \cdot Sztywność md-9,950 \cdot 10^{-4}) \cdot T_{max} - 8,424 \cdot 10^{-3}) \cdot T_{95} + 0,003$ $\cdot W - 0,129 \cdot Mottle Index + 0,026 \cdot Rel. Variance + 0,026 \cdot Cobb_{60} + 0,015 \cdot Wydłużenie (10 s) + 0,008 \cdot Wydłużenie (30 s)$

Gęstość optyczna (CMY)

 $= 0,647 - 4,920 \cdot 10^{-4} \cdot Gramatura + 1,317 \cdot 10^{-3} \cdot Grubość - 9,774 \cdot 10^{-5} \cdot Gład$ $kość wg Bendtsena - 5,074 \cdot 10^{-3} \cdot Przenikalność powietrza - 0,056 \cdot Sztywność$ $\begin{array}{l} cd + 0,051 \cdot Sztywność md + 0,013 \cdot T_{max} + 0,072 \cdot T_{95} - 0,107 \cdot W + 1,45 \cdot Mottle Index - 0,304 \cdot Rel. Variance - 0,304 \cdot Cobb_{60} - 0,053 \cdot Wydłużenie(10 s) - 1,589 \cdot 10^3 \cdot Wydłużenie (30 s) \end{array}$



Rys. 2.38. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku (ink-jet CMY): a – prześwitywanie nadruku; b – rozpiętość barw Źródło: opracowanie własne.

Przyrost rastrowej wartości tonalnej (CMY)

 $= 44,391 + 0,061 \cdot Gramatura - 0,133 \cdot Grubość + 1,672 \cdot 10^{-3} \cdot Gładkość wg Bendtsena - 1,066 \cdot Przenikalność powietrza + 2,069 \cdot Sztywność cd - 1,441 \cdot Sztywność md + 0,369 \cdot T_{max} - 3,365 \cdot T_{95} + 1,116 \cdot W - 80,487 \cdot Mottle Index + 17,255 \cdot Rel. Variance + 17,255 \cdot Cobb_{60} - 0,337 (10 s) + 1,053 \cdot Wydłużenie (30 s)$

Kontrast druku (CMY)

 $= -4,870-0,096 \cdot Gramatura + 0,197 \cdot Grubość - 4,204 \cdot 10^{-4}) \cdot Gładkość wg$ Bendtsena + 0,35 · Przenikalność powietrza - 3,178 · Sztywność cd + 1,825 · Sztywność md + 0,557 · T_{max} + 4,257 · T₉₅ - 2,679 · W + 101,607 · Mottle Index - 29,351 · Rel. Variance - 29,351 · Cobb₆₀ + 1,098 · Wydłużenie (10 s) - 1,102 · Wydłużenie (30 s)



Rys. 2.39. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku (ink-jet CMY): a – przyrost rastrowej wartości tonalnej; b – kontrast druku Źródło: opracowanie własne.

Ziarnistość (CMY)

 $= -0,078 + 3,641 \cdot 10^{-3} \cdot Gramatura + 1,776 \cdot 10^{-3} \cdot Grubość + 7,042 \cdot 10^{-4} \cdot Gładkość wg Bendtsena + 3,581 \cdot 10^{-3} \cdot Przenikalność powietrza - 0,028 \cdot Sztywność cd - 0,115 \cdot Sztywność md + 0,055 \cdot T_{max} + 0,034 \cdot T_{95} + 0,293 \cdot W + 7,178 \cdot Mottle Index - 1,9 \cdot Rel. Variance - 1,9 \cdot Cobb_{60} + 2,417 \cdot Wydłużenie (10 s) - 0,408 \cdot Wydłużenie (30 s)$

Mottling (CMY)

 $= 0,445 - 1,713 \cdot 10^{-3} \cdot Gramatura + 2,963 \cdot 10^{-3} \cdot Grubość + 6,509 \cdot 10^{-4} \cdot Gład$ $kość wg Bendtsena + 0,017 \cdot Przenikalność powietrza - 0,016 \cdot Sztywność cd$ $- 0,020 \cdot Sztywność md - 8,989 \cdot 10^{-3} \cdot T_{max} + 0,071 \cdot T_{95} + 0,085 \cdot W + 2,058$ $\cdot Mottle Index - 1,242 \cdot Rel. Variance - 1,242 \cdot Cobb_{60} + 0,566 \cdot Wydłużenie$ $(10 s) - 0,369 \cdot Wydłużenie (30 s)$



Rys. 2.40. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami jednorodności nadruku (ink-jet CMY): a – ziarnistość; b – mottling Źródło: opracowanie własne.

Rozpiętość barw

 $= -1322, 1 - 44,322 \cdot Gramatura + 82,804 \cdot Grubość + 0,173 \cdot Gładkość wg Bendtsena - 47,105 \cdot Przenikalność powietrza - 1191,92 \cdot Sztywność cd + 896,178 \cdot Sztywność md + 150,754 \cdot T_{max} + 1842,14 \cdot T_{95} - 1369,5 \cdot W + 31358,3 \cdot Mottle Index - 11526,2 \cdot Rel. Variance - 11526,2 \cdot Cobb_{60} - 1091,58 \cdot Wydłużenie (10 s) - 65,559 \cdot Wydłużenie (30 s)$

Stabilność nadruku

 $= 0,554 + 0,001 \cdot Gramatura - 0,006 \cdot Grubość + 7,294 \cdot 10^{-4}) \cdot Gładkość wg Bendtsena - 7,996 \cdot 10^{-3} \cdot Przenikalność powietrza - 0,155 \cdot Sztywność cd + 0,648 \cdot Sztywność md + 0,031 \cdot T_{max} + 0,151 \cdot T_{95} - 0,041 \cdot W + 2,964 \cdot Mottle Index - 1,172 \cdot Rel. Variance - 1,172 \cdot Cobb_{60} + 0,597 \cdot Wydłużenie (10 s) - 0,186 \cdot Wydłużenie (30 s)$



Rys. 2.41. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami (ink-jet CMY): a – rozpiętość barw; b – stabilność nadruku (ΔΕ) Źródło: opracowanie własne.

Szerokość linii(C)

 $= 158,452 + 0,281 \cdot Gramatura-0,456 \cdot Grubość - 0,012 \cdot Gładkość wg$ $Bendtsena - 0,763 \cdot Przenikalność powietrza + 7,606 \cdot Sztywność cd - 8,995$ $\cdot Sztywność md - 0,705 \cdot T_{max} - 15,128 \cdot T95 - 1,695 \cdot W - 225,137 \cdot Mottle$ $Index + 86,648 \cdot Rel.Variance + 86,648 \cdot Cobb_{60} - 9,308 \cdot Wydłużenie (10 s)$ $+ 4,468 \cdot Wydłużenie (30 s)$

Rozmycie linii(C)

 $= 156,257 + 0,379 \cdot Gramatura - 0,594 \cdot Grubość - 5,437 \cdot 10^{-3}) \cdot Gładkość wg$ Bendtsena - 0,241 · Przenikalność powietrza + 5,097 · Sztywność cd - 5,074 · Sztywność md + 1,386 · T_{max} - 19,072 · T₉₅ - 3,961 · W - 157,006 · Mottle Index + 100,197 · Rel. Variance+100,197 · Cobb₆₀ - 1,775 · Wydłużenie (10 s) + 0,989 · Wydłużenie (30 s)

Strzępiastość linii (C)

 $= 18,536 + 0,021 \cdot Gramatura - 0,041 \cdot Grubość + 9,729 \cdot 10^{4} \cdot Gładkość wg$ $Bendtsena - 0,646 \cdot Przenikalność powietrza + 1,149 \cdot Sztywność cd - 1,45 \cdot Sztywność md - 0,151 \cdot T_{max} - 3,091 \cdot T_{95} + 1,038 \cdot W - 41,116 \cdot Mottle Index + 13,189 \cdot Rel.Variance + 113,189 \cdot Cobb_{60} + 0,619 \cdot Wydłużenie (10 s) + 1,878 \cdot Wydłużenie (30 s)$



Rys. 2.42. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami (ink-jet CMY): a – szerokość linii; b – rozmycie linii; c – strzępiastość linii Źródło: opracowanie własne.

2.4.3.2. Prognozowanie parametrów jakości odbitek w drukowaniu natryskowym atramentem pigmentowym

Na podstawie wyników badań i dokonanych obliczeń (rozdział 2.2.3, 2.2.4 i 2.3.3) dla modelu "Ink-jet Sumaryczna K" ustalono wartości współczynników do równań, określających prognozowane wartości parametrów jakościowych nadruku. Uwzględniono następujące parametry podłoża: gramatura, grubość, gładkość wg Bendtsena, przenikalność powietrza, sztywność md i cd, czas osiągnięcia max penetracji (T_{max}), czas spadku intensywności penetracji do 95% (T_{95}), algorytm nawilżania (W), M Index , rel. Variance, Cobb₆₀, wydłużenie papieru przy t = 10 s i t = 30 s oraz parametry jakościowe nadruku: prześwitywanie nadruku (K), gęstość optyczna nadruku apli (K), przyrost rastrowej wartości tonalnej na polu 50% (K), kontrast druku (K), mottling (K), ziarnistość (K), szerokość linii K 0,25 pt., rozmycie linii K 0,25 pt., strzępiastość linii K 0,25 pt.

Wyznaczone wartości współczynników, potrzebne do obliczenia prognozowanych, poszczególnych parametrów jakościowych nadruku uwzględniono w przedstawionych poniżej równaniach predykcji. Uzyskano również wysoką korelację pomiędzy wartościami parametrów jakości nadruku zmierzonych i obliczonych (rys. 2.43-2-46), co potwierdza prawidłowy charakter uzyskanych równań predykcji.

Prześwitywanie nadruku (K)

 $= 0,044-2,777 \cdot 10^{-5} \cdot Gramatura-9,295 \cdot 10^{-5} \cdot Grubość + 9,278 \cdot 10^{-6} \cdot Gładkość wg Bendtsena-3,893 \cdot 10^{-3} \cdot Przenikalność powietrza + 4,756 \cdot 10^{-4} \cdot Sztywność cd-3,275 \cdot 10^{-3} \cdot Sztywność md-5,276 \cdot 10^{-4} \cdot T_{max} - 3,839 \cdot 10^{-3} \cdot T_{95} + 5,441 \cdot 10^{-3} \cdot W-0,092 \cdot Mottle Index + 0,045 \cdot Rel. Variance + 0,045 \cdot Cobb_{60} + 0,016 \cdot Wydłużenie (10 s) + 0,016 \cdot Wydłużenie (30 s)$

Gęstość optyczna (K)

 $= -0,175 + 1,028 \cdot 10^{3} \cdot Gramatura + 3,564 \cdot 10^{3} \cdot Grubość-7,308 \cdot 10^{5} \cdot Gładkość wg Bendtsena + 0,036 \cdot Przenikalność powietrza - 0,170 \cdot Sztywność cd-0,111 \cdot Sztywność md + 0,011 \cdot T_{max} + 0,775 \cdot T_{95} - 0,93 \cdot W + 7,368 \cdot Mottle Index-1,448 \cdot Rel. Variance-1,448 \cdot Cobb_{60} - 0,033 \cdot Wydłużenie (10 s) - 0,198 \cdot Wydłużenie (30 s)$



Rys. 2.43. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku (ink-jet, K): a – prześwitywanie nadruku; b – rozpiętość barw Źródło: opracowanie własne.

Przyrost punktu (K)

 $= 23,143 + 0,013 \cdot Gramatura + 0,023 \cdot Grubość - 1,471 \cdot 10^{-3} \cdot Gładkość wg$ $Bendtsena - 1,026 \cdot Przenikalność powietrza + 1,116 \cdot Sztywność cd - 1,297 \cdot$ $Sztywność md + 0,118 \cdot T_{max} - 7,946 \cdot T95 + 3,698 \cdot W - 34,072 \cdot Mottle Index$ $+ 5,033 \cdot Rel. Variance + 5,033 \cdot Cobb_{60} + 1,723 \cdot Wydłużenie (10 s) + 1,102$ $\cdot Wydłużenie (30 s)$

Kontrast druku (K)

 $= -4,054 + 4,871 \cdot 10^{-3} \cdot Gramatura + 0,041 \cdot Grubość + 0,004 \cdot Gładkość wg Bendtsena + 1,407 \cdot Przenikalność powietrza - 3,519 \cdot Sztywność cd - 0,76 \cdot Sztywność md + 0,119 \cdot T_{max} + 19,25 \cdot T_{95} - 18,441 \cdot W + 139,671 \cdot Mottle Index - 26,442 \cdot Rel. Variance - 26,442 \cdot Cobb_{60} + 2,115 \cdot Wydłużenie (10 s) - 2,568 \cdot Wydłużenie (30 s)$



Rys. 2.44. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku (ink-jet, K): a – przyrost rastrowej wartości tonalnej; b – kontrast druku Źródło: opracowanie własne.

Ziarnistość (K)

 $= 0,275 + 1,072 \cdot 10^{-3} \cdot Gramatura + 1,315 \cdot 10^{-3} \cdot Grubość - 1,962 \cdot 10^{-4}) \cdot Gładkość wg Bendtsena - 0,05 \cdot Przenikalność powietrza + 0,23 \cdot Sztywność cd + 9,774 \cdot 10^{-3} \cdot Sztywność md + 0,25 \cdot T_{max} - 0,223 \cdot T_{95} - 0,24 \cdot W - 0,685 \cdot Mottle Index + 1,322 \cdot Rel. Variance + 1,322 \cdot Cobb_{60} + 0,105 \cdot Wydłużenie (10 s) + 0,351 \cdot Wydłużenie (30 s)$

Mottling (K)

 $= 0,743 + 2,249 \cdot 10^{-4} \cdot Gramatura + 3,89 \cdot 10^{-4} \cdot Grubość + 6,919 \cdot 10^{-6} \cdot Gładkość wg Bendtsena - 0,023 \cdot Przenikalność powietrza + 0,51 \cdot Sztywność cd - 0,013 \cdot Sztywność md + 6,6432 \cdot 10^{-3} \cdot T_{max} - 0,319 \cdot T_{95} + 0,086 \cdot W - 1,809 \cdot Mottle Index + 0,522 \cdot Rel. Variance + 0,522 \cdot Cobb_{60} + 0,045 \cdot Wydłużenie (10 s) + 0,078 \cdot Wydłużenie (30 s)$



Rys. 2.45. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami jednorodności nadruku (ink-jet, K): a – ziarnistość; b – mottling Źródło: opracowanie własne.

Szerokość linii (K)

 $= 125,237 + 5,582 \cdot 10^{-3} \cdot Gramatura - 0,052 \cdot Grubość - 0,015 \cdot Gładkość wg$ $Bendtsena -- 2,413 \cdot Przenikalność powietrza + 4,114 \cdot Sztywność cd + 1,005$ $\cdot Sztywność md - 0,155 \cdot T_{max} - 21,776 \cdot T_{95} + 10,553 \cdot W - 167,924 \cdot Mottle$ $Index + 44,993 \cdot Rel. Variance + 44,993 \cdot Cobb_{60} - 1,537 \cdot Wydłużenie (10 s)$ $+ 10,063 \cdot Wydłużenie (30 s)$

Rozmycie linii (K)

 $= 88,051 + 0,022 \cdot Gramatura + 0,024 \cdot Grubość - 0,021 \cdot Gładkość wg Bendt$ $sena + 0,285 \cdot Przenikalność powietrza + 1,191 \cdot Sztywność cd + 1,874 \cdot$ $Sztywność md + 2,19 \cdot T_{max} - 20,821 \cdot T_{95} + 6,597 \cdot W - 55,262 \cdot Mottle Index$ $+ 30,311 \cdot Rel. Variance + 30,311 \cdot Cobb_{60} - 2,905 \cdot Wydłużenie (10 s) + 9,076$ $\cdot Wydłużenie (30 s)$

Strzępiastość linii (K)

 $= 18,657 - 2,772 \cdot 10^{-3} \cdot Gramatura - 0,017 \cdot Grubość - 2,485 \cdot 10^{-3} \cdot Gładkość wg Bendtsena - 0,408 \cdot Przenikalność powietrza + 1,284 \cdot Sztywność cd + 0,457 \cdot Sztywność md - 0,031 \cdot T_{max} - 6,511 \cdot T_{95} + 4,706 \cdot W - 49,95 \cdot Mottle Index + 14,353 \cdot Rel. Variance + 14,353 \cdot Cobb_{60} + 0,541 \cdot Wydłużenie (10 s) + 2,673 \cdot Wydłużenie (30 s)$



Rys. 2.46. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami (ink-jet CMY): a – szerokość linii; b – rozmycie linii; c – strzępiastość linii Źródło: opracowanie własne.

Podsumowanie rozdziału 2.4

Na podstawie wyników badań i dokonanych obliczeń dla utworzonych modeli matematycznych "Elektrofotografia-Sumaryczna", "Elektrofotografia-Gładkość", "Ink-jet Sumaryczna CMY", "Ink-jet Sumaryczna K" ustalono wartości współczynników dla równań liniowych, na podstawie których można określać prognozowane poszczególne wartości parametrów jakościowych nadruku.

$$Y_{1} = B_{0} + B_{1} \cdot X_{1} + B_{2} \cdot X_{2} + B_{3} \cdot X_{3} + B_{4} \cdot X_{4} + \dots + B_{n} \cdot X_{n}$$

gdzie: Y_i – rodzaj parametru jakościowego nadruku,

- $\mathbf{B}_{_{0}}~$ stała równania dla danego parametru jakościowego nadruku,
- B współczynnik dla danej właściwości podłoża,
- X wartość właściwości podłoża.

Dla modelu "Elektrofotografia-Sumaryczna" ustalono wartości współczynników do dwunastu równań, określających prognozowane wartości parametrów jakościowych nadruku (gęstość optyczna, kontrast druku, rozdzielczość, szerokość linii poziomych dwupikselowych, strzępiastość linii poziomych, szerokość linii pionowych dwupikselowych, strzępiastość linii pionowych, rozmycie linii pionowych, mottling, ziarnistość, rozpiętość barw).

Dla modelu "Elektrofotografia-Gładkość" określono współczynniki dla siedmiu parametrów jakości nadruku (rozdzielczość, szerokość linii pionowych dwupikselowych, szerokość linii poziomych dwupikselowych, strzępiastość linii pionowych, strzępiastość linii poziomych, rozmycie linii pionowych, rozmycie linii poziomych).

Dla modelu "Ink-jet Sumaryczna CMY" ustalono wartości współczynników do jedenastu równań, określających prognozowane wartości parametrów jakościowych nadruku (prześwitywanie nadruku (średnia wartość z C, M, Y), gęstość optyczna nadruku apli (średnia wartość z C, M, Y), przyrost rastrowej wartości tonalnej na polu 50% (średnia wartość z C, M,Y), kontrast druku (średnia wartość z C, M,Y), mottling (średnia wartość z C, M,Y), ziarnistość (średnia wartość z C, M,Y), rozpiętość barwy, stabilność nadruku delta E, szerokość linii C 0,25 pt., rozmycie linii C 0,25 pt., strzępiastość linii C 0,25 pt.).

Dla modelu "Ink-jet Sumaryczna K" ustalono wartości współczynników do dziewięciu równań, określających prognozowane wartości parametrów jakościowych nadruku (prześwitywanie nadruku (K), gęstość optyczna nadruku apli (K), przyrost rastrowej wartości tonalnej na polu 50% (K), kontrast druku (K), mottling (K), ziarnistość (K), szerokość linii K 0,25 pt., rozmycie linii K 0,25 pt., strzępiastość linii K 0,25 pt.).

Możliwość prognozowania wszystkich parametrów jakości odbitek cyfrowych jest bardzo ważna, a w szczególności możliwość prognozowania parametrów jakościowych nadruku linii. Linia jest podstawowym elementem, z którego jest zbudowany kod kreskowy, który obecnie stanowi ważny element logistyczny takich produktów poligraficznych jak etykiety czy opakowania. Z tego powodu możliwość przewidywania jakości nadruku kodu kreskowego na różnych rodzajach podłoży papierowych może zapobiegać produkcji nie spełniającej wymogi konsumentów i norm ISO.

2.5. Optymalizacja jakości nadruku za pomocą powłok przyjmujących farbę w drukowaniu natryskowym

Od momentu pojawienia się drukowania cyfrowego jakość odbitek cyfrowych porównywano z jakością odbitek offsetowych. Wśród klasycznych technik drukowania niepisanym standardem jakości jest właśnie technika drukowania offsetowego. W początkowym okresie odbitki cyfrowe, przede wszystkim elektrofotograficzne, bo właśnie ta technika rozwijała się jako pierwsza, nie dorównywały jakości nadruku offsetowego [1,50]. W miarę rozwoju i doskonalenia techniki drukowania cyfrowego jakość odbitek cyfrowych zwiększała się i obecnie można stwierdzić, że dorównała jakości druku offsetowego, a pod kątem wybranych parametrów jest nawet lepsza [122-124].

Na podstawie badań opisanych w rozdziale 2.2 oraz normy ISO 12647-2 [78] sporządzono wykresy umożliwiające porównanie wybranych parametrów jakości nadruku, wykonanych na badanych podłożach z użyciem różnego rodzaju środków barwiących, stosownych w trzech różnych technikach drukowania: cyfrowej elektrofotograficznej, cyfrowej natryskowej i offsetowej. W tym celu dokonano podziału podłoży na cztery grupy rodzajowe papieru: papiery niepowlekane gładzone maszynowo (papiery 1, 2, 3, 4), papiery powlekane błyszczące i matowe (papiery 5, 6, 7, 8), papiery satynowane (papiery 9, 10), papiery powlekane specjalne (do druku ink-jet 11, 12). Porównania jakości nadruku dokonano na podstawie pomiarów: gęstości optycznej nadruku apli oraz rozpiętości barwy. Wyniki zestawiono na rysunkach 2.47 i 2.48 oraz tabeli 2.18.

Z wyników badań wynika, że intensywność barwy nadruków zależy od użytego rodzaju podłoża oraz rodzaju użytej w danej technice drukowania farby (tonera, atramentu, farby offsetowej). Najwyższą intensywność (gęstość optyczną) oraz rozpiętość barwy nadruku można osiągnąć, niezależnie od zastosowanej techniki drukowania) na papierach powlekanych, w następnej kolejności papierach niepowlekanych satynowanych, a najniższą na papierach niepowlekanych gładzonych maszynowo.

Z rysunku 2.47a wynika, że w przypadku farby o kolorze czarnym największą intensywnością barwy charakteryzują się odbitki elektrofotograficzne (wykonane z użyciem suchego tonera). Natomiast dla odbitek natryskowych i offsetowych (z zastosowaniem czarnego atramentu i farby offsetowej) intensywność nadruków kształtuje się na zbliżonym poziomie, niższym od odbitek elektrofotograficznych o ok. 0,3 D dla papierów niepowlekanych i 0,4 dla papierów typu SC, natomiast w przypadku papierów powlekanych intensywność barwy dla odbitek ink-jet jest zbliżona do intensywności odbitek elektrofotograficznych, podczas gdy w przypadku odbitek offsetowych gęstość optyczna jest niższa o ok. 0,15 D. Na uwagę zasługuje bardzo wysoka intensywność nadruku odbitki ink-jet wykonanej na papierze powlekanym specjalnym dla druku natryskowego ("fotograficznym"), wynosząca aż 2.4 jednostki D.







a – na druk farba czarną (K); b – nadruk farbą kolorową (średnia wartość z CMY) Źródło: opracowanie własne.

W przypadku kolorowych farb (CMY) zdecydowanie największą intensywnością barwy charakteryzują się odbitki elektrofotograficzne, natomiast odbitki offsetowe, w odróżnieniu od druków czarnobiałych, wykazują nieco wyższą gęstość optyczną od odbitek natryskowych (rys. 2.47b). Różnice w gęstości optycznej między odbitkami elektrofotograficzną i offsetową wynoszą, w zależności od rodzaju papieru 0,3-0,4 D, natomiast między odbitkami offsetową i natryskową 0,05-0,4 D. Wysoką intensywność barwy, przy zastosowaniu drukowania natryskowego uzyskano jedynie dla odbitki wykonanej na papierze powlekanym specjalnym ("fotograficznym").

Wyniki dotyczące rozpiętości barw przedstawiono w tabeli 2.18 i rys. 2.48. Największą rozpiętość barwy uzyskuje się dla odbitek elektrofotograficznych, prawie dwukrotnie wyższą od odbitek natryskowych. Pośrednie wartości można uzyskać w przypadku odbitek offsetowych, przy czym największą różnicę w porównaniu z odbitkami elektrofotograficznymi wykazują odbitki uzyskane na papierze niepowlekanym, natomiast przy pozostałych rodzajach papierów różnica w rozpiętości barw wynosi około 10-15%. Rozpiętość barwy dla odbitek natryskowych, niezależnie od trzech podstawowych rodzajów papierów kształtuje się na zbliżonym niskim poziomie, natomiast na papierach specjalnych jest ona około dwukrotnie większa.

	Rozpiętość barw na odbitkach:				
Grupa podłoży zadrukowanych	Elektrofotograf cznych	Natryskowych	Offsetowych		
Papiery niepowlekane gładzone maszynowo	10899	6095	6839		
Papiery niepowlekane satynowane (SC)	12492	6583	11299		
Papiery powlekane błyszczące i matowe	14672	6489	12745		
Papiery powlekane specjalne (do druku Ink-jet)	-	13835	-		

Tabela 2.18. Powierzchnia sześciokąta reprezentującego rozpiętość barw odbitek

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.48. Powierzchnia sześciokąta reprezentującego rozpiętość barw odbitek Źródło: opracowanie własne.
Z przedstawionych powyżej wyników widać, że jakość nadruku we wszystkich trzech technikach drukowania w większym lub mniejszym stopniu jest uzależniona od rodzaju podłoża papierowego. Największe zróżnicowanie jakości i najgorszą jakość na podłożach niepowlekanych uzyskano dla techniki drukowania natryskowego.

Problem uzyskania wysokiego akceptowalnego poziomu jakości nadruków na różnych rodzajach podłoży w drukowaniu natryskowym jest bardzo aktualny i rozwiązuje się obecnie w różny sposób. Uniezależnienie jakości od rodzaju podłoża współcześni producenci maszyn i technologii druku natryskowego realizują za pomocą trzech sposobów:

- stosowanie specjalnych powłok (primerów) nanoszonych na papier przed zadrukiem in-line w maszynie drukującej. Primery mogą być nanoszone całopowierzchniowo, za pomocą zespołów druku fleksograficznego (na bazie cylindra anilox) lub wybiórczo (kropla pod kroplę) – za pomocą dodatkowej głowicy druku natryskowego (rys. 2.49) [15, 125-127],
- stosowanie specjalnych atramentów stałych, które w trakcie drukowania są stapiane i nanoszone w postaci ciekłej. Trafiając na podłoże, kropla atramentu krzepnie i nie penetruje w głąb porowatych podłoży, uzyskując tym samym intensywny nadruk [128-130],
- połączenie zastosowania specjalnych atramentów i pośredniego przenoszenia atramentu na podłoże w warunkach podwyższonej temperatury (za pomocą podgrzanego pasu transferowego) w przypadku nanografii powoduje przylepienie się atramentu do powierzchni podłoża i tym samym umożliwia osiągniecie dużej intensywności nadruku [131].



Rys. 2.49. Kolejność nanoszenia roztworu Ink Optimizer w procesie drukowania natryskowego Źródło: Technologia Plain Paper Optimized Printing™ od Canon https://www.orgprint.com/wiki/ strujnaja-pechat/optimizacija-strujnoj-pechati-Canon-Plain-Paper:

Wszystkie te rozwiązania mają na celu umożliwienie uzyskania wysokiej jakości nadruku na podłożach niepowlekanych i powlekanych.

Jak wykazują wyniki modelowania matematycznego procesu drukowania natryskowego (rozdział 2.3) w tej technice drukowania najbardziej istotnymi parametrami papieru mającymi wpływ na sumaryczną jakość nadruku miały parametry charakteryzujące współdziałanie powierzchni papieru z cieczą (wodą) oraz obecność powłoki na powierzchni papieru.

Uwzględniając ten fakt, kolejnym krokiem w badaniach była modyfikacja powierzchni papieru offsetowego za pomocą naniesienia na jego powierzchnię specjalnej powłoki pozwalającej na kontrolowany proces absorpcji cieczy/atramentu w drukowaniu natryskowym.

W tym celu specjalnie opracowano kompozycje mieszanek powlekających na bazie modyfikowanego poli(alkoholu winylowego) (Patent "Sposób obróbki papieru offsetowego przeznaczonego do drukowania natryskowego" [132]). Zastosowano kompleks interpolimerowy na bazie poli(alkoholu winylowego) (PVA) i poli(winylopirolidonu) (PVP) o masie cząsteczkowej 12000u± 2600 . Wykorzystano przemysłowo produkowany PVA o nazwie handlowej SUNDY PVA 088-20 firmy "Sinopec Sichuan Vinylon Works". Wodne roztwory o różnej zawartości kompleksu interpolimerowego PVA i PVP (10%, 12%, 14% i 16%) naniesiono w postaci powłoki na powierzchnię papieru. Grubość naniesionej powłoki wynosiła 5 µm. Dalej w pracy takie powłoki będą nazywane primerem na bazie (PVA+PVP). W badaniach wykorzystano papier niepowlekany (offsetowy) o gramaturze 80 g/m² oraz papier powlekany o gramaturze 170 g/m².

Najczęściej stosowanymi spoiwami w powłokach recepcyjnych papierów specjalnych przeznaczonych do drukowania natryskowego są poli(alkohol winylowy) i skrobia (kationowa). Obydwa te spoiwa charakteryzują się dobrą siłą wiązania. Te środki wiążące stosuje się je głównie do wiązania pigmentów w powłoce i zabezpieczenia dobrego zwilżanie podłoża. Jednakże środki wiążące stosowane w powłokach papierów przeznaczonych do drukowania natryskowego również mają duży wpływ na jakość druku [133-143] i oraz na zwiększenie gamutu barw [144-148], dzięki temu, że barwidło atramentu zatrzymuje się w warstwie wierzchniej powłoki (rys. 2.50).

Na papierach nie zawierających dodatkowej powłoki primera oraz z dodatkowo naniesioną powłoką primera o różnym stężeniu (PVA + PVP) wykonano odbitki testowe metodą druku natryskowego. Wydruki zostały wykonane na drukarce natryskowej Epson Stylus Photo 1410 drukującej z rozdzielczością 5760 × 1440 dpi w technologii zmiennej objętości kropli (najmniejsza objętość kropli 1,5 pl). Proces drukowania realizowano za pomocą atramentów wodnych Epson Claria Photographic Ink: kolor czarny – atrament pigmentowy, kolorowe atramenty– barwnikowe. Druk realizowano bez profili barwnych.



Rys. 2.50. Fotomikrografia przekroju powłok powlekających zadrukowanych wodorozcieńczalną farbą Magenta: a – podłoże niepowlekane; b – podłoże powlekane PAV Źródło: Svanholm E. Printability and Ink-Coating Interactions in Inkjet Printing. Dissertation. Karlstad University Studies 2007, s. 34.

Wpływ primera na zwilżanie. Na papierach niepowlekanych obecność powłoki primera o różnej zawartości kompleksu interpolimerowego (PVA+PVP) spowodowała lepsze zwilżanie powierzchni. Kąt zwilżania zmniejszył się z 90° (na papierze bez primera) do ok 70° (na papierach z primerem) na początkowym etapie zwilżania. W przypadku papieru powlekanego obecność primera nie miała tak istotnego wpływu na zmianę kąta zwilżania powierzchni (rys. 2.51).

Penetracja cieczy (wody) w głąb papieru. Obecność primera na papierach niepowlekanych miała decydujący wpływ na zmianę fazy nawilżania (tabela 2.19 i rys. 2.52). Papier offsetowy ze względu na to, że jest zaklejony w masie stwarza opór wnikaniu wody na pierwszym etapie nawilżania i faza nawilżania wynosi W = 0,78, a czas osiągnięcia maksimum intensywności wynosi ok. 0,6 s. Na papierach niepow-lekanych (offsetowych) z primerem faza nawilżania W = 0, a w momencie zanurzenia papieru do wody następuje natychmiastowe osiągniecie maksimum penetracji (t_{max}) i zmniejsza się czas spadku intensywności do poziomu 95% t_{may} (t_{os}).

Papier	Parametr, charakteryzujący proces penetracji	Bez	Primer na bazie (PVA+PVP) o stężeniu:			PVP)
Offsetowy 80g/m²		primera	10%	12%	14%	16%
	t ₉₅	1,24	0,63	0,36	0,34	5,69
	W	0,78	0	0	0	0
	Max	0,58	0,08	0,08	0,08	0,08
	A30	39,6	17,30	26,60	23,40	13,00
	A60	39,6	21,70	26,60	23,40	21,00
	t ₉₅	6,9	45,41	58,7	50,7	40,47
Powlekany 170 g/m²	W	0,31	106,3	129	191,4	175,9
	Max	2,24	30,00	40,30	35,20	29,70
	A30	14,5	5,20	5,20	5,20	5,20
	A60	23,7	8,70	6,00	7,70	11,40

Tabela 2.19. Parametry charakteryzujące proces penetracji wody w głąb papieru

Źródło: opracowanie własne.





W taki sposób obecność primera przyspiesza (polepsza) proces zwilżania powierzchni papieru co koreluje z badaniami kąta zwilżania powierzchni. W drugim etapie nawilżania zaobserwowano, że obecność primera zapobiega nadmiernemu wnikaniu cieczy w głąb struktury papieru o czym świadczą bardziej strome nachylenia krzywej i mniejsze o 50%-35% wartości parametrów A60 (odpowiednik Cobb₆₀).



Rys. 2.52. Krzywe dynamiki penetracji wody w głąb papieru offsetowego (80 g/m²) bez primera oraz z primerem: a – krzywe dynamiki penetracji w czasie 60 s; b – zwiększony fragment krzywych dynamiki penetracji w czasie 9,91 s Źródło: opracowanie własne.

Na papierach powlekanych primer miał decydujący wpływ na przebieg krzywych penetracji. Obecność powłoki primera całkowicie zmieniła przebieg krzywych penetracji wody w papier powlekany z powłokami primeru (10%, 12%, 145 i 16% PVA+PVP) w trakcie penetracji (rys. 2.53). Proces penetracji papieru bez primera przebiega dwuetapowo: na początku papier stwarza niewielki opór wnikającej cieczy ($t_{max} = 2,24$ faza nawilżania W = 0,31), a następnie w drugim etapie (po osiągnieciu maksimum) intensywność penetracji dynamicznie spada. Dla papierów z primerem można wyróżnić trzy etapy procesu wnikania cieczy. Pierwszy etap charakteryzuje się brakiem fazy nawilżania, czyli papiery z primerem nie stawiają oporu wnikającej cieczy na tym etapie i krzywa penetracji od początku zaczyna delikatnie spadać. Następnie (drugi etap), przy czasie 5-6 s zaczyna wzrastać, i osiąga swój drugi punkt maksimum (przy czasie ok. 30-40 s), po czym znów zaczyna delikatnie opadać (trzeci etap). Taki przebieg krzywej jest właściwy dla niektórych papierów fotograficznych przeznaczonych do druku natryskowego [149, 150]. Ten przebieg penetracji umożliwia ulokowanie atramentu blisko powierzchni papieru/powłoki primera, co zapewnia wysoką intensywność nadruku (wysokie wartości gęstości optycznej i duża rozpiętość barw). W przypadku stosowania badanych primerów uzyskano podobne efekty, co potwierdzają kolejne badania gęstości optycznej nadruku i rozpiętości barw (rys. 2.56 i 2.54.)



Rys. 2.53. Krzywe dynamiki penetracji wody w głąb papieru powlekanego (170 g/m²) bez primera oraz z primerem Źródło: opracowanie własne.

Wpływ powłoki na bazie modyfikowanego PVA na parametry jakościowe nadruku (gęstość optyczna, rozpiętość barw i szerokość linii). Obecność primera na papierach offsetowym i powlekanym spowodowała znaczący wzrost intensyw-ności nadruku (rys. 2.55). Gęstość optyczna wzrosła przy zastosowaniu primerów na papierze offsetowym o ok. 40%, a na papierze powlekanym wzrosła o ponad 70% (rys. 2.54). Wzrost intensywności nadruku spowodował zwiększenie gamutu (rozpiętości) barw na odbitkach wydrukowanych na papierach z primerem (rys. 2.56 i tabela 2.20).



Rys. 2.54. Gęstość optyczna (nadruk Magenta): 1 – papier niepowlekany 80 g/m², 2 – papier powlekany 170 g/m² Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.55. Zdjęcia fragmentu odbitek natryskowych wykonanych: a – na papierze niepowlekanym (offsetowym); b – na papierze powlekanym Źródło: opracowanie własne.



a



Rys. 2.56. Porównanie sześciokątów reprezentujących rozpiętość barw na papierach bez primera i z primerem: a – papier offsetowy (niepowlekany); b – papier powlekany Źródło: opracowanie własne.

Podłoże	Stężenie (PVA+PVP) w składzie primera	Rozpiętość barw/Odchylenie standardowe (OS)
	Bez primera	6096/(98)
	10%	9342 (79)
Niepowlekany	12%	10532/(87)
	14%	9139/(69)
	16%	11376 (88)
	Bez primera	6491/(86)
	10%	11256/(62)
Powlekany	12%	12160(/57)
	14%	11410/(79)
	16%	12287/(81)

Tabela 2.20. Powierzchnia sześciokąta charakteryzująca rozpiętość barw

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.57. Szerokość linii: 1– papier offsetowy 80 g/m²; 2 – papier powlekany 170 g/m² Źródło: opracowanie własne.

Zastosowanie primerów na bazie modyfikowanego PVA spowodowało polepszenie odwzorowania linii na odbitkach na papierze offsetowym, jak i na papierze powlekanym. Nadruk na papierze powlekanym bez primera charakteryzował się największym przyrostem szerokości linii: na papierze offsetowym szerokość linii wynosiła 187 µm, a na papierze powlekanym ok. 216 µm. Zastosowanie primerów o różnym stężeniu kompleksu interpolimerowego na bazie poli(alkoholu winylowego) spowodowało znaczące zmniejszenie szerokości linii: nadruk linii na papierze powlekanym przy zastosowaniu primera o 10% i 12% zawartości modyfikowanego PVA charakteryzuje się mniejszą szerokością nawet w odniesieniu do nadruku na papierze offsetowym (rys. 2.57 i 2.58).



bez primera 10% (P

10% (PVA+PVP)

12% (PVA+PVP)

14% (PVA+PVP)

16% (PVA+PVP)

a



b

Rys. 2.58. Widok nadruku linii: a – na papierze niepowlekanym; b – na papierze powlekanym Źródło: opracowanie własne.

Porównując rozpiętość barw badanych odbitek natryskowych z odbitkami offsetowymi (rys. 2.59) można stwierdzić, że:

- zastosowanie opracowanego primera na bazie modyfikowanego PVA pozwoliło w drukowaniu natryskowym na papierach niepowlekanych osiągnąć rozpiętość barw większą o ok. 30% w porównaniu do odbitek offsetowym wydrukowanych na papierze offsetowym;
- na papierach powlekanych na odbitkach natryskowych bez primera uzyskuje się rozpiętość barw o połowę mniejszą w stosunku do odbitek offsetowych na takim samym podłożu. Zastosowanie primera pozwoliło maksymalnie przybliżyć się do rozpiętości barw odbitek offsetowych, różnica rozpiętości barw wynosi ok. 5%.



Rys. 2.59. Porównanie rozpiętości barw odbitek natryskowych i offsetowych Źródło: opracowanie własne.

Podsumowanie rozdziału 2.5

- 1. W celu uniezależnienia jakości nadruku w technice natryskowej (ink-jet) od rodzaju podłoża papierowego obecnie opracowywane są różne metody: stosowane są specjalne powłoki przyjmujące atrament (primery), które nanoszone są na papier przed zadrukiem in-line w maszynie drukującej; stosowane są specjalne atramenty stałe, które w trakcie drukowania są stapiane i nanoszone w postaci ciekłej, a trafiając na podłoże, krzepną i nie penetrują w głąb papieru; opracowana nowa technologia drukowania – nanografia, która łączy zastosowanie specjalnie opracowanych atramentów wodnych i pośrednie przenoszenie atramentu na podłoże w warunkach podwyższonej temperatury, co powoduje przylepianie się warstwy nadruku do powierzchni podłoża.
- 2. W celu zwiększenia jakości nadruku w drukowaniu natryskowym w niniejszej pracy zaproponowano zastosowanie nowego środka w postaci primera na bazie interpolimerowego kompleksu poli(alkoholu winylowego) (PVA) i poli(winylopirolidonu) (PVP), który tworzy powłokę przyjmującą atrament.
- 3. Na podstawie przedstawionych wyników badań można stwierdzić, że zastosowanie zaproponowanego primera zmienia właściwości sorpcyjne zwykłych papierów offsetowego i powlekanego (szeroko stosowanych w drukowaniu offsetowym). To z kolei powoduje zdecydowane polepszenie parametrów jakościowych odbitek natryskowych wykonanych na tak zmodyfikowanych podłożach papierowych:
 - polepsza się intensywność nadruku (gęstość optyczna): dla odbitek na papierze offsetowym o ok. 40%, a dla papierów powlekanych o ponad 70%;

- zwiększa się zakres odwzorowanych barw, zbliżając rozpiętość barw do najlepszej rozpiętości barw uzyskiwanej w technice drukowania offsetowego na papierach powlekanych;
- polepsza się dokładność odwzorowania elementów grafi cznych w postaci linii. To przełoży się również na polepszenie odwzorowania czcinki, która jest zbudowana z elementów w postaci linii i krzywych.

Wnioski końcowe

- 1. Na podstawie analizy literaturowej przeanalizowano podstawowe etapy w drukowaniu cyfrowym elektrofotograficznym i natryskowym oraz określono czynniki mające wpływ na jakość odbitek elektrofotograficznej i natryskowej. Analiza mechanizmu współdziałania tonera z papierem wykazała, że w technice drukowania elektrofotograficznego z zastosowaniem suchego tonera intensywność nadruku jest prawie niezależna od stosowanego papieru. W technice drukowania elektrofotograficznego z zastosowaniem tonera ciekłego (maszyny HP Indigo) jakość na papierach niepowlekanych jest nieco gorsza w porównaniu do papierów powlekanych. W drukowaniu natryskowym jakość nadruku jest w dużej mierze uzależniona od rodzaju stosowanego podłoża, zwłaszcza przy zastosowaniu atramentów wodnych. W celu uzyskania wysokiej jakości nadruku w tej technice stosowane są podłoża ze specjalnymi powłokami przyjmującymi atrament (receptywnymi).
- 2. Przeanalizowano parametry jakościowe odbitek cyfrowych. Wszystkie parametry określające jakość odbitek cyfrowych zgrupowano w sześć podstawowych grup:
 - jakość nadruku dużych obszarów jednolicie wypełnionych farbą (apla, tinta),
 - parametry jakościowe nadruku linii,
 - dokładność pasowania obrazu,
 - jednorodność/stabilność nadruku,
 - rozdzielczość,
 - obecność zabrudzeń.
- Na szeregu wybranych papierów zwykłych i specjalnych (papiery niepowleka-3. ne gładzone maszynowo; papiery powlekane, papiery satynowane i specjalne papiery dedykowane do drukowania natryskowego) wykonane zostały odbitki elektrofotograficzne za pomocą suchego tonera i natryskowe (atramentem wodnym). Zbadano szereg parametrów jakościowych odbitek i zauważono różnice w jakości nadruku elektrofotograficznego na papierach powlekanych, niepowlekanych gładzonych maszynowo i niepowlekanych satynowanych. Nadruki wykonane na papierach powlekanych charakteryzują się najmniejszym stopniem rozmycia, najmniejszą skłonnością do mottlingu i ziarnistości oraz największą rozpiętością barwy. W dalszej kolejności uplasowały się papiery satynowane (o najwyższej gładkości wśród papierów niepowlekanych), a najniższą jakość nadruku uzyskano na papierach niepowlekanych gładzonych maszynowo. Wszystkie badane papiery charakteryzowały się zbliżoną reprodukcja linii pod względem szerokości i strzepiastości, podobną rozdzielczością druku i dobrym przyleganiem tonera. Wartości parametru rozmycia

linii okazały się najniższe dla papierów powlekanych, a najwyższe dla papierów niepowlekanych gładzonych maszynowo. Nie zauważono bardzo wyraźnego wpływu stosowanych rodzajów papieru na takie parametry nadruku jak przyrost rastrowej wartości tonalnej, kontrast druku i prześwitywanie nadruku. Na odbitkach natryskowych, w odróżnieniu od uzyskanych wyników badań jakości odbitek elektrofotograficznych, stwierdzono bardziej wyraźny wpływ rodzaju papieru na ogólną jakość nadruku. Najlepszymi parametrami jakościowymi pod względem gęstości optycznej i rozpiętości barwy charakteryzowały się papiery specjalne lub dedykowane do druku ink-jet (papier fotograficzny i z mikroporami), w dalszej kolejności są papiery powlekane, niepowlekane satynowane, a najniższą jakość nadruku uzyskano na papierach niepowlekanych gładzonych maszynowo.

4. Na podstawie uzyskanych wyników badań utworzono modele matematyczne w celu określenia istotności wpływu parametrów badanych podłoży na jakość odbitek elektrofotograficznych i natryskowych. Utworzono dwa modele matematyczne dla procesu drukowania elektrofotograficznego ("Elektrofotografia-Sumaryczna" i "Elektrofotografia- Gładkość") oraz dwa modele dla drukowania natryskowego ("Ink-jet Sumaryczna CMY", "Ink-jet Sumaryczna K"). Na podstawie modeli dla drukowania elektrofotograficznego z zastosowaniem suchego tonera ustalono, że na jakość odbitki mają przede wszystkim takie parametry podłoża jak: przenikalność powietrza (charakteryzująca obecność powłoki na powierzchni papieru /przenikalność równa zeru/ lub jej brak), gładkość papieru, przyleganie tonera, zawartość wilgoci.

Na podstawie modeli dla drukowania natryskowego stwierdzono, że w drukowaniu natryskowym z zastosowaniem atramentów barwnikowych najbardziej istotnymi parametrami papieru mającymi wpływ na sumaryczną jakość nadruku są parametry charakteryzujące współdziałanie papieru z cieczą (wodą): szybkość penetracji (t₉₅ i t_{max}), równomierność penetracji (Mottle Index) i deformacja papieru (rozciąganie) na mokro. Natomiast przy zastosowaniu atramentu pigmentowego dodatkowym istotnym parametrem papieru okazała się przenikalność powietrza (obecność powłok pigmentowych).

5. Na podstawie utworzonych modeli ustalono wartości współczynników dla równań liniowych, na podstawie których można określać prognozowane poszczególne wartości parametrów jakościowych odbitek elektrofotograficznych i natryskowych.

$$Y_i = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_3 \cdot X_3 + B_4 \cdot X_4 + \dots + B_n \cdot X_n$$

gdzie: Y_i – rodzaj parametru jakościowego nadruku,

- $\mathbf{B}_{_{0}}~$ stała równania dla danego parametru jakościowego nadruku,
- B współczynnik dla danej właściwości.
- X wartość właściwości podłoża.

6. W celu optymalizacji parametrów jakościowych nadruku w drukowaniu natryskowym w niniejszej pracy opracowano kompozycje mieszanek powlekających na bazie modyfikowanego poli(alkoholu winylowego). Zastosowano kompleks interpolimerowy na bazie poli(alkoholu winylowego) (PVA) i poli(winy lopirolidonu) (PVP). Analiza pokazała, że w wyniku zastosowanej modyfikacji powierzchni zwykłych papierów drukowych (powlekanych i niepowlekanych) za pomocą modyfikowanego PVA w drukowaniu natryskowym polepszają się takie optyczne parametry nadruku jak: gęstość optyczna nadruku, rozpiętość barw, odwzorowanie nadruku linii i czcionki. Stosowanie primeru na bazie modyfikowanego poli(alkoholu winylowego) pozwala uzyskać jakość nadruku na zwykłych papierach offsetowych (niepowlekanych) zbliżoną do najwyższej jakości odbitek offsetowych, którą uzyskuje się na papierach powlekanych. W praktyce to umożliwi redukcję liczby stosowanyc profili barwnych w procesie sterowania barwą w trakcie drukowania.

Literatura

- [1] Czichon H., Czichon M., Reprografia i drukowanie cyfrowe. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
- [2] Czichon H., Elektrofotograficzne drukowanie cyfrowe na podłożu papierowym, "Przegląd Papierniczy", nr 4, 2006, ss. 200-204.
- [3] Narita M., Obinata T., Photoconductors: Current Status and Future Outlook, "Fuji Electric Review", Vol. 57, No. 1. http://www.americas.fujielectric.com/ sites/default/files/white-papers/Fuji%20Electric%20-%20Photoconductor %20Market%20Review,%202006-2012.pdf (11.12.2015).
- [4] Kriss M., Handbook of Digital Imaging. Vol. 2 Image Display and Reproduction. John Wiley & Sons, 2015.
- [5] Wijshoff H., The dynamics of the piezo inkjet printhead operation, "Physics Reports", 491, 2010, ss. 77-177.
- [6] The Cutsheet Inkjet Color Revolution: Market Opportunities for Canon's Niagara. InfoTrends, 2014. http://media.cygnus.com/files/base/MPRC/whitepaper/2015/03/The-Cutsheet-Inkjet-Color-Revolution-WP.pdf (dostęp z dnia 10.04.2017).
- [7] The Value of Cut-sheet Inkjet. The Xerox Brenva HD Production Inkjet Press,
 "White Paper", April 2016, https://www.xerox.com/digital-printing/latest/ XBRWP-01U.pdf (dostęp z dnia 10.04.2017).
- [8] The Future of Digital Print for Packaging to 2020, http://www.smitherspira. com/industry-market-reports/printing/digital/the-future-of-digital-print--for-packaging-to-2020 (dostęp z dnia 10.04.2017).
- [9] Drzewińska E., Materiały do drukarek ink-jet, "Przegląd Papierniczy" nr 3 (63), 2007, ss. 287-291.
- [10] AL-Rubaiey, H. Toner Transfer and Fusing in Electrophotography. Graphic Arts in Finland, Vol. 1 (39), 2010, s. 23.
- [11] Briggs J.C., Tse M.-K., The Effect of Fusing on Gloss in Electrophotography. Paper presented at the IS&T's NIP14 International Conference on Digital Printing Technologies October 18-23, 1998, Toronto, Ontario, Canada.
- [12] Jakucewicz S., Papier do drukowania właściwości i rodzaje, Warszawa 2010.
- [13] Gowiazin I., Martianowa O., Wlijanie stiepieni omylienia i drugich swojstw poliwinilowogo spirta na swojstwa bumagi dla strujnoj pieczati. Compuart nr 8, 2008.
- [14] Khadzhynova S., Jakucewicz S., Sposoby drukowania cyfrowego, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2016.
- [15] Khadzhynova S., Jakucewicz S., Piłczyńska K., Drukowanie natryskowe (ink-jet), Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2017.

- [16] Uarowa R., Osnowy cyfrowoj pieczati, MGUP, Moskwa 2011.
- [17] Wiliams C., Printing Ink Technology, Pira International, Surrey 2001.
- [18] Tseng F.-G., Microdropelt Generators. The MEMS Handbook, Mohamed Gad-el-Hak, (ed.), CRS Press LLC, Boca Raton, FL, 2002.
- [19] Kipphan H., Handbuch der Printmedien, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2001.
- [20] Hakola E., Oittinen P., Principles of digital printing, In Oittinen, Saarelma (eds.): Print Media – Principles, Processes and Quality, Papermaking Science and Technology, book 13, Second edition, Paper Engineers' Association/Paperi ja Puu Oy, Helsinki 2009.
- [21] Czajkowski W., Nowoczesne barwniki dla włókiennictwa, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2006.
- [22] Sokołowska J., Instrukcja laboratorium. Preparatyka atramentów/tuszy (the preparation of inks) realizowanego w ramach Zadania nr 9 pt. "Doposażenie laboratorium pod nazwą Materiały i nanomateriały polimerowe jako materiały inżynierskie", Łódź 2010.
- [23] Jakucewicz S., Techniki drukowania opakowań, "Opakowanie", nr 2, 2015, s. 69.
- [24] http://fabrykareklamy.tychy.pl/index.html (dostęp z dnia 15.12.2016).
- [25] http://marketingowy-czar.blog.onet.pl/nosniki-reklamowe-co-to-takiegojakie-nosniki-mozemy-wyroznic/ (dostęp z dnia 16.12.2016).
- [26] Kraushaar A., PDS, Process Standard Digital Handbook 2016 Step by Step toward Printing the Expected, Fogra Graphic Technology Research Association, Monachium 2016.
- [27] http://www.eclipse-print.com/index.php/pl/produkty/billboardy (dostęp z dnia 18.12.2016).
- [28] Graczyk T., Sześć kryteriów oceny papieru do cyfrowego druku kolorowego, Przegląd Papierniczy nr 3, 1999, ss. 145-146.
- [29] Wandelt P., Papiernictwo wobec wyzwań XXI w. szanse i zagrożenia. Papiery do nowych systemów drukowania, Przegląd Papierniczy nr 4, 2000, ss. 203-208.
- [30] Jakucewicz S., Drupa a papiery do drukowania cyfrowego (digitalnego), "Świat Druku", nr 9, 2000, ss. 40-43.
- [31] Jakucewicz S., Drupa 2000, "Przegląd Papierniczy", nr 6, 2000, ss. 347-350.
- [32] Jakucewicz S., Papier do drukowania: właściwości i rodzaje, Michael Huber Polska, Warszawa 2010, s. 309.
- [33] Gisi B., High Waves in Preprints. Polygraph International, No. 2, 2001, pp. 40-41.

- [34] Norberg O., Dry Toner Technology. Materiały firmy M real z Sympozjum "Digital Printing Days", 18-19.06.2002
- [35] Stora Enso Oy: Sheet Feed Electrophotography technical Handbook, Helsinki 2001, pp. 31-32.
- [36] Jakucewicz S., Panák J., Referat na konferencji Seminar Polygrafia Academica 2010 (Bratysława 09-10. 09. 2010). "Nové papiere pre digitálnu a ofsetovú tlač " wydrukowany w zbiorze referatów ss. 157-161 (słow.).
- [37] Khadzhynova S., Opakowanie pod znakiem cyfry, "Przegląd Papierniczy" nr 11, 2013, ss. 573-575.
- [38] Anon: Cyfrowy zadruk tektury Xeikon ma coś dla ciebie, Świat Druku nr 3, 2014, s. 26.
- [39] Jakucewicz S., Papiery do drukowania a techniki drukowania, "Przegląd Papierniczy" nr 10, 2013, ss. 509-513.
- [40] UPM_Making_Paper_brochure_web_19186_0 pdf 31.08.2015.
- [41] http://www.frubo.com/images/pdf/Types of Inkjetpaper-Overview.pdf (dostęp z dnia 26.12.2016).
- [42] Piłczyńska K.T., Wpływ parametrów papieru offsetowego na jakość zadruku cyfrowego natryskowego, Politechnika Warszawska – Wydział Inżynierii Produkcji, Rozprawa doktorska, Warszawa 2015.
- [43] Piłczyńska K., Jakucewicz S., Defining Parameters of Offset Papers Suitable for Ink-jet Printing, "Acta Poligraphica", nr 7, 2016, pp. 15-20.
- [44] Benda A.F., Materiały nanotechnologii w poligrafii, część 3, Nanolitografija. Nanotiechnołogii i materiały nanoteiechnołogij w poligrafii, Moskwa 2015, ss. 151-173.
- [45] Khadzhynova S., Klasyczne i cyfrowe metody drukowania w produkcji etykiet i opakowań giętkich, "Świat Druku", nr 9, 2017, ss. 38-42.
- [46] Graczyk T., Cyfrowe maszyny drukujące podbijają rynek, "Przegląd Papierniczy", nr 12, 2017, ss. 775.
- [47] Ekologicznaja i jarkaja. MacHouse News, nr 2 (74), 2018, ss. 12-13.
- [48] Pieczatnyje akcenty 2018. MacHouse News, nr 1 (73), 2018, ss. 4-5.
- [49] Hussain AL-Rubaiey., The Role of Paper and Process Technologies for Mechanisms and Image Quality in Digital Electrophotography. Doctoral Thesis. Helsinki, University of Technology, 2009, http://lib.tkk.fi/Diss/2009/ isbn9789522482150/isbn9789522482150.pdf
- [50] Czichon H., Jakość w nowych technologiach poligraficznych. Materiały Konferencji Poligraficznej "Jakość w poligrafii – jeden cel, różne drogi". Polska Izba Druku, Poznań, MTP, 2003, ss. 35-42.

- [51] Chin-Tai Chen., Inkjet Printing of Microcomponents: Theory, Design, Characteristics and Applications, Chapter 3, http://cdn.intechopen.com/pdfs/24443. pdf (dostęp z dnia 10.06.2017).
- [52] Ritchie M., Print quality requirements for single-pass inkjet printing the whole picture. https://www.xaar.com/media/1303/print-quality-white-paper. pdf
- [53] Cahill V., Introduction to Digital Printing Technology, http://www.techexchange.com/library/An%20Introduction%20to%20Digital%20Printing%20 Technology.pdf (dostęp z dnia 10.06.2017).
- [54] Le H.P., Progress and Trends in Ink-jet Printing Technology, IS&TThe Society for Imaging Science and Technology, Vol. 42, No. 1, January/February 1998.
- [55] Magdassi S., The chemistry of inkjet inks. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2010.
- [56] Khadzhynova S., Nowe atramenty w druku natryskowym, "Przegląd Papierniczy" nr 4, 2012, ss. 203-206.
- [57] Czichon H., Farby fotoutwardzalne w różnych technikach drukowania, "Świat Druku" nr 12, 2011, ss. 29-32.
- [58] Wszystko o technologii UV. Przewodnik techniczny. Świat Druku, część I-VII nr 6-12, 2005; część VIII-XI nr 1-4, 2006.
- [59] UV-curable Inks. The Future of Industrial InkJet Printing https://shop.ndgraphics. com/Products/Media/Docs/UVinks_info.pdf?__hstc=108337501.514756f51aad28a6d480b0896ec071ba.1407456000052.1407456000053.1407456000054.1&__ hssc=108337501.1.1407456000055&__hsfp=1314462730 (12.10.2015).
- [60] Lavery A., Provost J. Color-Media Interactions in Ink Jet Printing. http://www. imaging.org/site/PDFS/Papers/1999/RP-0-92/2059.ppolidf
- [61] Drzewińska E., Rogaczewski Z., Technologia celulozy i papieru. Powierzchniowe uszlachetnianie papieru, Wydawnictwo Szkolne i pedagogiczne, Warszawa 1997.
- [62] Svanholm E., Printability and Ink-Coating Interactions in Inkjet Printing. Dissertation. Karlstad University Studies 2007.
- [63] ISO 13655:2017 Graphic technology Spectral measurement and colorimetric computation for graphic arts images.
- [64] Mark D. Fairchild Color Appearance Models Second Edition Wiley-IS&T, 2004, s. 386.
- [65] Szaszlow A., Osnowy swietotiechniki, Moskwa, Logos, 2011, s. 256.
- [66] Dąbrowa T., Krajewska E., Różnica barw w reprodukcji poligraficznej i sposoby jej określania, "Świat Druku" cz. 1 -10/2000, s. 30-33, cz. II -11/2000, ss. 30-34.

- [67] Khadzhynova S., Badanie różnicy barw CIELAB oraz CIE DE 2000 w procesach reprodukcji poligraficznej, "Przegląd Papierniczy" nr 4 (71), 2015, ss. 227 -230.
- [68] Sharma G., Wencheng Wu, Edul N., Dalal he CIEDE2000 Color-Difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations. COLOR research and application, Volume 30, nr 1, er 1, February 2005. http://www.ece.rochester.edu/~gsharma/ciede2000/ciede2000noteCR-NA.pdf
- [69] Kućma K., Bitwy normalizacyjne, "Poligrafika" nr 02, 2014.
- [70] Lavery A., Provost J. Color-Media Interactions in Ink Jet Printing. http://www. imaging.org/site/PDFS/Papers/1999/RP-0-92/2059.pdf
- [71] Barwa i jakość. Heidelberg Polska Sp. z o.o., Warszawa 2000.
- [72] Jakucewicz S., Błędy w drukowaniu offsetowym a wady papieru, Adamantan, Warszawa 2011.
- [73] ISO/IEC 13660:2001. Information technology. Office equipment. Measurement of image quality attributes for hardcopy output. Binary monochrome text and graphic images.
- [74] ISO/IEC TS 24790:2012. Information technology Office equipment Measurement of image quality attributes for hardcopy output. Monochrome text and graphic images.
- [75] Khadzhynova S., Ocena jakości odbitek w technikach drukowania klasycznego i cyfrowego, "Przegląd Papierniczy", nr 4 (72), 2016, ss. 216-218.
- [76] Automated Image Quality Analysis System IAS-1000. http://www.qea.com/ upload/files/products/IAS-1000%20Spec%20Sheet%20130320.pdf
- [77] Kraushaar A., PSD Process Standard Digital. Fogra Graphic Technology Research Association, 2016.
- [78] ISO12647-2:2013. Graphic technology Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints Part 2: Offset lithographic processes.
- [79] ISO 12647-7:2013. Graphic technology Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 7: Proofing processes working directly from digital data.
- [80] Ugra/Fogra PostSrip Control Strip. Direction for Use. November, 2011.
- [81] ISO 12647-1:2013. Graphic technology Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 1: Parameters and measurement methods.
- [82] ISO12647-3:2013. Graphic technology Process control for the production of half-tone colour separations, proofs and production prints – Part 3: Coldset offset lithography on newsprint.

- [83] ISO 12647-4:2014 Graphic technology Process control for the production of half-tone colour separations, proofs and production prints – Part 4: Publication gravure printing.
- [84] ISO 12647-5:2001. Graphic technology Process control for the manufacture of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 5: Screen printing.
- [85] ISO 12647-6:2012. Graphic technology Process control for the production of half-tone colour separations, proofs and production prints – Part 6: Flexographic printing.
- [86] ISO 12647-8:2012. Graphic technology Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 8: Validation print processes working directly from digital data.
- [88] Khadzhynova S., Standaryzacja i certyfikacja w procesach drukowania opakowań i etykiet. Opakowanie nr 7, 2014, ss. 49-52.
- [89] ISO/TS 15311-1:2016 Graphic technology Requirements for printed matter for commercial and industrial production – Part 1: Measurement methods and reporting schema.
- [90] Rychter P., Analiza błędów w druku natryskowym na tworzywach sztucznych i sposób ich eliminacji, praca dyplomowa magisterska wykonana w Instytucie Papiernictwa i Poligrafi i Politechniki Łódzkiej, Łódź 2015.
- [91] Problemlösungskatalog Inkjet, http://www.sihl.com/downloads/company/ download/troubleshooting_guideinkjet_d.pdf (dostęp z dnia 10.08.2015).
- [92] Khadzhynova S., Jakucewicz S., Sposoby drukowania cyfrowego, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2016.
- [93] Ugra/Fogra PostSrip Control Strip. Direction for Use. November, 2011.
- [94] Norma PN ISO 536 : 1996 / Ap.1 : 1999 : Papier i tektura Oznaczanie gramatury.
- [95] Norma PN EN ISO 534: 2007: Papier i tektura oznaczanie grubości, gęstości i objętości właściwej.
- [96] Norma P-8791-2: 1990: Oznaczanie gładkości/szorstkości metodą Bendtsena.
- [97] Norma PN ISO 5627: 1998: Oznaczanie gładkości metodą Bekka.
- [98] Norma PN-P-50176-3:1994: Oznaczanie przenikalności powietrza metodą Bendtsena.
- [99] Norma ISO 5629: 1983: Oznaczanie sztywności metodą rezonansową.
- [100] Norma ISO 14968:1999: Paper and board Cut-size Office paper Measurement of curl in a pack of sheets.
- [101] Norma ISO 15359:1999: Paper and board Determination of the static and kinetic coefficients of friction – Horizontal plane metod.

- [102] Norma EN 12283: 2002: Oznaczanie przylegania tonera T na powierzchni papieru.
- [103] Norma PN-ISO 287: 1994: Papier i tektura Oznaczanie zawartości wilgoci Metoda suszarki komorowej.
- [104] Dimension Stability System DSS. Operating Instructions, Emtec Electronic GmbH, 2005.
- [105] Skowroński J., A Clarification of the Complexity of Ink-Paper Interactions in Inkjet Printing and their Impact on Printed Paper Properties. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Zeszyty naukowe Nr 1033, Łódź 2008.
- [106] Spektrodensytometry. Seria 500. Instrukcja obsługi. Firma X-Rite, Inc.
- [107] Personal Image Analysis IAS. User's Guide. Cover's software version 1.18 and later. Quality Engineering Associates, Inc (QEA), 2005.
- [108] Direction for use, Ugra Fogra Post Script- Control Strip. Direction for use, 2000, (instrukcja dostępna na stronie http://www.ugra.ch).
- [109] Khadzynova S., Andruszkiewicz A., Rozdzielczość miarą jakości, "Świat druku", 2006, nr 11, ss. 28-33.
- [110] Schmitt U. Rozdzielczość i cyfrowe środki kontroli jakości. Print&Publishing", 2008, nr 8 (89).
- [111] PDA.C 02 PEA MODULE PRINT EVENNESS ANALYZER. https://www. emtec-electronic.de/attachments/article/309/ModulePEA_eng.pdf
- [112] Manteuffel C., Manteuffel P., Ultradźwiękami w strukturę papieru. Uniwersalna metoda badania penetracji cieczy w głąb papieru, "Przegląd Papierniczy" nr 12 (56), ss. 709-712, 2000.
- [113] Phillips B., Penetration and Spreading of Water and Flexographic Inks into Newsprints: Part II Comparison of Penetration Methods. Paper Technlogy, nr 5, Vol. 40, 1999, ss. 35-40.
- [114] SIMCA P+, multivariate analysis software of Umetrics, www.Umetrisc.com
- [115] Mazerski J. Podstawy Chemometrii. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2000.
- [116] Korcz W., Góralczyk K., Czaja K., Struciński P. i in , Zastosowanie metod statystycznych w badaniach chemicznych, Roczn. PZH 2008,59, nr 2, ss. 117-129.
- [117] Hyk W., Analiza statystyczna w laboratorium, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, 2016.
- [118] Skowroński J., A Clarification of the Complexity of Ink-Paper Interactions in Inkjet Printing and their Impact on Printed Paper Properties. Wydawnicwo Politechniki Łódzkiej, Zeszyty naukowe, Nr 1033, Łódź 2008.
- [119] Kryczka M., Khadzhynova S, Skowroński J., Wpływ właściwości papieru na jakość druków cyfrowych. Część 1, "Przegląd Papierniczy", 2011, nr 8 (67), ss. 489-492 – 40% udziału (0,4×6p.=2,4p.).

- [120] Kryczka M., Khadzhynova S, Skowroński J., Wpływ właściwości papieru na jakość druków cyfrowych. Część 2. "Przegląd Papierniczy", 2011 nr 10 (67), ss. 611-615 40% udziału (0,4×6p .= 2,4p.).
- [121] Khadzhynova S., Kryczka M., Badanie wpływu wybranych właściwości podłoża na jakość odbitek w drukowaniu cyfrowym elektrofotograficznym, "Świat Druku", 2011, nr 1, ss. 34-37.
- [122] Khadzhynova S., Kryczka M., Jakość cyfrowej odbitki próbnej, "Przegląd Papierniczy", 2009, nr 4 (65), ss. 199-201.
- [123] Khadzhynova S., Jakość druków cyfrowych, "Przegląd Papierniczy", 2009, nr 10 (65), ss. 610-611.
- [124] Khadzhynova S., Pierwsza w Polsce instalacja do druku cyfrowego iGen3, "Przegląd Papierniczy" nr 7, 2005 s. 377.
- [125] Canon Oce VarioPrint i300, http://www.canon-europe.com/for_work/products/profes sional_print/digital_colour_production/varioprint_i300/ (dostęp z dnia 05.05.2017).
- [126] Zwang D., Production Inkjet –The Next Wave: Canon Océ VarioPrint i300 Sheetfed Inkjet Press and More. 2015. http://whattheythink.com/articles/ 72603-production-inkjet-next-wave-canon-oce-varioprint-i300-sheetfed-inkjet-press-more/
- [127] Kusakari T., Mita T., Development of "Jet Press 720S" Digital Inkjet Press. Fujifilm Research & Development (No.60-2015). http://www.fujifilm.com/about/ research/report/060/pdf/index/ff_rd060_001_en.pdf
- [128] Océ Crystalpoint Technology. 2016. https://csa.canon.com/online/wcm/connect/csa/eb7328e8-da00-4d5c-a90e-9d9e20082417/LFS-51369_DS_CSA_ Crystal_Point_Tech_Brief.4.16.W.pdf?MOD=AJPERES
- [129] Patent US 20130131226 A1. Phase Change Inks Containing Crystalline Trans--Cinnamic, Coredema A., Carlini R., Turek C., Sacripante G., Zwartz E. Xerox Corporation (2013).
- [130] Patent US 20120227621 A. Solid or Phase Change Inks with Improved Properties. Drappel S., Odell P., Breton M., Turek C., McConville P.J., Rabani M., Rea J., Larson J. Xerox Corporation (2012).
- [131] The Nanographic PrintingTM Process. White paper, 2012. https://revipackonline.files.wordpress.com/2012/11/nanography-white-paper-uk.pdf
- [132] Patent UA 108835. Sposób obróbki papieru offsetowego przeznaczonego do drukowania natryskowego. Havenko S., Rybka R., Khadzhynova S., 25.07.2016 r.
- [133] Svanholm E., Printability and Ink-Coating Interactions in Inkjet Printing Dissertation. Karlstad University Studies 2007.

- [134] Boisvert, J.-P., Persello, J., and Guyard, A., "On the Use of Nanoporous Silica Products as Ink Holder Agents for Ink-Jet Printing", Proceedings from 89th Annual Meeting, Montreal, QUE, Canada, pp. 6 (2003).
- [135] Hentzschel, P., "Polyvinyl Alcohol", in Papermaking Science and Technology: Pigment Coating and Surface Sizing of Paper, TAPPI Press. pp. 277-287 (2000).
- [136] Glittenberg, D., Voight, A., and Becker, A., "Available Options for Mass Production of High-Grade Ink-Jet Papers", Proceedings from TAPPI Metered Size Press Forum, Atlanta, GA, USA, pp. 229-233 (2002).
- [137] Nilsson H., Fogden A. Inkjet print quality on model paper coatings. Appita Journal 61(2):120-127, March 2008. https://www.researchgate.net/publication/286691656_Inkjet_print_quality_on_model_paper_coatings
- [138] The role of binder type in determining inkjet print quality Taina Lamminmäki, John Kettle, Pasi Puukko, Jukka Ketoja, and Patrick Gane. Nordic Pulp and Paper Research Journal Vol 25, No. 3/2010 https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/ handle/123456789/3533/article2.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- [139] Lamminmäki T., Kettle J. P., Puukko P., Ridgway C., Gane P. Inkjet Print Quality: The Role of Polyvinyl Alcohol in Speciality CaCO3 Coatings. https://www. vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2009/Role_of_PVOH.pdf
- [140] Preston J., Butler-Lee G., Costa E., Findlay A. Development and Analysis of Coated Paper for High Speed Inkjet Printing. O PAPEL vol. 77, num. 2, pp. 66-71 February 2016. http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1456021475_ f76ae569b9e18bbedfaf91d31b27197e_2047700796.pdf
- [141] Patent RU 2304650C1. Method of Manufacturing Ink-Jet Printing Paper with Glossy Coating and Ink-Jet Printing Paper with Glossy Coating. Trachuk A., Pavlov J., Natetkova G., Artemov V., Andrianov D., Tikhonov A., 2007.
- [142] Patent US 02/06544 (05.03.2003). Paper for Spray Printing Containing Polyvinyl Alcohol with Amine Functional Groups. Bojlan D., 2003.
- [143] Patent EP 1075962A1.Ink jet paper coatings containing polyvinyl alcoholalkylated polyamine blends. Lassila K.R., Minnich K.E., Rabasco J.J., Carr R., 2001.
- [144] Boylan, J.R., "Using Polyvinyl Alcohol in Inkjet Printing Paper", Tappi Journal, 80(1), 68-70 (1997).
- [145] Glittenberg, D., and Becker, A., "Cationic Starches for Surface Sizing: The Better Solution", Paperi Ja Puu, 79(4), 240-243 (1997).
- [146] Svanholm, E., Ström, G., "Influence of Polyvinyl Alcohol on Inkjet Printability", Proceedings from International Printing and Graphic Arts Conference, Vancouver, BC, Canada, pp. 187-19.

- [147] Svanholm E., Printability and Ink-Coating Interactions in Inkjet Printing. Dissertation. Karlstad University Studies 2007.
- [148] Nilsson H., Fogden A., Inkjet Print Quality on Model Paper Coatings. Appita Journal 61(2):120-127, March 2008 https://www.researchgate.net/publication/286691656_Inkjet_print_quality_on_model_paper_coatings
- [149] Manteuffel C., Manteuffel P., Ultradźwiękami w structurę papieru. Uniwersalna metoda badania penetracji cieczy w głąb papieru. Przeglad Papierniczy nr 12 (56), ss. 709-712, 2000.
- [150] Phillips B., Penetration and Spreading of Water and Flexographic Inks into Newsprints: Part II Comparison of Penetration Methods. Paper Technlogy, No. 5, Vol. 40, 1999, s. 35-40.
- [151] Wiśniewski P., Zastosowanie poli(alkoholu winylowego) w formowaniu tworzyw ceramicznych, "Szkło i Ceramika", nr 6 (58), 2007.

Spis rysunków

Rys. 1.1.	Klasyfikacja technik drukowania cyfrowego	10
Rys. 1.2.	Schemat cyfrowego drukowania elektrofotograficznego	11
Rys. 1.3.	Technologia Multibi LED Kodak Nexfinity Press	13
Rys. 1.4.	Wywoływanie bezpośrednie (ang. <i>charget area development</i> , CAD) i rewersyjne (ang. <i>discharget area development</i> , DAD): 1 – ładowanie warstwy fotoprzewodzącej, 2 – warstwa naładowana, 3 – naświetlanie obrazu, 4 – wywoływanie obrazu	14
Rys. 1.5.	Najbardziej rozpowszechnione sposoby przenoszenia tonera we współczesnych maszynach wielobarwnych. FP – warstwa fotoprzewodąca na cylindrach (a i b) lub na pasie (c); PS – pośredni pas transferowy	15
Rys. 1.6.	Ogólny schemat procesu drukowania elektrofotograficznego	16
Rys. 1.7.	Warianty konstrukcyjnych rozwiązań maszyn elektrofotograficznych	17
Rys. 1.8.	Rozpiętości barw odbitek elektrofotograficznych wykonanych za pomocą różnych systemów drukowania cyfrowego firmy Xerox, z wykorzystaniem maszyn cyfrowych z serii DocuColor (DC) oraz iGen3. Odbitki elektrofotograficzne wydrukowano na papierze niepowlekanym satynowanym	18
Rvs. 1.9.	Toner starei generacii (a) i toner wyprodukowany metoda chemiczna (b)	21
Rys. 1.10). Proces wytwarzania kropli metoda termiczna	24
, Rys. 1.1	1. Proces wytwarzania kropli metoda piezoelektryczna	24
Rys. 1.12	2. Klasyfikacja atramentów natryskowych	25
Rys. 1.1.	3. Rozpiętość barw dwóch atramentów: pigmentowego (czerwona linia) i barwnikowego (biała linia)	26
Rys. 1.14	 Nadruk wykonany na papierze offsetowym (niepowlekanym) za pomocą: a – atramentu termotopliwego (Xerox CiPress), b – atramentu wodnego 	27
Rys. 1.1	5. Papiery do druku natryskowego	33
Rys. 1.10	5. Papier fotograficzny z powłoką zwykłą	35
Rys. 1.12	7. Papier fotograficzny z powłoką mikroporowatą	36
Rys. 1.13	 Najważniejsze elementy, które mają wpływ na jakość odbitki elektrofotograficznej 	36
Rys. 1.19	9. Najważniejsze elementy, które mają wpływ na jakość odbitki natryskowej	37
Rys. 1.20). Współdziałania w systemie "Toner-papier-proces" na etapie przeniesienia i utrwalania	37
Rys. 1.2	1. Wpływ potencjału transferu na ilość przeniesionego tonera na papier	38
Rys. 1.22	2. Wpływ procesu utrwalania na zmianę jakości nadruku (CTF – funkcia przekazania kontrastu)	39
Rvs 1 2	3 Mechanizm utrwalania tonera	40
1, 1, 2, 1, 2,	. neenament alt walanta tohera	10

Rys. 1.24.	Wpływ zastosowanego termomechanicznego systemu utrwalającego na gęstość optyczną nadruku: 1 – system z miękkim wałkiem utrwalającym, 2 – system z twardym wałkiem utrwalającym, 3 – system z dwoma wałkami podgrzewanymi, 4 – system z pasem podgrzanym	40
Rys. 1.25.	Spadek potencjału powierzchni papieru powlekanego i niepowlekanego	42
Rys. 1.26.	Rozpiętość barw na odbitce: a – elektrofotograficznej wykonanej z wykorzystaniem suchego tonera (Xerox DocuColor 70); b – elektrofotograficznej wykonanej z wykorzystaniem ciekłego tonera (Indigo)	42
Rys. 1.27.	. Współdziałanie atramentów barwnikowych i pigmentowych z papierem	43
Rys. 1.28.	. Zachowanie się kropli atramentu wodnego na podłożu	44
Rys. 1.29.	Gamut barw (w przestrzeni kolorymetrycznej CIELab) odbitek wykonanych na papierze dedykowanym do drukowania cyfrowego (ze specjalną powłoką) i papierze niepowlekanym przeznaczonym do drukowania offsetowego	47
Rys. 1.30.	. Charakter nadruku kropel atramentu w zależności od rodzaju papieru	48
Rys. 1.31.	Widok nadruku kolorowych punktów rastrowych na papierze: a – niepowlekanych, b – papier powlekany metodą odlewu, c – papier z powłoką mikroporowatą	48
Rys. 1.32.	Wpływ stopnia hydrolizy na jakość nadruku: a – nadruk na powłoce na bazie PVA o pełnym stopniu hydrolizy, b – nadruk na powłoce na bazie PVA o stopniu hydrolizy poniżej 97%	49
Rys. 1.33.	. Zależność gęstości optycznej nadruku od stopnia hydrolizy PVA	50
Rys. 1.34.	Współdziałanie atramentu z powłoką papieru fotograficznego: a – powłoka polimerowa, b – powłoka mikroporowata, 1 – kropla atramentu, 2 – atrament w wierzchniej warstwie powłoki, 3 – wierzchnia warstwa powłoki	50
Rys. 1.35.	. Ilustracja obliczenia różnicy barw w systemie CIELAB	53
Rys. 1.36.	a – gamut odbitek na diagramie chromatyczności CIELab, b – gamut odbitki drukarskiej i typowego monitora na diagramie chromatyczności CIExyY	58
Rys. 1.37.	. Krzywa charakterystyczna drukowania	60
Rys. 1.38.	. Mottling – chmurkowata powierzchnia druku	61
Rys. 1.39.	Zasada pomiaru mottlingu i ziarnistości zgodnie z normą ISO 13660	62
Rys. 1.40.	Obszar pomiarowy dla oznaczenia ziarnistości (a) i mottlingu (b) zgodnie z ISO 24790	62
Rys. 1.41.	Schematyczne przedstawienie procedury obliczenia M-Score zgodnie ze standardem Fogra	64
Rys. 1.42.	Graficzne przedstawienie parametrów jakościowych nadruku linii: a – szerokość i strzępiastość; b – rozmycie	66
Rys. 1.43.	Profil linii z zaznaczoną strefą rozmycia i szerokością	66
Rys. 1.44.	Schemat obliczenia stabilnościdrukowania na arkuszu wg ISO 126747	69
Rys. 1.45.	Test do określenia rozdzielczości gwiazda Siemensa: a – bez skali pomocniczej, b – zawiera skale pomocnicze	70
Rys. 1.46.	Fragment testu Ugra/Fogra PostSrip Control Strip z polem kontrolnym do określenia rozdzielczości nadruku	71

Rys. 1.47. Rozróżnianie obszaru przylegającego bezpośrednio do elementu drukującego oraz obszaru niezadrukowanego. Obszar A zawiera satelity i zabrudzenia w obszarze linii/czcionki; obszar B zawiera satelity i zabrudzenia w obszarze	70
niezadrukowanym	72
Rys. 1.48. Schematyczne przedstawienie wymogów stawianych jakości procesu drukowania offsetowego zgodnie z normą ISO 12647-2	73
Rys. 1.49. Miejsce cyfrowych odbitek próbnych (walidacyjnej i kontraktowej) w przepływie prac wydawniczo-poligraficznych	73
Rys. 1.50. Banding	76
Rys. 1.51. Efekt ducha 1 – obraz wydrukowany w pierwszej kolejności, 2 – obraz wydrukowany w drugiej kolejności, 3 – obraz-duch pozytywowy, 4 – obraz-duch negatywowy	76
Rys. 1.52. Powtarzające się niepożądane elementy nadruku	77
Rys. 1.53. Powtarzające się niepożądane elementy nadruku	77
Rys. 1.54. Przykład rozlewania się atramentu	78
Rys. 1.55. Przykłady wad bleeding	79
Rys. 1.56. Przykłady bandingu	79
Rys. 1.57. Przykłady koalescencji	80
Rys. 2.1. Gęstość optyczna nadruku	93
Rys. 2.2. Przyrost punktu rastrowego na polu 50% dla atramentu kolorowego (średnia z C,M,Y) i atramentu czarnego (K)	94
Rys. 2.4. Rozpiętość barw: a) – rozpiętość barw odbitek natryskowych (płaskie wykresy chromatyczności nadruku); b) – powierzchnia płaskich wykresów chromatyczności (14)	95
Rys. 2.3. Kontrast druku dla atramentu kolorowego (średnia z C, M, Y) i atramentu czarnego (K)	95
Rys. 2.5. Ziarnistość nadruku apli dla atramentu kolorowego (średnia z C, M, Y) i atramentu czarnego (K)	96
Rys. 2.6. Mottling nadruku apli dla atramentu kolorowego (średnia z C, M, Y) i atramentu czarnego (K)	96
Rys. 2.7. Szerokość linii wydrukowanej atramentem czarnym (K) oraz cyan (C)	97
Rys. 2.8. Rozmycie linii wydrukowanej atramentem czarnym (K) oraz cyan (C)	97
Rys. 2.9. Strzępiastość linii wydrukowanej atramentem czarnym (K) oraz cyan (C).	98
Rys. 2.10. Schemat działania analizatora dynamiki penetracji	101
Rys. 2.11. Krzywe penetracji uzyskane w trakcie pomiaru na aparacie Emtec PEA	102
Rys. 2.12. Parametry określające dynamikę wnikania cieczy w papier	102
Rys. 2.13. Przykładowe wykresy równomierności penetracji cieczy w strukturę papieru	103
Rys. 2.14. Zależność intensywności penetracji cieczy w strukturę papieru od czasu penetracji dla papierów offsetowych	105
Rys. 2.15. Intensywność penetracji w punkcie $\rm t_{95}$ oraz zależność Mottle Index od Structure dla papierów offsetowych	105

Rys. 2.16.	Zależność intensywności penetracji cieczy w strukturę papieru od czasu penetracji dla papierów biurowych	106
Rys. 2.17.	Intensywność penetracji w punkcie t ₉₅ oraz zależność Mottle Index od Structure dla papierów biurowych	106
Rys. 2.18.	Zależność intensywności penetracji cieczy w strukturę papieru od czasu penetracji dla papierów Color Copy Coated Glossy	107
Rys. 2.19.	Intensywność penetracji w punkcie $\rm t_{95}$ oraz zależność Mottle Index od Structure dla papierów biurowych	107
Rys. 2.20.	Zależność intensywności penetracji cieczy w strukturę papieru od czasu penetracji dla papierów Color Copy Coated Silk	108
Rys. 2.21.	Intensywność penetracji w punkcie t95 oraz zależność Mottle Index od Structure dla papierów Color Copy Coated Silk	108
Rys. 2.22.	Zależność intensywności penetracji cieczy w strukturę papieru od czasu penetracji dla papierów Color Copy Uncoated Satin	109
Rys. 2.23.	Intensywność penetracji w punkcie t95 oraz zależność Mottle Index od Structure dla papierów Color Copy Uncoated Satin	109
Rys. 2.24.	Zależność intensywności penetracji cieczy w strukturę papieru od czasu penetracji dla papierów fotograficznych	110
Rys. 2.25.	Intensywność penetracji w punkcie ${\rm t_{95}}$ oraz zależność Mottle Index od Structure dla papierów fotograficznych	110
Rys. 2.26.	Zasada pomiaru (a) oraz interpretacja wyników otrzymanych na urządzeniu WSD (b)	111
Rys. 2.27.	Dynamika wydłużenia dla papierów o różnej gramaturze: papier Color Copy Coated Silk o gramaturze 135 g/m² (7) i 250 g/m² (8)	113
Rys. 2.28.	A (NxX) – macierz zmiennych niezależnych (czynniki wejściowe), gdzie N – liczba badanych rodzajów podłoży, X – liczba niezależnych zmiennych (parametrów podłoża). B (NxY) – macierz zmiennych zależnych, gdzie Y – liczba parametrów jakościowych nadruku (wielkości wyjściowe)	116
Rys. 2.29.	Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – rozdzielczość; b – szerokość linii pionowych	126
Rys. 2.30.	Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – szerokość linii poziomych; b – strzępiastość linii pionowych	126
Rys. 2.31.	Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – strzępiastość linii poziomych; b – rozmycie linii pionowych; c – rozmycie linii poziomych	126
Rys. 2.32.	Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – gęstość optyczna nadruku apli (K); b – kontrast druku	128
Rys. 2.33.	Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – rozdzielczość; b – szerokość linii poziomej	128
Rys. 2.34.	Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – szerokość linii pionowej; b – rozmycie linii poziomej	129
Rys. 2.35.	Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – rozmycie linii pionowej; b – strzępiastość linii poziomej	130

Rys. 2.36.	. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – strzępiastość; b – mottling	131
Rys. 2.37.	Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku: a – ziarnistość; b – rozpiętość barw	131
Rys. 2.38.	Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku (ink-jet CMY): a – prześwitywanie nadruku; b – rozpiętość barw	133
Rys. 2.39.	. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku (ink-jet CMY): a – przyrost rastrowej wartości tonalnej; b – kontrast druku	133
Rys. 2.40.	. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami jednorodności nadruku (ink-jet CMY): a – ziarnistość; b – mottling	134
Rys. 2.41.	. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami (ink-jet CMY): a – rozpiętość barw; b – stabilność nadruku (ΔΕ)	135
Rys. 2.42.	. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami (ink-jet CMY): a – szerokość linii; b – rozmycie linii; c – strzępiastość linii	136
Rys. 2.43.	. Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku (ink-jet, K): a – prześwitywanie nadruku; b – rozpiętość barw	137
Rys. 2.44.	Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami nadruku (ink-jet, K): a – przyrost rastrowej wartości tonalnej; b – kontrast druku	138
Rys. 2.45.	Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami jednorodności nadruku (ink-jet, K): a – ziarnistość; b – mottling	138
Rys. 2.46.	Zależności pomiędzy zmierzonymi a przewidzianymi parametrami (ink-jet CMY): a – szerokość linii; b – rozmycie linii; c – strzępiastość linii	139
Rys. 2.47.	. Gęstość optyczna nadruku: a – na druk farba czarną (K); b – nadruk farbą kolorową (średnia wartość z CMY)	142
Rys. 2.48.	Powierzchnia sześciokąta reprezentującego rozpiętość barw odbitek	143
Rys. 2.49.	Kolejność nanoszenia roztworu Ink Optimizer w procesie drukowania natryskowego	144
Rys. 2.50.	Fotomikrografia przekroju powłok powlekających zadrukowanych wodorozcieńczalną farbą Magenta: a – podłoże niepowlekane; b – podłoże powlekane PAV	146
Rys. 2.51.	. Kąt zwilżania powierzchni papieru a – papier bazowy niepowlekany, b – papier bazowy powlekany	147
Rys. 2.52.	Krzywe dynamiki penetracji wody w głąb papieru offsetowego (80 g/m ²) bez primera oraz z primerem: a – krzywe dynamiki penetracji w czasie 60 s; b – zwiększony fragment krzywych dynamiki penetracji w czasie 9,91 s	148
Rys. 2.53.	Krzywe dynamiki penetracji wody w głąb papieru powlekanego (170 g/m²) bez primera oraz z primerem	149
Rys. 2.54.	. Gęstość optyczna (nadruk Magenta): 1 – papier niepowlekany 80 g/m², 2 – papier powlekany 170 g/m²	150
Rys. 2.55.	Zdjęcia fragmentu odbitek natryskowych wykonanych: a – na papierze niepowlekanym (offsetowym); b – na papierze powlekanym	150

Rys. 2.56. Porównanie sześciokątów reprezentujących rozpiętość barw na papierach	
bez primera i z primerem: a – papier offsetowy (niepowlekany);	
b – papier powlekany	151
Rys. 2.57. Szerokość linii: 1– papier offsetowy 80 g/m²; 2 – papier powlekany 170 g/m²	152
Rys. 2.58. Widok nadruku linii: a – na papierze niepowlekanym;	
b – na papierze powlekanym	153
Rys. 2.59. Porównanie rozpiętości barw odbitek natryskowych i offsetowych	154

Spis tabel

Tabela 1.1. Podstawowe etapy elektrofotografii	12
Tabela 1.2. Technologia ciągłego strumienia	22
Tabela 1.3. Objętość bryły barw	46
Tabela 1.4. Klasyfikacja poli(alkoholu winylowego)	49
Tabela 1.5. Interpretacja mottlingu M-Score wg Fogra	64
Tabela 1.6. Trzy grupy parametrów jakościowych odbitek cyfrowych	74
Tabela 1.7. Trzystopniowa skala jakości wg M-Score	75
Tabela 2.1. Oznaczenie wybranych do badań papierów	8
Tabela 2.2. Wyniki zbadanych właściwości papierów	86
Tabela 2.3. Gładkość i grubość papieru 1 (niekalandrowanego i kalandrowanego) oraz rozdzielczość nadruku, uzyskanego na tym papierze (na podstawie testu Ugra/Fogra	ı) 89
Tabela 2.4. Wyniki pomiarów szerokości, rozmycia i strzępiastości linii (linia dwupikselowa osobno stojąca) dla papieru 1. Pomiary wykonano za pomocą urządzenia IAS (Qea) [107]	89
Tabela 2.5. Wyniki pomiarów szerokości, rozmycia i strzępiastości linii (linia dwupikselowa osobno stojąca) dla papierów 1-10. Pomiary wykonano za pomocą urządzenia IAS (Qea)	90
Tabela. 2.6. Rozdzielczości nadruku dla papierów 1-10 (w oparciu o test Ugra/ Fogra) oraz gładkości wg Bekka	90
Tabela 2.7. Gęstość optyczna, mottling, ziarnistość oraz rozpiętość barwy odbitek elektrofotograficznych wydrukowanych na papierach 1-10	91
Tabela 2.8. Maksymalne wartości różnicy barw charakteryzujące stabilność nadruku na arkuszu formatu A4	92
Tabela 2.9. Zestawienie wyników badań parametrów jakościowych nadruków wykonanych atramentem kolorowym (CMY)	98
Tabela 2.10. Zestawienie wyników badań parametrów jakościowych nadruków wykonanych atramentem czarnym (K)	99
Tabela 2.11. Wyniki badań penetracji cieczy w głąb struktury papieru oraz wskaźnika Cobb	104
Tabela 2.12. Deformacja papierów pod wpływem działania wody (dla czasu 10 s i 30 s)	112
Tabela 2.13. Istotność wpływu poszczególnych parametrów papieru na jakość nadruku	117
Tabela 2.14. Wartości istotności	118
Tabela 2.15. Wartości istotności	12
Tabela 2.16. Wartości istotności	122
Tabela 2.17. Wartości współczynników do równań	125
Tabela 2.18. Powierzchnia sześciokąta reprezentującego rozpiętość barw odbitek	143
Tabela 2.19. Parametry charakteryzujące proces penetracji wody w głąb papieru	146
Tabela 2.20. Powierzchnia sześciokąta charakteryzująca rozpiętość barw	152

Indeks

A

Atrament 10, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 37, 39, 45, 46, 47, 48, 49

B

Barwa 7, 22, 30, 41, 53, 54, 55, 62, 67, 74 Barwidło 29, 147 Barwnik 27, 28, 29, 45, 46, 48, 50, 52

D

Drukowanie cyfrowe - elektrofotograficzne 12, 13, 18, 19, 21, 22, 32, 33, 38, 45, 78, 82, 83 - natryskowe (ink-jet) 12, 21, 23, 24, 31, 39, 48, 83

E

Efekt ducha 77, 78 Elektrofotografia 12, 129, 134, 142, 160

F

Flash Fusing 18, 41, 42

G

Gamut barw 19, 20, 22, 48, 49, 76 Gęstość optyczna 42, 47, 53, 60, 61, 62, 69, 76 Głowica drukująca 23, 30, 39, 83

I

Index Mottle 63, 105, 106, 113, 116

K

Kąt zwilżania 47, 148, 149 Koalescencja 82 KodakStream 25 Kontrast druku 53, 62, 76 Kontrast nadruku linii 53 Korotron 14 Krwawienie druku 80

L

Linia 62,68
Ł

Ładowanie 13, 14, 16

Μ

Maszyny do drukowania cyfrowego

elektrofotograficznego 13, 18, 83
natryskowego 31

Model matematyczny

"Elektrofotografia-Gładkość" 142
"Elektrofotografia - Sumaryczna" 118, 119, 120, 124, 125, 160
"Ink-jet - Sumaryczna CMY" 118, 121, 122, 125, 160
"Ink-jet - Sumaryczna K" 118, 121, 123, 124, 125, 142, 160

Mottle Index 105, 106, 113, 116, 122, 123, 126, 160
Mottling 90, 93, 94, 98, 99, 100, 101, 116, 117, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 129, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 159

N

Naświetlanie obrazu 16

0

Objętość kropli 26, 147 Obraz utajony 12, 13

P

Papier - dedykowany 34, 35, 48, 49 - fotograficzny 37, 38 - kalandrowany 87, 90, 118 - kwalifikowany 35 - niepowlekany 20, 35, 43, 44, 45, 48, 49, 50, 67, 83 Parametry jakościowe nadruku 17, 43, 53, 67, 76, 83 Paskowanie 66, 77, 81 Penetracja 14, 148 Pigmenty 21, 28, 36, 52 Poli(alkohol winylowy) 7, 147 Poli(winylopirolidon) 7, 50, 147, 156, 161 Połysk 22, 37, 42, 53, 67 Powłoka papieru - błyszcząca 86, 143, 145 - matowa 37, 115, 143, 145 Primer 146, 147, 148, 150, 151, 154, 155, 156, 161 Przenoszenie obrazu tonerowego 16 Przestrzeń barw 54, 56, 57 Prześwitywanie nadruku 90, 95, 122, 123, 124, 125, 126, 134, 138, 139, 142, 160 Przyrost rastrowej wartości tonalnej 46, 53, 60, 61, 76, 77

Punkt rastrowy 53, 83

R

Rozdzielczość 15, 19, 22, 26, 39, 42, 54, 71, 72, 73, 76, 77, 83 Rozlewanie się atramentu 80 Rozmycie linii 68, 80 Rozpiętość barw 19, 28, 43, 44, 53, 60, 76, 83 Różnica barw 53, 76

S

Satelity 73, 74 Skorotron 14 Stabilność nadruku 54, 70, 71, 83 Strzępiastość linii 53, 77 Synteza obrazu wielobarwnego 17, 19, 53 System drukowania cyfrowego 11, 18, 20, 69 Szerokość linii 53, 68, 69

Ś

Światłotrwałość 54

Т

Technologia natryskowa - ciągłego strumienia 24, 28 - kropli na żądanie 24, 25, 26 - termiczna 25, 41 Toner - ciekły 16, 23, 45 - suchy 20 Tryb Greyscale 26

W

Wady druków 77, 80 Warstwa fotoprzewodząca 13 Wydłużenie papieru 102, 122, 123, 124, 134, 138 Wywoływanie obrazu - chmura pyłowa 14, 16 - dyspersyjne 14 - rewersyne 15, 16

- szczotka magnetyczna 14, 16

Ζ

Zespół drukujący 13, 19 Ziarnistość 53, 63, 64, 76

ISBN 978-83-7283-973-2