

Sposoby drukowania cyfrowego

Svitlana Khadzhynova
Stefan Jakucewicz



Politechnika Łódzka
Monografie 2016

Sposoby drukowania cyfrowego

**Svitlana Khadzhynova
Stefan Jakucewicz**

**Monografie Politechniki Łódzkiej
Łódź 2016**

Recenzenci:
prof. dr hab. inż. Włodzimierz Gogołek
prof. dr hab. inż. Svitlana Havenko

© Copyright by Politechnika Łódzka 2016

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 978-83-7283-754-7

Nakład 100 egz. Ark druk 15,0. Papier offset. 80 g 70 x 100

Druk ukończono w lipcu 2016 r.

Wykonano w Drukarni Quick-Druk, 90-562 Łódź, ul. Łąkowa 11

Nr 2172

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE	5
2. SYSTEMY DRUKOWANIA CYFROWEGO	16
2.1. Przepływ prac w systemach drukowania cyfrowego	16
2.2. Rozdzielczość cyfrowych maszyn drukujących	18
3. DRUKOWANIE ELEKTROFOTOGRAFICZNE	23
3.1. Początki elektrofotografii	23
3.2. Zasada drukowania elektrofotograficznego	24
3.3. Warstwy fotoprzewodzące	26
3.4. Proces ładowania warstwy fotoprzewodzącej	29
3.5. Proces naświetlania obrazu	34
3.6. Proces wywoływania obrazu	37
3.7. Proces przenoszenia obrazu na podłoże	43
3.8. Proces utrwalania	46
3.9. Oczyszczanie warstwy fotoprzewodzącej	53
3.10. Toner w drukowaniu elektrofotograficznym	55
3.11. Maszyny w drukowaniu elektrofotograficznym	62
3.11.1. Klasyfikacja maszyn elektrofotograficznych	62
3.11.2. Maszyny do drukowania wielobarwnego Kodak NexPress ..	67
3.11.3. Maszyny do drukowania wielobarwnego Xeikon	72
3.11.4. Maszyny do drukowania wielobarwnego HP Indigo	77
3.11.5. Maszyny do drukowania wielobarwnego firmy Xerox	83
3.11.6. Maszyny do drukowania monochromatycznego	91
3.12. Wady w drukowaniu elektrofotograficznym	96
3.13. Perspektywy rozwoju w drukowaniu elektrofotograficznym	98
4. DRUKOWANIE NATRYSKOWE	103
4.1. Technologia drukowania natryskowego	103
4.1.1. Początki drukowania natryskowego i obszary jego zastosowania	103
4.1.2. Mechanizm powstawania obrazu	104
4.1.3. Technologia ciągłego strumienia (CIJ)	106
4.1.4. Technologia kropli na żądanie (DOD)	109
4.1.5. Technologia drukowania natryskowego Kodak Stream	113
4.2. Głowice drukujące	114
4.2.1. Podstawowe charakterystyki głowic drukujących	114
4.2.2. Głowice typu i Scannig Head i Single Pass	119
4.3. Urządzenia do drukowania natryskowego	120
4.3.1. Arkuszowe i zwojowe maszyny natryskowe do drukowania nakładowego	120
4.3.2. Urządzenia natryskowe do drukowania etykiet i opakowań giętkich	125
4.3.3. Natryskowe urządzenia wielkoformatowe	126
4.3.4. Drukowanie natryskowe na kształtkach	129
4.3.5. Inne systemy drukowania natryskowego	132
4.4. Atramenty w drukowaniu natryskowym	134

4.4.1. Rodzaje atramentów.....	134
4.4.2. Pigment czy barwnik?.....	136
4.4.3. Atramenty wodorozcieńczalne (ang. <i>waterbased</i>).....	141
4.4.4. Atramenty rozpuszczalnikowe (solwentowe).....	143
4.4.5. Atramenty utrwalane promieniowaniem UV.....	145
4.4.6. Atramenty termotopliwe.....	150
4.4.7. Atramenty lateksowe.....	153
4.4.8. Atramenty olejowe.....	155
4.4.9. Atramenty termosublimacyjne.....	155
4.4.10. Właściwości atramentów.....	157
4.4.11. Inne rodzaje atramentów.....	159
4.5. Błędy w drukowaniu natryskowym.....	166
4.6. Perspektywy rozwoju w drukowaniu natryskowym.....	170
5. DRUKOWANIE CYFROWE TERMOGRAFICZNE.....	175
5.1. Głowice drukujące.....	176
5.2. Termografia bezpośrednia.....	177
5.3. Termotransfer.....	180
5.4. Termosublimacja.....	186
6. MAGNETOGRAFIA.....	189
6.1. Zapisywanie i wywoływanie obrazu magnetograficznego.....	190
6.2. Przenoszenie i utrwalanie obrazu.....	192
6.3. Cyfrowe maszyny drukujące firmy Nipson.....	192
6.4. Technologia Océ DI.....	193
7. INNE METODY DRUKOWANIA CYFROWEGO.....	198
7.1. Jonografia.....	198
7.2. Elkografia.....	202
8. PODŁOŻA DRUKOWE STOSOWANE W DRUKOWANIU CYFROWYM.....	206
8.1. Podział podłoży drukowych.....	206
8.2. Podłoża płaskie papierowe.....	208
8.3. Ogólne wymagania względem papierów przeznaczonych do drukowania cyfrowego.....	209
8.4. Podłoża w przemysłowym drukowaniu elektrofotograficznym.....	212
8.5. Podłoża w przemysłowym drukowaniu natryskowym (ink-jet).....	218
8.6. Podłoża w drukowaniu wielkoformatowym.....	224
8.7. Podłoża do cyfrowych drukarek biurowych.....	227
8.8. Zakończenie.....	231
9. PODSUMOWANIE.....	234
INDEKS.....	236

1. WPROWADZENIE

Drukowanie cyfrowe zrewolucjonizowało świat poligrafii. Dzięki licznym zaletom, takim jak możliwość druku zmiennych danych, druk na żądanie oraz opłacalność przy drukowaniu małych nakładów ciągle rozszerza swój udział na rynku poligraficznym. Obecnie drukowanie cyfrowe obejmuje ok. 15% całego rynku poligraficznego w Europie (ok. 20% w USA), a badania potwierdzają, że udział ten będzie wzrastał i w 2018 r. osiągnie 30% udziału w rynku poligraficznym w Europie [1].

Druk zmiennych danych (ang. *variable data print, VDP*) – to specjalna forma drukowania cyfrowego, w której różne elementy (jak tekst, grafika czy zdjęcia) można zmieniać na poszczególnych użytkach w ramach jednego nakładu, a w dodatku w jednym przebiegu maszyny drukującej, czyli bez konieczności jej zatrzymywania. Ilość zmiennej informacji jest praktycznie nieograniczona. Drukowanie zmiennych danych znajduje zastosowanie przede wszystkim w marketingu bezpośrednim, reklamie czy drukowaniu transpromocyjnym. Wykorzystywanie zmiennych danych pozwala na bezpośrednią, niemal osobistą, a przez to znacznie bardziej efektywną komunikację z klientem. Nowoczesne maszyny cyfrowe (arkuszowe i zwojowe) umożliwiają dziś realizację kompleksowych projektów z gwarancją najwyższej jakości druku.

Istnieje wiele poziomów stosowania zmiennych danych – od prostej zmiany danych adresowych, po pełne wersjonowanie, gdzie tekst i grafika są dopasowywane do konkretnych grup odbiorców. Szczytem możliwości jest natomiast produkcja użytków dopasowanych do indywidualnego odbiorcy.

W przypadku drukowania zmiennych danych używana jest technologia drukowania cyfrowego łącząca bazy danych, w których znajduje się zawartość dla drukowanych dokumentów, z urządzeniem drukującym. Specjalne oprogramowanie pomaga sprawnie zarządzać danymi i pozwala na określenie wyboru określonej zawartości z bazy danych i rozmieszczenie jej w dokumencie. Druk zmiennych danych można wykorzystywać w nakładach o różnej objętości – od małych, indywidualnych zleceń, po duże zamówienia z sektora bankowego, energetycznego czy handlu detalicznego. Poniżej przedstawiono kilka możliwości zastosowania danych zmiennych w drukowaniu.

Druk transakcyjny. Są to różnego rodzaju dokumenty finansowe. Za przykład mogą posłużyć rachunki od operatorów telekomunikacyjnych i dostawców energii.

Druk transpromocyjny. W tym przypadku punktem wyjścia są szczególne potrzeby odbiorcy, do których nadawca dopasowuje dodatkowe treści reklamowe umieszczane na dokumentach finansowych (np. na rachunkach); czyli jest to połączenie druku transakcyjnego z materiałem reklamowym.

Mailing bezpośredni (ang. *direct mailing*). W tym segmencie istnieje wiele sposobów na nawiązanie kontaktu z konsumentem:

- a) pozyskiwanie potencjalnych klientów (ang. *lead generation*) – list reklamowy lub ofertowy,
- b) wysyłka bezpośrednia (ang. *direct order*) – oferta dołączana do wysłanego towaru,
- c) generowanie ruchu (ang. *traffic generation*) – informacje o wydarzeniach, wzbogacone np. o kupony rabatowe,
- d) pozyskiwanie informacji (ang. *information gathering*) – korespondencja mająca na celu pozyskanie informacji od klienta, często wzbogacona o ofertę promocyjną mającą zachęcić odbiorcę do udzielenia informacji,
- e) komunikacja z uczestnikami programów lojalnościowych (ang. *loyalty communication*) – ta forma komunikacji polega na budowaniu i utrzymywaniu relacji z klientami w ramach programu lojalnościowego – korespondencja może zawierać informacje o nowych produktach i usługach czy akcjach promocyjnych [2, 3].



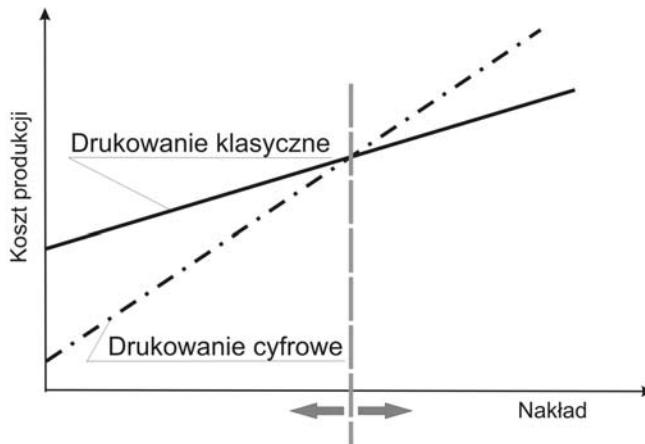
Rys. 1.1. Zastosowanie druku cyfrowego

Źródło: Bennett P.K., Levenson H.R., Romano F.J.: *Sprawocznik po cyfrowej pieczęci i pieczęci pierzeiennych danych*. Print – Media center, Moskwa 2007, s. 29.

Wszystkie te działania mają pomóc w pozyskaniu nowych klientów oraz długofalowo wzmocnić przywiązanie tych już zdobytych.

Z kolei do zalet **drukowania na żądanie** (ang. *print on demand*) należy to, że pozwala ono na wykonanie zlecenia w krótkim terminie. Za przykład może posłużyć drukowanie książek na żądanie (ang. *books on demand, BOD*) – kiedy to dopiero czytelnik zainteresowany problematyką zawartą w danej książce zamawia jej wydruk. Drukowanie cyfrowe zapewnia też szybki dodruk egzemplarzy w przypadku, kiedy dany tytuł książkowy jest bardzo popularny. W związku z powyższym klient nie ponosi kosztów magazynowania.

Drukowanie niskich nakładów. Technologia cyfrowa świetnie sprawdza się w przypadku drukowania niskich nakładów. Można drukować nakład w wysokości od jednego egzemplarza. Pozwala to na wydruk nakładu próbnego, sondującego rynek w obszarze popytu na przykład na daną książkę lub opakowanie. W związku z powyższym klient nie ponosi kosztów magazynowania oraz ryzyka wydrukowania zbyt dużego nakładu. Egzemplarze próbne i nakład docelowy drukowane są na tym samym urządzeniu, co zapewnia utrzymanie wysokiej jakości. Drukowanie niskich nakładów znajduje swoje zastosowanie w produkcji gazet, książek, etykiet, opakowań, reklamy i innych produktów poligraficznych. Drukowanie cyfrowe jest bardziej opłacalne niż tradycyjne technologie już przy średnich i niskich nakładach.



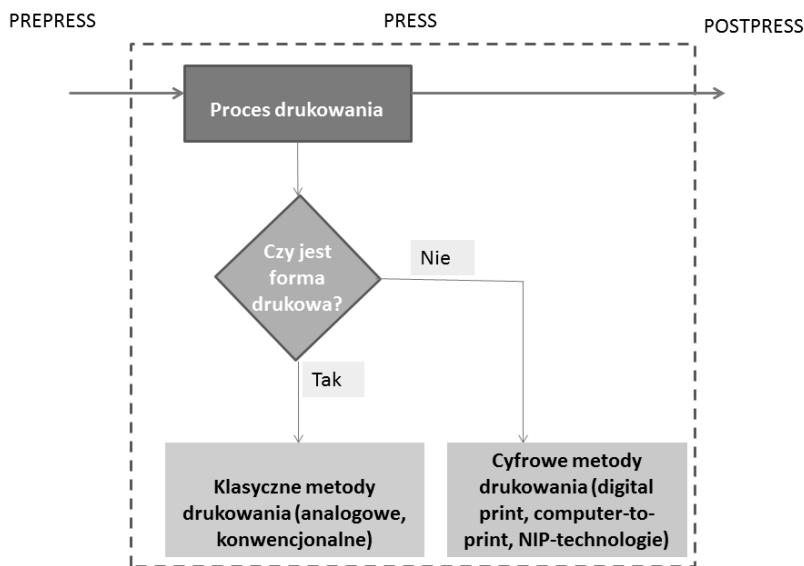
Rys. 1.2. Zakres opłacalności drukowania cyfrowego i klasycznego

Źródło: własne.

Niższe koszty procesu drukowania cyfrowego są spowodowane tym, że w technice druku cyfrowego odpada szereg operacji związanych z wykonaniem form drukowych czy żmudnym procesem narządu. Trzeba zaznaczyć, że granica opłacalności jest

elastyczna i zależy od wielu czynników, przede wszystkim konkretnego rozwiązania technicznego (maszyny drukującej). W miarę wzrostu wydajności maszyn cyfrowych oraz zmniejszenia cen na materiały do drukowania cyfrowego, granica ta będzie się przesuwać w stronę wyższych nakładów.

Drukowanie cyfrowe jest to proces drukowania, który polega na tym, że dane zawarte w pliku cyfrowym za pomocą maszyn cyfrowych i specjalnych środków barwiących zostają przeniesione na podłoże zadrukowywane. Każdy proces drukowania, w którym nie występuje forma drukowa w klasycznym rozumieniu tego pojęcia, można sklasyfikować jako drukowanie cyfrowe.

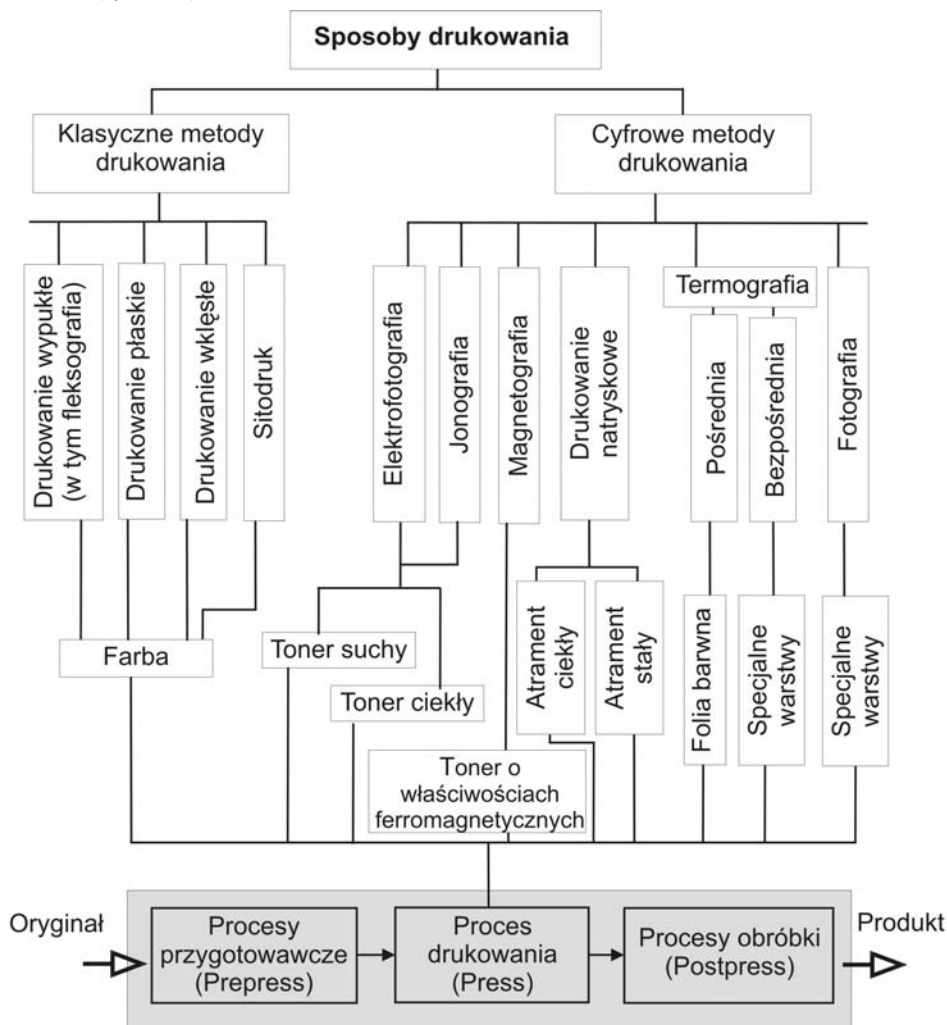


Rys. 1.3. Zasada podziału na techniki drukowania cyfrowego i klasycznego

Źródło: własne.

Obecnie wszystkie techniki drukowania można podzielić na techniki druku klasycznego (analogowego) oraz techniki druku cyfrowego. Proces drukowania jest to proces wielokrotnej reprodukcji (powielania) informacji (ilustracji, grafiki, tekstu) polegający na nanoszeniu materiału barwiącego (farby) na podłoże drukowe za pomocą nośnika obrazu (na przykład formy drukowej). 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 również stykowymi (ang. *impact printing*). Do klasycznych technik drukowania należą:

drukowanie wypukłe (typografia, fleksografia, typooffset); drukowanie płaskie (offset), drukowanie wklęsłe (rotograwiura, staloryt, drukowanie tamponowe) oraz sitodruk (rys. 1.4).



Rys. 1.4. Klasyfikacja sposobów drukowania

Źródło: Kipphan H.: *Handbuch der Printmedien*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2001, s. 42.

Klasyczne metody drukowania posiadają szereg zalet:

- technologie drukowania klasycznego umożliwiają drukowanie szybko i tanio średnich i wysokich nakładów,
- offset i rotograwiura, a obecnie już nawet i drukowanie fleksograficzne reprodukują obraz z bardzo wysoką jakością,

- drukowanie analogowe w przeciwieństwie do cyfrowego zazwyczaj nie wymaga drogich podłoży powlekanych, aby uzyskać satysfakcjonujące wyniki,
- farby stosowane w technikach analogowych zazwyczaj są tańsze od tonerów lub atramentów stosowanych w druku cyfrowym,
- kolory specjalne łatwiej jest drukować analogowo niż cyfrowo, drukarze mogą tworzyć własne kolory poprzez mieszanie wybranych farb w określonych proporcjach,
- techniki analogowe są mocno zakorzenione na rynku i nie wymagają nakładów inwestycyjnych na szkolenia lub na znaczącą rozbudowę sprzętową.

Do wad drukowania klasycznego należy zaliczyć:

- w metodach drukowania klasycznego nie jest możliwe drukowanie danych zmiennych (wyjątek stanowi użycie numeratorów),
- potrzebne są operacje wykonania form drukowych i narzędzia maszyn,
- reprodukowane obrazy są zazwyczaj ograniczone rozmiarowo ze względu na limitowany rozmiar form drukowych,
- do wykonania form drukowych jest wymagany dodatkowy sprzęt specjalistyczny,
- zazwyczaj ten rodzaj druku nie nadaje się do krótkich nakładów,
- drukowanie analogowe generuje dużą ilość odpadów i naraża środowisko naturalne na większe skażenie [4].

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 lub bezuderzeniowymi, bezdociskowymi. W literaturze angielskojęzycznej używa się nazwy *non impact printing* (NIP) lub najczęściej *digital print* oraz *computer-to-print*.

Ten sposób drukowania ma następujące cechy charakterystyczne:

- przede wszystkim nie występuje klasyczna materialna forma drukowa: forma istnieje w postaci cyfrowej lub „wirtualnej” (w wypadku drukowania natryskowego, termotrasferowego i termosublimacyjnego) lub też zawiera obraz utajony (w wypadku elektrofotografii, elkografii, magnetografii, jonografii),
- istnieje możliwość dokonywania zmiany informacji w trakcie drukowania.

Rozwój drukowania cyfrowego, które wynaleziono ponad 20 lat temu następował dość szybko. Początkowo szerokie zastosowanie znalazło drukowanie elektrofotograficzne, a obecnie najprężniej rozwija się drukowanie natryskowe

(ang. *ink-jet*). Na początku drukowanie cyfrowe umożliwiało zadrukowywanie formatów A4 i A3, a obecnie przekroczyło już format A2. Długa dyskusja na temat porównywania jakości odbitek cyfrowych z klasycznymi w efekcie została rozstrzygnięta i obecnie można powiedzieć, że jakość odbitek cyfrowych dorównała jakości odbitek offsetowych, a ze względu na wybrane parametry może być nawet lepsza. Również wydajność maszyn druku cyfrowego wciąż rośnie i zbliża się do wydajności maszyn konwencjonalnych. 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. Cyfrowy druk posiada teraz ugruntowaną pozycję na rynku poligraficznym z ponad miliardem odbitek A4 produkowanych rocznie. Zastosowanie technik cyfrowych obecnie rośnie i migruje do takich obszarów przemysłu jak opakowania, druk dekoracyjny i funkcjonalny.

Pojawienie się drukowania cyfrowego jest ściśle związane z pojawieniem się i rozwojem technik komputerowych. Poniżej przytoczono kilka dat ważnych dla rozwoju drukowania cyfrowego.

1977 r. – firma Xerox opracowała pierwszą drukarkę laserową Xerox 9700.

Lata 80. – rozwój drukarek komputerowych – firmy IBM, Canon i nieistniejąca już firma QMS rozpoczęły produkcję drukarek laserowych.

1983 r. – firma Canon opracowała tani mechanizm druku laserowego o symbolu LPB-CX. Mechanizm ten pozwalał na drukowanie z szybkością 8 stron na minutę z rozdzielczością 300 dpi. Otworzyło to drogę do produkcji urządzeń o niewielkich rozmiarach. Powstały trzy małe drukarki: Apple Laser-Writer, Canon LBP-8A1 i Hewlett-Packard LaserJet Classic. Ostatnia z nich jest uważana za pierwszą drukarkę laserową do użytku domowo-biurowego. Stała się ona swego rodzaju standardem dla następnych rozwiązań.

Lata 80. – rozwój systemów DTP (ang. *desktop publishing*).

1993 r. – data jest uważana za początek druku cyfrowego. W tym roku na wystawie IpeX zaprezentowano maszyny do druku cyfrowego Indigo E-Print 1000 (firma Indigo) i Xeikon DCP-1 (firma Xeikon). Są to maszyny elektrofotograficzne, w E-Print zastosowano toner w postaci ciekłej, a w DCP-1 – toner suchy.

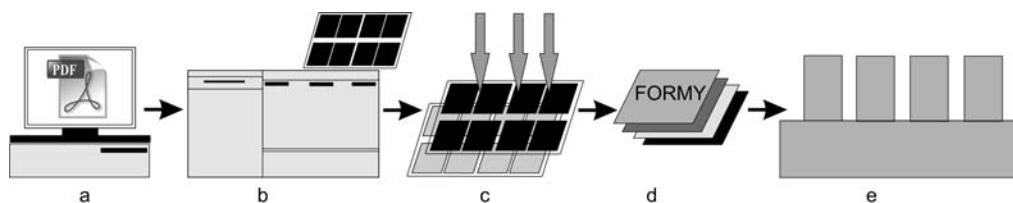
Cyfrowe technologie w poligrafii (*computer-to-...*)

Cyfrowe technologie w pierwszej kolejności znalazły swoje zastosowanie w przygotowalni poligraficznej, na początku w procesach DTP, a następnie przy wykonywaniu form kopiowych i drukowych. Cyfrowy przepływ prac w systemach DTP jest cyklem składającym się z wielu etapów.

- Wprowadzenie tekstu za pomocą odpowiednich aplikacji, np. MS Word, OCR (Optical Character Recognition) lub z nośników danych cyfrowych, albo pozyskanie go za pomocą łącz internetowych oraz jego obróbka.
- Uzyskanie lub tworzenie materiału ilustracyjnego w postaci cyfrowej (w aplikacjach grafiki wektorowej lub rastrowej, takich jak Adobe Illustrator, Adobe Photoshop lub innych) lub digitalizacja (przekształcanie w postać cyfrową) oryginałów analogowych, takich jak: fotografie, rysunki techniczne, obrazy wykonane innymi metodami. Obróbka materiału ilustracyjnego.
- Projektowanie układu graficznego pojedynczych stron publikacji wielostronicowej lub użytku. To zadanie jest realizowane za pomocą specjalnych aplikacji (np. QuarkXPress, Adobe InDesign lub innych). Tak przygotowana publikacja zapisywana jest w postaci pliku postscriptowego lub (coraz częściej) pliku PDF i może być weryfikowana za pomocą cyfrowej odbitki próbnej.

Po sprawdzeniu prawidłowości wszystkich elementów pracy jest ona albo przesyłana do naświetlarki filmów, albo do naświetlarki form drukowych, albo do konwencjonalnej maszyny drukującej, w której zespoły drukujące wyposażone są w naświetlarki form drukowych, albo do cyfrowej maszyny drukującej.

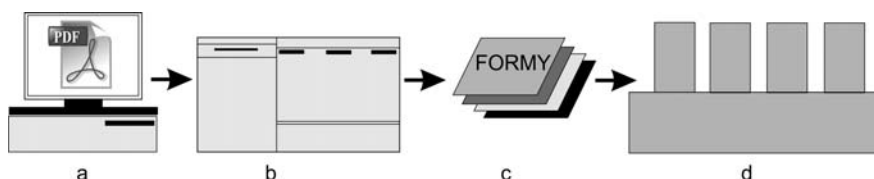
Technologia od komputera do formy kopiowej (ang. *computer-to-film*, CtFilm) polega na wykonywaniu zrastrowanych form kopiowych (negatywów i diapozytywów) dzięki bezpośredniemu naświetlaniu filmu światłoczułego za pomocą promienia lasera oraz obróbki naświetlonego filmu w specjalnych naświetlarkach do filmów, w których proces naświetlania jest sterowany komputerowo. Następnym etapem jest wykonanie form drukowych w procesie naświetlania form kopiowych na płytę formową (fotopolimerową płytę fleksograficzną lub presensybilizowaną płytę offsetową) w klasycznej kopioramie. Po odpowiedniej obróbce takich płyt uzyskuje się formy drukowe dla różnych technik drukowania. Tak uzyskana forma jest montowana w tradycyjny sposób na maszynie drukującej.



Rys. 1.5. Schemat technologiczny CtFilm: a) wprowadzanie danych cyfrowych, b) otrzymywanie formy kopiowej, c) naświetlanie form drukowych w kopioramie i ich obróbka, d) gotowe formy drukowe, e) instalacja form w maszynie drukującej i proces drukowania

Źródło: własne.

Pierwsze naświetlarki CtFilm umożliwiały naświetlanie obrazu na wąski film – naświetlano pojedyncze strony, które następnie wywoływano, cięto i ręcznie wykonywano operację montażu. Następnym krokiem było wprowadzenie naświetlarek półformatowych i formatowych wraz z oprogramowaniem do cyfrowego montażu. Po podłączeniu wywoływarki w systemie on-line wydajność procesu wykonywania form kopiowych znacznie wzrosła. Kolejnym krokiem była logiczna kontynuacja naświetlania zmontowanych wyciągów na płycie. Tak pojawiła się technologia od komputera do formy drukowej.



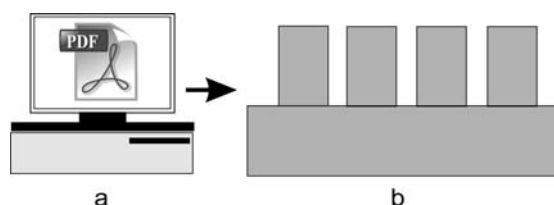
Rys. 1.6. Schemat technologiczny CtPlate: a) wprowadzanie danych cyfrowych, b) proces wykonania form drukowych w naświetlarkach, c) gotowe formy drukowe, d) instalacja form w maszynie drukującej i proces drukowania

Źródło: własne.

Technologia od komputera do formy drukowej (ang. *computer-to-plate*, CtPlate) jeszcze bardziej zintegrowała cyfrowo proces wykonania form drukowych. W technologii CtPlate całkowicie wyeliminowano proces naświetlania form kopiowych, gdyż formy są wytwarzane w jednym etapie w specjalnych naświetlarkach do form. W takiej naświetlarce obraz zostaje zapisany (naświetlony) za pomocą promienia lasera bezpośrednio w odpowiedniej warstwie płyty drukowej, a po operacjach obróbki lub bez (w przypadku płyt bezprocesowych) uzyskuje się gotową

formę drukową. W tym procesie uzyskuje się wyższą jakość form drukowych, jak również i wyższą wydajność procesu wykonania form. Wykonane formy w tradycyjny sposób montowane są w maszynie drukującej [5].

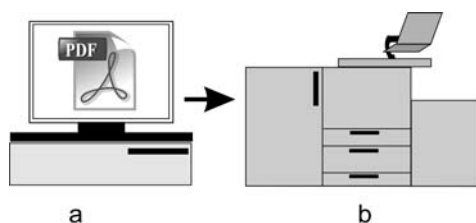
Technologia od komputera do maszyny drukującej, w której zespoły drukujące wyposażone są w naświetlarki CtPlate (ang. *computer-to-press* (CtPress) albo *direct imaging* (DI)), zintegrowała cyfrową przygotowanie z maszyną drukującą. Materiałna forma drukowa (np. offsetowa) jest wytwarzana – metodą cyfrową – bezpośrednio w maszynie drukującej. Pozwala to na szybki sposób wykonywania wysokiej jakości zestawu form drukowych, które w momencie wykonywania już są zamocowane na cylindrach formowym. Ułatwia to proces spasoowania obrazu na odbitce i skraca proces narządu maszyny. W tej technologii jednak nie ma możliwości dokonywania zmiany informacji w trakcie drukowania, gdyż proces drukowania odbywa się z klasycznych form drukowych [6].



Rys. 1.7. Schemat technologiczny CtPress: a) wprowadzanie danych cyfrowych, b) otrzymywanie zestawu form drukowych zamocowanych na cylindrach formowym w maszynie drukującej i proces drukowania

Źródło: własne.

Technologia od komputera do cyfrowej maszyny drukującej (ang. *Computer-to-Print*, *CtPrint*) polega na tym, że proces drukowania odbywa się wprost z danych cyfrowych w specjalnych maszynach do druku cyfrowego.



Rys. 1.8. Schemat technologiczny CtPrint: wprowadzanie danych cyfrowych a) oraz proces drukowania cyfrowego b)

Źródło: własne.

Do najważniejszych zalet drukowania cyfrowego należą: stosunkowo niski koszt odbitki drukowej, prawie niezależny od wysokości nakładu, możliwość drukowania danych zmiennych oraz drukowania niskich nakładów wraz z łatwym wznowieniem drukowanych nakładów bez ponoszenia dużych kosztów. Pierwsze urządzenia do drukowania cyfrowego wykorzystywały metody druku elektrofotograficznego, następnie opracowano urządzenia do druku cyfrowego magnetograficznego i natryskowego (lata 90.). W kolejnych latach pojawiały się nowe techniki drukowania cyfrowego. Obecnie maszyny do drukowania cyfrowego mogą być przeznaczone do druku czarno-białego lub wielobarwnego. Standardem drukowania wielobarwnego jest druk CMYK (ang. *C* – cyan, *M* – magenta, *Y* – yellow, *K* – black), ale część maszyn, oprócz zestawu CMYK, może drukować kolorami dodatkowymi. Maszyny mogą być wykonane w wersji zwojowej lub arkuszowej [7].

Według prognozy SITMERS PIRA przewiduje się do roku 2017, w odniesieniu do bazowego roku 2012, wzrost drukowania cyfrowego, w tym elektrofotografii, o 34,2%, zaś drukowania natryskowego o 75,3% [8].

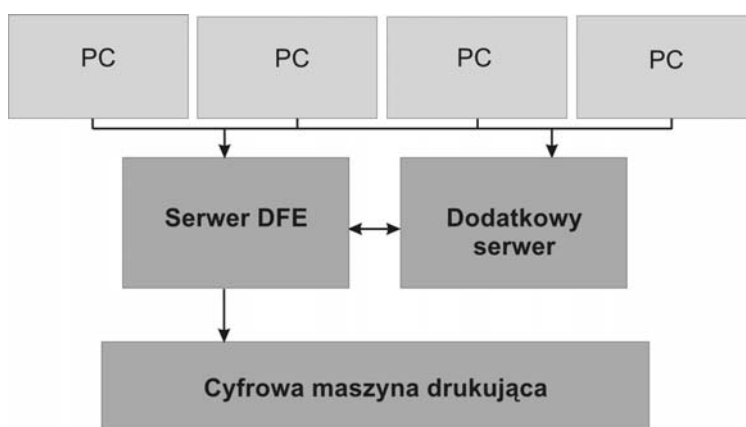
Literatura

- [1] Khadzhynova S.: Opakowanie pod znakiem cyfry. Przegląd Papierniczy nr 11, 2013, s. 573-575.
- [2] Seidl M.: Dane dobrze podane. Druk zmiennych danych.
http://www.printernet.pl/pg/pl/content/druk_cyfrowy/dane_dobrze_podane_druk.html (10.02.2016).
- [3] Bennett P.K., Levenson H.R., Romano F.J.: Sprawocznik po cyfrowej pieczęci i pieczęci pieriemniennych danych. Print – Media center, Moskwa 2007.
- [4] Godawa E.: Druk cyfrowy i druk tradycyjny. Czy naprawdę stoimy przed dylematami wyboru? Świat Druku nr 2, 2006.
<http://archiwum.swiatdruku.eu/article/articleview/2222/1/150/> (10.02.2016).
- [5] Gehman C.: Systemy produkcyjne w poligrafii. COBR PP, Warszawa 2007.
- [6] Khadzhynova S. (Chadżynowa S.), Stępień K.: Maszyny drukujące w technologii Computer-to-Press. Świat Druku nr 3, 2003.
<http://archiwum.swiatdruku.eu/article/articleview/1223/1/109/> (12.02.2016).
- [7] Castrejón-Pita J.R., Baxter W.R.S., Morgan J., Temple S., Martin G.D., Hutchings I.M.: Future, Opportunities and Challenges of Inkjet Technologies.
<https://www.repository.cam.ac.uk/bitstream/handle/1810/244791/Castrejón-circulation.pdf?sequence=1> (02.03.2014).
- [8] Waite N.: Overview of Global Printing Industry. Graphispag Digital, Barcelona, April 2013. http://media.frabcon.es/content/5049013/docs/ponencias/Ppt_Waite_Nick.pdf (10.02.2014).

2. SYSTEMY DRUKOWANIA CYFROWEGO

2.1. Przepływ prac w systemach drukowania cyfrowego

System drukowania cyfrowego stanowi cyfrowa maszyna drukująca wraz oprogramowaniem. Przygotowana do drukowania cyfrowego publikacja w postaci pliku cyfrowego (PDF) jest przekazywana do serwera DFE (Digital Front End) – jest to system, przeznaczeniem którego jest połączenie stacji roboczych (PC) z cyfrową maszyną drukującą. Raster Image Procesor (RIP) – jest jednym z modułów DFE serwera. Inne moduły DFE umożliwiają takie operacje jak impozycja, zarządzanie barwą, sterowanie procesem zamówień przez Internet, archiwizowanie prac, automatyzowanie procesu przepływu prac (ang. *workflow*) i proces wykonania odbitki próbnej, uzyskiwanie dostępu do bazy danych i in.



Rys. 2.1. Typowy przepływ prac z udziałem maszyny cyfrowej

Źródło: Bennett P.K., Levenson H.R., Romano F.J.: *Sprawocznik po cyfrowej pieczęci i pieczęci pieriemiennych danych*. Print – Media center, Moskwa 2007, s. 56.

Systemy drukowania cyfrowego mogą drukować tak informację statyczną (niezmienna), jak i zmienną (druk zmiennych danych (VDP)). Ze względu na to, że praca z danymi zmiennymi przewiduje bardziej skomplikowany projekt publikacji, przepływ prac z VDP będzie też bardziej skomplikowany. Taki przepływ prac składa się z utworzenia projektu pracy, kompletowania i wyprowadzenia informacji (rys. 2.2).

Projekt zawiera bazę danych zmiennych, które mogą być w postaci tekstowej lub graficznej, oraz zasady/algorytm wyznaczające w jaki sposób będą dobierane elementy statyczne i zmienne oraz w jaki sposób będą ze sobą połączone. Następnie wszystkie elementy są połączone za pomocą specjalnego oprogramowania dla VDP. W ostatnim etapie praca jest skierowana do serwera DFE i następnie odbywa się proces drukowania.



Rys. 2.2. Przepływ prac w drukowaniu danych zmiennych

Źródło: Bennett P.K., Levenson H.R., Romano F.J.: *Sprawocznik po cyfrowej pieczęci i pieczęci pieriemniennych danych. Print – Media center, Moskwa 2007, s. 86.*

Zgodnie z prawem Moore'a, moce obliczeniowe komputerów podwajają się co 18 miesięcy, co stwarza dobre warunki do drukowania cyfrowego. W przeszłości był okres, kiedy to cyfrowe maszyny drukujące drukowały szybciej, niż RIP zdążał obrać pliki, a moc procesorów ograniczała proces zarządzania barwami i ilość zmiennej informacji możliwej w drukowaniu. Obecnie takich ograniczeń nie ma, a poziom skomplikowania i rodzaje prac z danymi zmiennymi są nieograniczone [1].

Oprócz serwera DFE cyfrowa maszyna drukująca posiada system sterujący zintegrowany z maszyną (kontroler wbudowany). Pozwala on na identyfikację rodzaju papieru w podajnikach (w przypadku maszyny arkuszowej), kontroluje zużycie papieru, tonera/atramentu i innych materiałów.

Urządzeniem wyjściowym w systemach CtPrint jest cyfrowa maszyna drukująca. Zrastrowany za pomocą RIP plik cyfrowy jest przekazywany do cyfrowego urządzenia drukującego. Podstawową charakterystyką maszyny cyfrowej jest

maksymalna rozdzielczość, którą wyznacza się liczbą punktów na cal (dpi), możliwych w reprodukcji obrazu. Na przykład jakość cyfrowej odbitki cyfrowej wydrukowanej na cyfrowej maszynie drukującej z rozdzielczością 2400 dpi będzie lepsza w porównaniu do urządzenia z rozdzielczością 600 dpi.

Główne zadanie urządzeń drukujących to drukowanie, ale niektóre urządzenia posiadają również operacje finiszingu on-line, w celu uzyskania na wyjściu gotowej produkcji. Maszyny zwojowe mogą posiadać opcje cięcia, a wąskostęgowe maszyny zwojowe do drukowania etykiet – cały szereg operacji uszlachetniania (lakierowanie, tłoczenie i in.) odbitek plus wykrawanie i nawinięcie ażuru. Maszyny arkuszowe mogą posiadać opcję zbierania wkładu, zszywania za pomocą zszywek i wiele innych operacji obróbki po druku on-line.

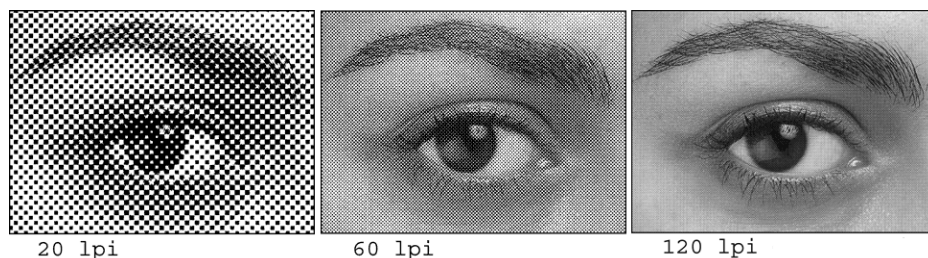
Współczesne systemy druku cyfrowego oparte są na kilku technologiach drukowania: elektrofotograficznej, natryskowej, termograficznej, magnetograficznej, jonograficznej i in. Producenci systemów do drukowania cyfrowego mogą opracowywać indywidualne oprogramowanie pod konkretny model maszyny drukującej bądź korzystać z istniejących gotowych rozwiązań. Oprócz tego, w przypadku niektórych systemów drukowania cyfrowego istnieje możliwość korzystania tylko z jednej opcji oprogramowania, a w przypadku innych – jest kilka opcji do wyboru.

2.2. Rozdzielczość cyfrowych maszyn drukujących

Najważniejszym parametrem cyfrowej maszyny drukującej jest rozdzielczość. Rozdzielczość urządzeń wyjściowych, na przykład cyfrowych maszyn drukujących lub naświetlarek CtPlate jest podawana w jednostkach dpi (punktów na cal). W przypadku naświetlarek może to być liczba pozycji plamek lasera na jednostkę długości (laser naświetla płytę offsetową). W przypadku cyfrowych maszyn drukujących elektrofotograficznych to również może być liczba możliwych plamek lasera na jednostkę długości. Laser w tym przypadku rozładowuje odpowiednie miejsca naładowanej warstwy fotoprzewodzącej. W przypadku maszyn natryskowych jest to rozdzielczość głowicy drukującej, którą określa się liczbą dysz natryskowych na jednostkę długości. Jeżeli rozdzielczość w obydwu kierunkach (poziomym i pionowym) jest jednakowa, to zazwyczaj jest podawana w postaci jednej liczby, na przykład 600 dpi, a jeżeli – różna, to podaje się dwie liczby, na przykład 800x1200 dpi.

Odwzorowanie rzeczywistej skali tonalnej oryginałów na reprodukcji w klasycznych i cyfrowych technikach drukowania odbywa się za pomocą punktów rastrowych, które uzyskuje się na etapie procesu rastrowania. Oko ludzkie ma ograni-

czoną możliwość rozróżniania drobnych elementów. Zalecane są różne liniatury dla różnych prac drukowanych i różnych technik drukowania. Standardem dobrej jakości jest liniatura 60 lin/cm i wyżej dla rastra autotypijnego (AM). Liniaturę zgodnie z normą ISO 12647-1: 2013 oznacza się w jednostkach liczba linii $\times \text{cm}^{-1}$, ale zwyczajowo używa się również oznaczeń l/cm (linii na centymetr) lub lpi (linii na cal) [2].



Rys. 2.3. Porównanie obrazu zrastrowanego z liniaturą 20 lpi, 60 lpi i 120 lpi

Źródło: <http://www.ukrprint.com/prepress/theory/intro1.php> (10.02.2016).

Obecnie rastrowanie jest realizowane elektronicznie za pomocą rastrującego oprogramowania RIP. Wykonuje się tę operację na przykład w naświetlarkach cyfrowych w trakcie wykonania form drukowych dla klasycznych technik drukowania. Na rysunku 2.4 przedstawiono strukturę takiej komórki rastrowej powstałej w trakcie cyfrowego rastrowania.

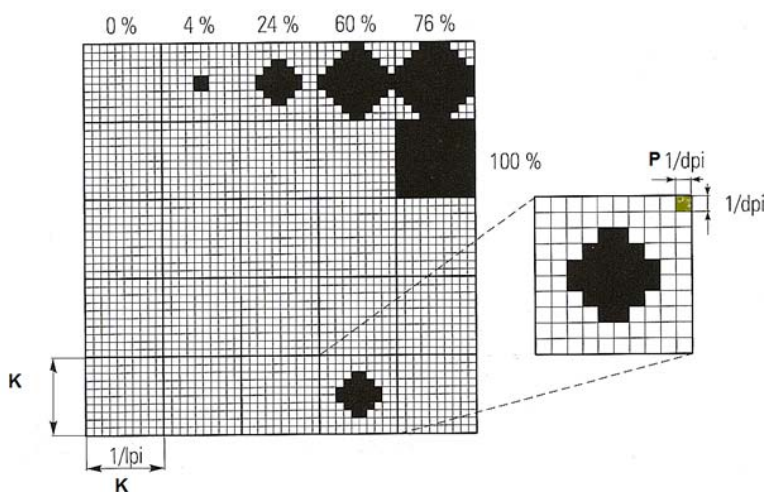
Punkt rastrowy powstaje w ramach komórki rastrowej (bok komórki oznaczono litera K). Z kolei komórka rastrowa jest zbudowana z pełnej liczby pikseli (P) – możliwych pozycji plamek lasera w naświetlarce CtPlate [3]. Zależność pomiędzy rozdzielczością systemu naświetlającego (A) a liniaturą rastra (L) dobiera się w taki sposób, aby umożliwić odwzorowanie przez komórkę rastrową pełną liczbę stopni szarości (poziomów szarości), a inaczej – liczbę możliwych różnych wielkości punktu rastrowego w tej komórce (G):

$$G = \left[\frac{A}{L} \right]^2 + 1, \quad (2.1)$$

gdzie: G – stopnie szarości (poziomy szarości), możliwe do uzyskania przez daną komórkę rastrową,

A – rozdzielczość systemu cyfrowego, dpi,

L – liniatura rastra, lpi.

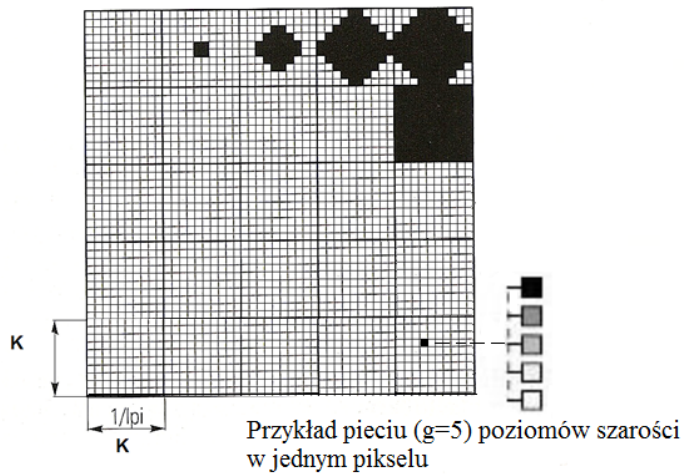


Rys. 2.4. Budowa punktu rastrowego w cyfrowych systemach wyjściowych (na przykład w naświetlarkach CtPlate: K – komórka rastrowa, P – piksel)

Źródło: Panak J., Ceppan M., Dvonka V., Karpinsky L., Kordos P., Mikula M., Jakucewicz S.:
Poligrafia: procesy i technika. COBRPP, Warszawa 2002, s. 71.

Na przykład, jeżeli rozdzielczość systemu naświetlającego wynosi 1200 dpi, a liniatura rastra 48 l/cm (120 lpi), to komórka rastrowa może odwzorować 101 poziomów szarości. Obecnie, zgodnie z ISO 12647-2: 2013, dobór rozdzielczości i liniatury rastra przy wykonaniu formy offsetowej powinien umożliwić uzyskanie co najmniej 150 poziomów szarości [4]. Powszechna rozdzielczość systemów CtPlate wynosi ok. 2500 dpi. Taka rozdzielczość pozwala na odwzorowanie wymaganej liczby poziomów szarości przy liniaturze rastra do około 80 l/cm. Wysoka liczba poziomów szarości pozwala na uzyskanie reprodukcji obrazu/ilustracji wielotonalnego z płynnymi przejściami tonalnymi (bez widocznych skoków tonalnych).

W systemach drukowania cyfrowego rozdzielczość rzadko kiedy osiąga wartość 2400 dpi, ale w technikach drukowania cyfrowego w jednym punkcie (piksle) można uzyskać kilka poziomów szarości, w niektórych urządzeniach – nawet 256 poziomów. Z tego względu od systemów drukowania cyfrowego nie wymaga się tak wysokich rozdzielczości jak w naświetlarkach offsetowych, gdzie pojedynczy punkt/piksel posiada tylko dwie możliwości: może być naświetlony bądź – nie.



Rys. 2.5. Przykład pięciu poziomów szarości w jednym pikselu
Źródło: własne.

Zależność pomiędzy rozdzielczością a liniaturą rastra w cyfrowych systemach drukujących określa się wg wzoru [5]:

$$G = \left[\frac{A}{L} \right]^2 (g - 1) + 1 \quad (2.2)$$

gdzie: G – stopnie szarości (poziomy szarości), możliwe do uzyskania przez daną komórkę rastrową,

A – rozdzielczość systemu cyfrowego, dpi,

L – liniatura rastra, lpi,

g – liczba poziomów szarości w jednym pikselu.

Producenci systemów cyfrowych, podając rozdzielczość maszyn, określają również możliwość poziomów w jednym punkcie/pikselu często określają ten parametr w postaci liczby bitów na kolor, na przykład 8 bitów/kolor. Oznacza to, że w jednym punkcie można odwzorować 257 poziomów szarości/pikseli: $2^8 = 256$ plus 1 (podłoże niezadrukowane).

Trzeba zaznaczyć jednak, że niska rozdzielczość systemów drukowania będzie ograniczeniem przy drukowaniu drobnych elementów, takich jak czcionka (na przykład przy drukowaniu mikrotekstu) lub linii. Pierwsze systemy do drukowania cyfrowego posiadały dosyć niską rozdzielczość na poziomie 600 dpi. Obecnie rozdzielczość maszyn cyfrowych ciągle się zwiększa. Większość maszyn posiada rozdzielczość 1200 dpi i wyżej z możliwością odwzorowania kilka poziomów

w jednym pikselu (4-8 bitów na kolor). A niektórzy producenci, na przykład Xerox (Xerox Color 800/1000, iGen 5, iGen 150 i in.) i Canon (imagePRESS C10000VP, imagePRESS C800, imagePRESS C700) oferują w swoich urządzeniach elektrofo- tograficznych rozdzielczość na poziomie 2400 dpi [6, 7].

Literatura

- [1] Bennett P.K., Levenson H.R., Romano F.J.: Sprawocznik po cyfrowej pieczati i pie- czati pieriemniennych danych. Print – Media center, Moskwa 2007.
- [2] ISO 12647-1:2013. Graphic technology – Process control for the production of half- tone colour separations, proof and production prints – Part 1: Parameters and measure- ment methods.
- [3] Panak J., Ceppan M., Dvonka V., Karpinsky L., Kordos P., Mikula M., Jakucewicz S.: Poligrafia: procesy i technika. COBRPP, Warszawa 2002.
- [4] ISO12647-2:2013. Graphic technology – Process control for the production of half- tone colour separations, proof and production prints – Part 2: Offset lithographic pro- cesses.
- [5] Kipphan H.: Handbuch der Printmedien. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2001.
- [6] Quality in Production Digital Color. Technology Advances through Canon's image- PRESS Digital Press. White Paper, nr 5, 2014. InfoTrends 2015. <https://xtradoc.ca/wp-content/uploads/2016/03/InfoTrendsimagePRESS.pdf> (15.05.2016).
- [7] Advances in Imaging to Improve Output Quality. The Xerox Versant and EFI Fiery Digital Front End. White Paper, nr 4, 2015. InfoTrends 2015. <http://www.xerox.com/digital-printing/latest/V80WP-01U.pdf?sf45961602=1>(15.05.2016).

3. DRUKOWANIE ELEKTROFOTOGRAFICZNE

3.1. Początki elektrofotografii

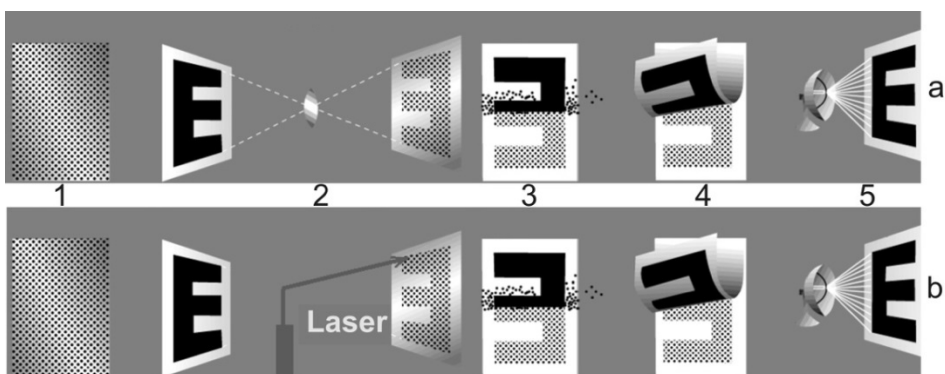
U podstaw cyfrowego drukowania elektrofotograficznego leży kserografia (ang. *Xerography*, z grec. *xero* – suchy i *graphein* – pisanie), technologia reprograficzna, która służyła do powielania oryginałów bez wykonywania klasycznych form drukowych. Pierwsza odbitka kserograficzna została wykonana 22 października 1938 roku przez wynalazcę kserografii – Chestera Carlsona. Pracując w departamencie patentowym firmy elektrycznej P.R. Mallory Company w Nowym Jorku, Chester Carlson, zainteresował się problemem kopiowania rysunków i schematów, które były dołączane do wniosków patentowych. Odrzucił fotograficzne metody powielania obrazu i skupił się na metodzie elektrostatycznej oraz materiałach ftoprzewodzących, które zmieniają swoją zdolność przewodzenia prądu podczas naświetlania. W 1937 r. do urzędu patentowego trafił pierwszy wniosek naukowca, a w 1938 r. pojawiła się pierwsza kserograficzna kopia ręcznie napisanej notatki: „10.-22.-38 Astoria”. Przez długi czas wynalazkiem nie byli zainteresowani przedstawiciele przemysłu, dopiero w 1947 r. niewielka firma Haloid z Nowego Jorku zainwestowała w nową technologię. W 1961 roku, po sukcesie koparki Xerox 914, firma Haloid zmieniła nazwę na Xerox Corporation [1, 2].



Rys. 3.1. Pierwsza odbitka kserograficzna wykonana przez Chestera Carlsona w 1938 r.
Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/File:First_xerographic_copy_-_10-22-38_ASTORIA_.jpg
(11.12.2015).

3.2. Zasada drukowania elektrofotograficznego

Wynalazek Chestera Carlsona odnosi się do analogowego drukowania elektrofotograficznego, ale jego zasadę wykorzystano również w procesach cyfrowej elektrofotografii. Podstawowe etapy elektrofotografii analogowej i cyfrowej przedstawiono na rys. 3.2. Jak widać z rysunku, zasadnicza różnica pomiędzy elektrofotografią analogową i cyfrową występuje na etapie naświetlania obrazu. W procesach analogowych naładowana warstwa fotorz przewodząca naświetla się za pomocą układu optycznego (projekcyjnie lub w styku) światłem, odbitym od oryginału, który jest kopiowany. W procesach cyfrowych rolę oryginału pełni plik cyfrowy, a warstwa fotorz przewodząca jest naświetlana piksel za pikselem (zgodnie z oryginałem cyfrowym) za pomocą, na przykład, promienia lasera.



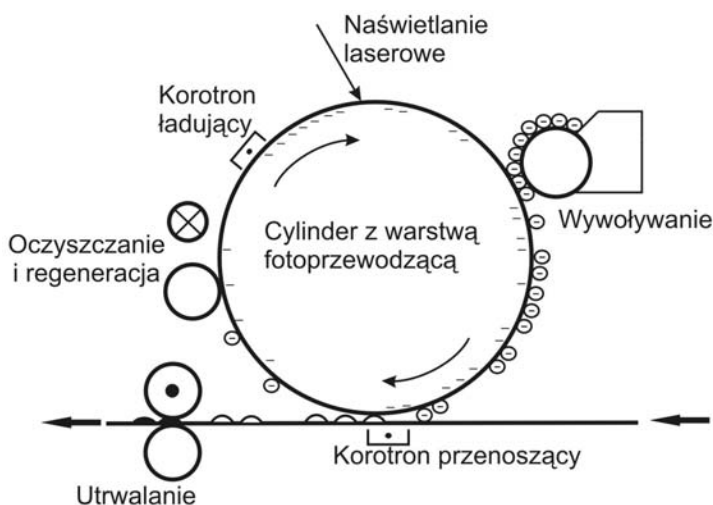
Rys. 3.2. Podstawowe etapy w drukowaniu elektrofotograficznym: a) analogowym (kserografii), b) cyfrowym: 1 – ładowanie warstwy fotorz przewodzącej, 2 – naświetlenie, 3 – wywoływanie, 4 – przenoszenie obrazu, 5 – utrwalanie

Źródło: opracowanie własne na podstawie

*[http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/elektrofotografia;3897338.html#prettyPhoto\[gallery\]/0/](http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/elektrofotografia;3897338.html#prettyPhoto[gallery]/0/)
(11.12.2015).*

Proces cyfrowego drukowania elektrofotograficznego (podobnie jak w kserografii) składa się z kilku kolejno następujących po sobie etapów: ładowania warstwy fotorz przewodzącej, naświetlania obrazu, wywoływania, przenoszenia tonera na zadrukowywane podłoże, utrwalania odbitki. Na etapie ładowania powierzchnia warstwy fotorz przewodzącej jest pokrywana równomiernie ładunkami elektrycznymi. W procesie ładowania wykorzystywane są urządzenia: korotron, skoroton lub wałek pod napięciem. Naładowaną warstwę fotorz przewodzącą naświetla się za pomocą promieni lasera lub światłem diod przewodzących (LED). W miejscach naświetlonych warstwa zwiększa swe przewodnictwo elektryczne i zostaje rozładowana, a ładunki pozostałe w miejscach nienaświetlonych tworzą tzw. elektrostatyczny

obraz utajony. Obraz utajony zostaje wywołany za pomocą proszku (tonera), który jest naładowany. W odróżnieniu od kserografii, gdzie toner posiada ładunek przeciwny do ładunku warstwy fotoprzewodzącej, w procesach cyfrowego druku elektrofotograficznego na etapie wywoływania najczęściej stosuje się toner, który posiada ładunek tego samego znaku co warstwa fotoprzewodząca (wywoływanie rewersyjne). Proces przeniesienia tonera na podłoże odbywa się w polu elektrostatycznym. W tym celu odwrotną stronę podłoża ładuje się tym samym znakiem co warstwa fotoprzewodząca. Na skutek przyciągania elektrostatycznego proszek zostaje przeniesiony na podłoże zadrukowywane. Przeniesiony toner związany jest z podłożem za pomocą sił elektrostatycznych i w łatwy sposób może być usunięty z jego powierzchni. Uzyskanie trwałego nadruku odbywa się na etapie utrwalania obrazu na skutek działania ciepła. Toner w swoim składzie zawiera składnik termoplastyczny, który pod wpływem działania ciepła (temperatura utrwalania wynosi ok. 160-200°C) stapia się i trwale wiąże się z podłożem. W momencie, kiedy odbitka jest utrwalana, warstwa fotoprzewodząca zostaje oczyszczona z pozostałości tonera i zregenerowana, na przykład poprzez dodatkowe naświetlenie regenerujące, dzięki któremu odbywa się neutralizacja ładunków na powierzchni warstwy i w taki sposób cylinder z warstwą fotoprzewodzącą zostaje przygotowany do następnego cyklu produkcyjnego [3, 4].



Rys. 3.3. Schemat cyfrowego drukowania elektrofotograficznego

Źródło: własne.

3.3. Warstwy fotoprzewodzące

W cyfrowych urządzeniach elektrofotograficznych warstwa fotoprzewodząca (tzw. warstwa elektrofotograficzna) jest nanoszona na podłoże przewodzące ładunki elektrostatyczne – powierzchnię cylindra (najczęściej aluminiowego) lub na taśmę elastyczną. Stosowane są warstwy:

- selenowe,
- na bazie żywic fotoprzewodzących (ang. *organic photoconductors* OPC),
- na bazie krzemu amorficznego (α -Si).

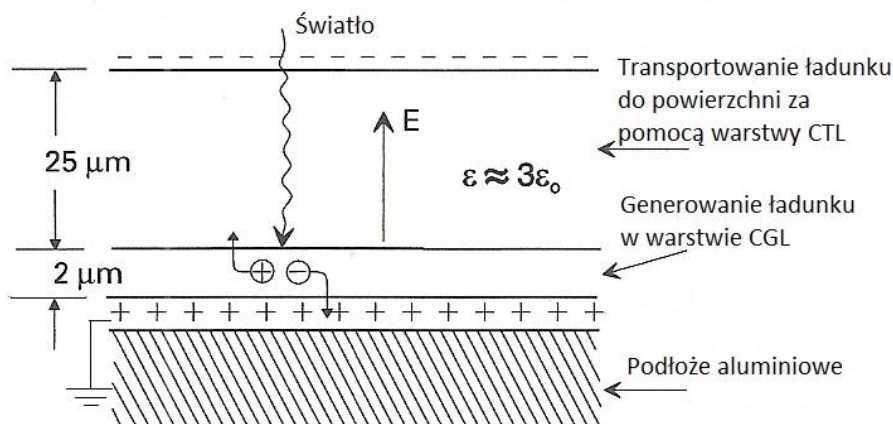
W kserografii były stosowane warstwy na bazie tlenku cynku, które obecnie nie są wykorzystywane. Maleje również udział warstw selenowych. Warstwy selenowe i na bazie krzemu amorficznego są nanoszone na podłoże próżniowo, a warstwy na bazie OPC – w postaci roztworu.

Warstwy są jednym z najważniejszych elementów procesu elektrofotograficznego, od którego zależy jakość wykonanej odbitki i powinny sprostać szeregowi wymagań. Warstwy fotoprzewodzące powinny charakteryzować się następującymi właściwościami:

- w warunkach ciemni zachować wysoki potencjał (dodatni lub ujemny) osiągnięty na etapie ładowania (300...1000 V),
- posiadać wysoką światłoczułość, co zapewnia wysoką wydajność procesu naświetlania,
- w wielokrotnych, wykonywanych z dużą częstotliwością, procesach ładowania – rozładowywania, wracać do swojego stanu pierwotnego,
- posiadać dostateczną odporność mechaniczną, co zapewnia odpowiednią żywotność nakładową.

Warstwy na bazie żywic przewodzących (OPC) są stosowane od niedawna, ale zdobyły największe rozpowszechnienie w procesach cyfrowego drukowania elektrofotograficznego (96,6% całej produkcji) [5]. Nanosi się je w postaci odpowiedniego roztworu na podłoże, a po odparowaniu rozpuszczalnika uzyskuje się warstwę fotoprzewodzącą. Warstwy z OPC po procesie ładowania przyjmują ładunek ujemny, a warstwy na bazie krzemu amorficznego (α -Si) oraz selenowe – ładunek dodatni. Większość warstw z OPC posiada strukturę dwuwarstwową. Jedną z warstw – fotogenerującą (CGL – *charge generating layer*) – pod wpływem światła generuje ładunek dodatni (+), który za pomocą drugiej warstwy – transportującej (CTL – *charge transport layer*) – dociera do powierzchni naładowanej znakiem

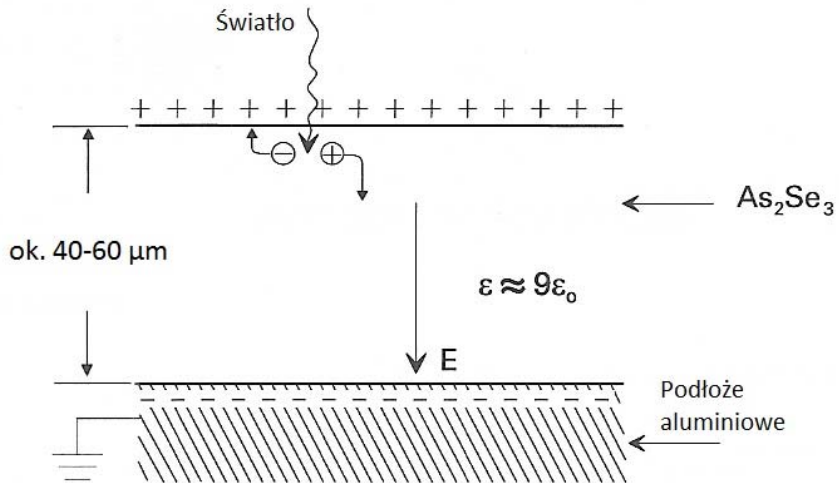
ujemnym (-) i neutralizuje ją (rys. 3.4). Warstwę transportującą tworzą polimery zdolne do przenoszenia elektronów lub polimerowe spoiwo, w którym są zawieszono-
ne molekuly monomeru przenoszące elektrony. CGL tworzą organiczne pigmenty lub barwniki, na przykład ftalocyjaniny. W celu zwiększenia odporności mechanicznej na powierzchnię OPC dodatkowo nanosi się warstwę ochronną [6].



Rys. 3.4. Struktura warstwy fotoprzewodzącej na bazie żywic fotoprzewodzących
 Źródło: *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses.*
Océ Printing Systems GmbH, 2006, s. 210.

Warstwy selenowe o grubości ok. 20-100 μm otrzymuje się metodą naporowywania na cylinder aluminiowy w warunkach próżni i podwyższonej temperatury. Warstwy takie posiadają maksimum czułości w zakresie długości fali świetlnej 400-550 nm. Dodatek telluru (Te) lub arsenu (As) przesuwa czułość widmową w kierunku fal o większej długości, co umożliwia wykorzystanie większej liczby laserów o różnej długości fali emitowanego promieniowania. Strukturę warstwy selenowej przedstawiono na rys. 3.5.

Warstwy na bazie krzemu amorficznego są stosowane w produkcji warstw fotoprzewodzących od niedawna. Posiadają czułość widmową w zakresie światła widzialnego (max około 680-700 nm). Charakteryzują się wysoką wytrzymałością, znacznie większą w porównaniu do warstw z żywicami fotoprzewodzącymi, ale są droższe ze względu na proces nanoszenia. Nanosi się je na podłoże metodą naporowywania w warunkach próżni.



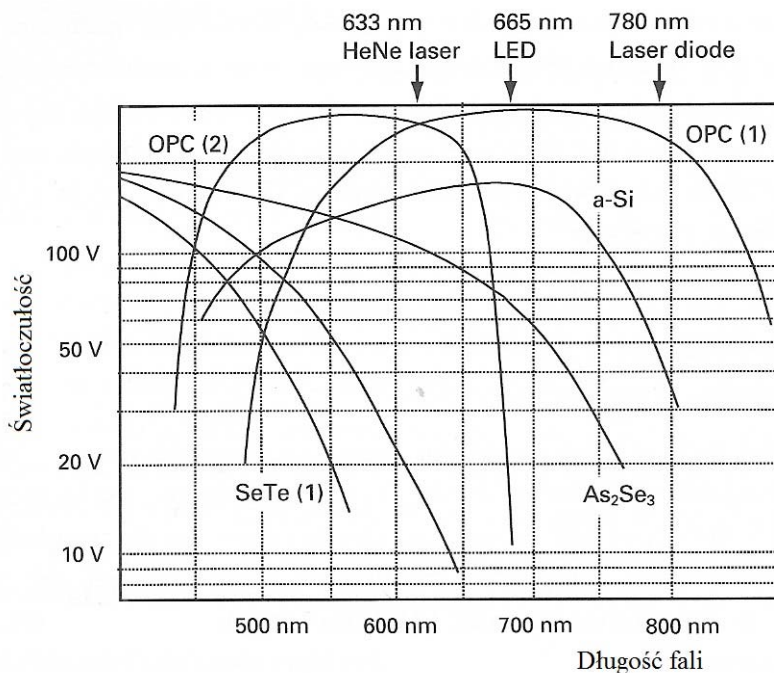
Rys. 3.5. Struktura warstwy selenowej

Źródło: *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses.* Océ Printing Systems GmbH, 2006, s. 210.

Do najważniejszych charakterystyk warstw fotoprzewodzących należą:

- światłoczułość ogólna i spektralna,
- rozdzielczość,
- kontrast (elektrostatyczny),
- potencjał początkowy (maksymalny),
- stabilność ciemniowa,
- potencjał reszkowy,
- żywotność (wytrzymałość nakładowa).

Czułość widmowa (spektralna), tj. światłoczułość w zależności od długości fali promieniowania, zależy od rodzaju związku światłoczułego i technologii wytwarzania warstwy (rys. 3.6). W czasie naświetlania warstw fotoprzewodzących zmniejsza się potencjał elektrostatyczny na powierzchni cylindra i dlatego światłoczułość określa się różnicą potencjału przed i po naświetleniu. Z tych względów światłoczułość jest podawana w jednostkach potencjału (voltach).



Rys. 3.6. Czulość spektralna warstw fotoprzewodzących

Źródło: *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses. Océ Printing Systems GmbH, 2006, s. 212.*

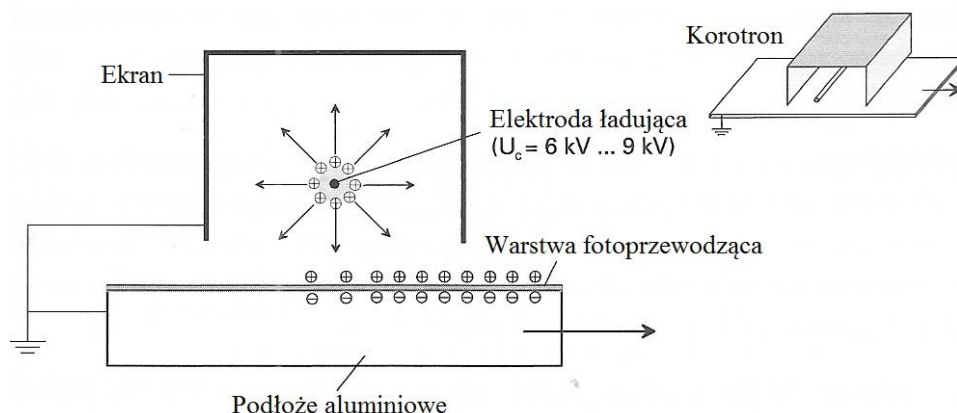
3.4. Proces ładowania warstwy fotoprzewodzącej

Pierwszym etapem w procesie drukowania elektrofotograficznego jest etap ładowania warstwy fotoprzewodzącej. Warstwę tę ładuje się elektrostatycznie, najczęściej za pomocą wyładowań koronowych lub wałka pod napięciem. W ten sposób powierzchnia fotoprzewodnika uczula się na światło.

Ładowanie za pomocą wyładowań koronowych odbywa się w urządzeniach – korotronach lub skorotronach. Korotron składa się z elektrody koronującej, której rolę spełnia przewód (o grubości 25-80 μm) rozciągnięty pomiędzy blokami izolacyjnymi zamocowanymi na końcach ekranu umieszczanego nad przewodem. Do elektrody przykłada się wysokie napięcie – rzędu 3-9 kV. Uziemiony ekran oraz podłoże warstwy fotoprzewodzącej pełnią rolę elektrod, pomiędzy nimi a elektrodą koronującą wytwarza się pole elektryczne. Pole nie jest równomierne i w okolicy elektrody koronującej jest tak silne, że generuje wokół przewodu plazmę z elektronów, jonów i cząsteczek w stanie wzbudzonym na skutek jonizacji powietrza.

Pod wpływem pola elektrycznego jony i elektrony kierują się do przeciwnie naładowanych elektrod (przewodu i podłoża warstwy fotoprzewodzącej), generując prąd wyładowania koronowego. Ładunki osadzają się na powierzchni warstwy fotoprzewodzącej, w wyniku czego warstwa zostaje naładowana.

Rola uziemionego ekranu polega na stabilizacji prądu wyładowania koronowego, co zapobiega nadmiernemu naładowaniu warstwy fotoprzewodzącej. Prąd wyładowania koronowego płynie do warstwy fotoprzewodzącej i ekranu. Jeżeli potencjał warstwy jest zbyt niski, to prąd płynie w kierunku warstwy. Jeżeli potencjał warstwy jest wysoki, prąd płynie głównie do uziemionego ekranu. W celu zwiększenia równomierności ładunków nanoszonych na warstwę fotoprzewodzącą w jednym ekranie rozmieszcza się kilka równoległych przewodów. Korotrony są głównie stosowane w przypadku warstw ładowanych dodatnio. W przypadku warstw z ujemnym potencjałem gęstość prądu na szerokości elektrody może być niejednakowa, co może powodować nierównomierne ładowanie warstwy. Równomierność ładowania w tym przypadku w dużym stopniu będzie zależać od czystości elektrody koronującej. Z tego względu, przy ujemnie ładowanych warstwach, stosuje się głównie skorotrony.

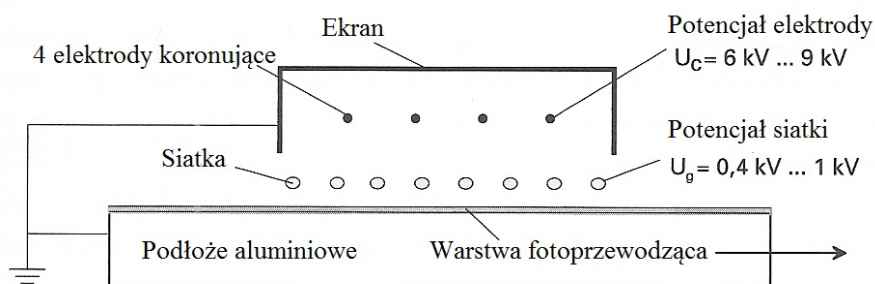


Rys. 3.7. Ładowanie warstwy fotoprzewodzącej za pomocą korotronu

Źródło: *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses.*
Océ Printing Systems GmbH, 2006, s. 207.

W skorotronie przewody koronujące są oddzielone od warstwy fotoprzewodzącej specjalną siatką ochronną. Siatka rozmieszczona jest równolegle do płaszczyzny warstwy. Potencjał siatki ma tę samą biegunowość co potencjał elektrod koronujących. Zwiększając bądź zmniejszając potencjał siatki, można regulować wartość potencjału warstwy. Jeżeli warstwa ma potencjał mniejszy niż potencjał siatki,

to prąd płynie przez siatkę, ładując warstwę. Jeżeli potencjał warstwy dorówna potencjałowi siatki, proces ładowania kończy się.



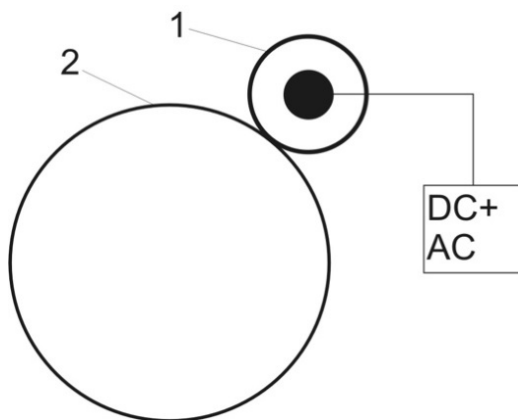
Rys. 3.8. Ładowanie warstwy fotoprzewodzącej za pomocą skorotronu

Źródło: *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses.* Océ Printing Systems GmbH, 2006, s. 209.

We współczesnych urządzeniach elektrofotograficznych wartość potencjału siatki jest regulowana automatycznie. Za pomocą specjalnego detektora mierzy się potencjał warstwy i poprzez zmianę potencjału siatki uzyskuje się korektę potencjału warstwy fotoprzewodzącej.

Proces ładowania za pomocą wyładowań koronowych wymaga wysokich napięć, a dodatkowo, przy ładowaniu warstwy ładunkiem ujemnym, wytwarza się ozon. Z tego powodu coraz częściej w procesie ładowania warstw fotoprzewodzących stosuje się wałek pod napięciem. Taki wałek składa się z metalowego rdzenia, na powierzchni którego znajduje się elastyczna warstwa przewodząca prąd, wykonana z gumy silikonowej oraz wierzchniowa warstwa ochronna. Stosowane są dwa sposoby ładowania: w jednym – wałek dotyka powierzchni ładującej, w drugim – proces ładowania przebiega bezkontaktowo. Na przykład ładowanie kontaktowe jest stosowane w urządzeniu CanonCLC 3200.

Po procesie ładowania w podłożu uziemionym, na którym znajduje się warstwa fotoprzewodząca, indukuje się ładunek o znaku przeciwnym do znaku ładunku na warstwie fotoprzewodzącej. Warstwa fotoprzewodząca znajduje się w silnym polu elektrycznym (różnica potencjałów powierzchni warstwy fotoprzewodzącej i podłoża wynosi ok. kilkuset woltów). Pole jest niezbędne dla uzyskania (zapisu) obrazu utajonego [7].



Rys. 3.9. Ładowanie warstwy fotoprzewodzącej za pomocą wałka pod napięciem:
1 – wałek ładujący, 2 – cylinder z warstwą fotoprzewodzącą

Źródło: Uarowa R.: *Osnovy cyfrowej pieczati. Konspekt lekcij. Moskwa, MGUP, im. Iw. Fiodorowa, 2011. <http://www.hi-edu.ru/e-books/xbook1004/01/part-002.htm#i12> (11.12.2015).*

Wartość potencjału, który osiąga warstwa fotoprzewodząca na etapie ładowania określa się wzorem:

$$V_w = \frac{\sigma \cdot d}{\epsilon_0 \epsilon} \quad (3.1)$$

gdzie: V_w – potencjał warstwy fotoprzewodzącej,

σ – gęstość powierzchniowa ładunku (zależy od prądu płynącego przez warstwę w trakcie ładowania),

d – grubość warstwy fotoprzewodzącej,

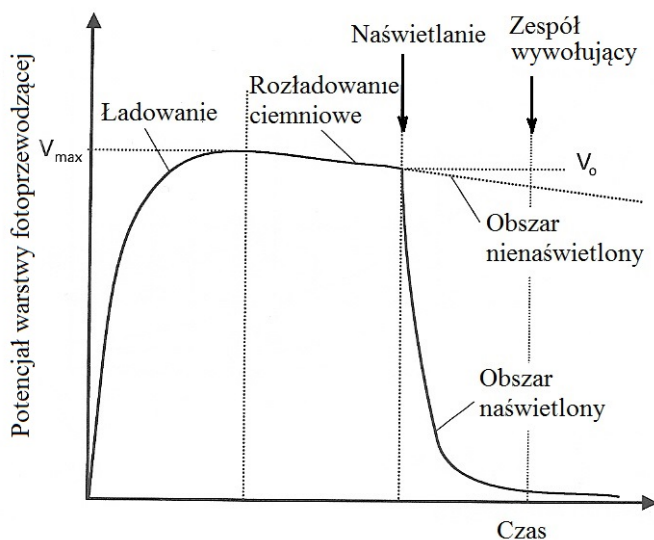
ϵ_0 – przenikalność elektryczna próżni,

ϵ – względna przenikalność elektryczna warstwy fotoprzewodzącej.

Potencjał warstwy fotoprzewodzącej na podstawowych etapach procesu drukowania elektrofotograficznego zilustrowano na rys. 3.10.

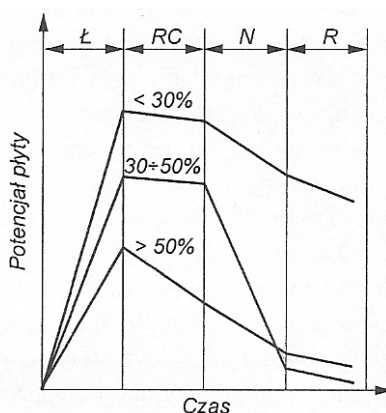
Naładowana warstwa fotoprzewodząca jest światłoczuła i powinna zostać naświetlona w krótkim czasie od naładowania, gdyż potencjał warstwy stopniowo maleje (rozładowanie ciemniowe). Po naświetlaniu, potencjał miejsc naświetlonych gwałtownie spada. Jednym z podstawowych parametrów obrazu utajonego jest kontrast elektrostatyczny – różnica potencjałów miejsc naładowanych i rozładowanych. Na ten parametr największy wpływ ma potencjał ładowania (V_{max}), światłoczułość warstwy fotoprzewodzącej i prędkość spadku potencjału miejsc naświetlonych. Na wartość potencjału warstwy naładowanej w dużej mierze mają wpływ również warunki klimatyczne, zwłaszcza wilgotność względna powietrza. Na rys. 3.11

zilustrowano procesy ładowania i rozładowania papierowej folii fotoprzewodzącej dla trzech różnych wilgotności: niskiej (poniżej 30% wilgotności względnej), dobrej (w zakresie 30-50% wilgotności względnej), wysokiej (powyżej 50% wilgotności względnej).



Rys. 3.10. Potencjał warstwy fotoprzewodzącej na podstawowych etapach procesu drukowania elektrograficznego

Źródło: *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses.* Océ Printing Systems GmbH, 2006, s. 214.



Rys. 3.11. Wpływ wilgotności powietrza na potencjał warstwy fotoprzewodzącej na różnych etapach druku elektrograficznego: Ł – ładowanie, RC – rozładowanie ciemniowe, N – naświetlanie, R – potencjał resztkowy

Źródło: *Czichon H., Czichon M.: Reprografia i drukowanie cyfrowe. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003, s. 17.*

Optymalne warunki ładowania elektrostatycznego wszystkich materiałów foto-przewodzących występują przy temperaturze 20-27°C i wilgotności względnej 30-50%. W przypadku zbyt niskiej wilgotności względnej wystąpi zadymienie na odbicie (z powodu zbyt małego kontrastu elektrostatycznego), w przypadku zbyt wysokiej – potencjał warstwy fotoprzewodzącej w miejscach nienaświetlonych będzie za niski, co powoduje przyjęcie mniejszej ilości tonera w czasie wywoływania [3].

3.5. Proces naświetlania obrazu

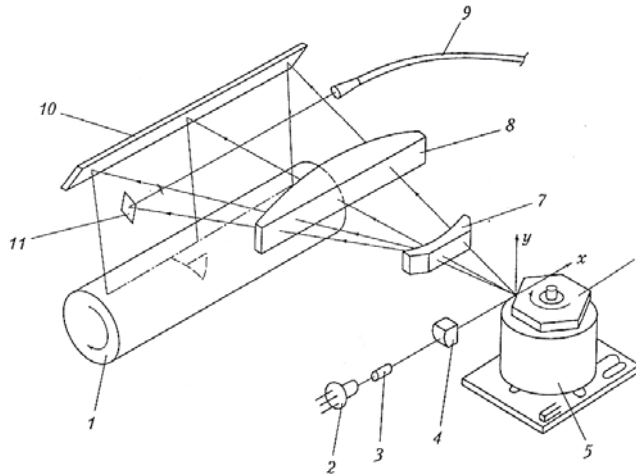
Podczas naświetlenia w miejscach poddanych działaniu światła (zgodnie z rysunkiem oryginału) zwiększa się przewodnictwo elektryczne warstwy, w wyniku czego zostaje z nich usunięty ładunek. Ładunki elektryczne pozostałe w miejscach nienaświetlonych tworzą tzw. elektrostatyczny obraz utajony. Proces naświetlania jest realizowany za pomocą dwóch różnych systemów naświetlających lub głowic zapisujących (ang. *print head*). Pierwszy system – na bazie promienia lasera lub diod laserowych nazywa się w języku angielskim – *raster optical scanners* (ROS). Drugi system jest oparty na diodach świecących (ang. *light emitting diode, LED*).

W głowicach zapisujących na bazie lasera obecnie najczęściej stosuje się laser półprzewodnikowy. Proces naświetlania przebiega następująco: laser emituje wiązkę światła, która w tzw. modulatorze jest modulowana przez sygnały elektryczne informacji wejściowej (zgodnie z oryginałem). Stosowane są modulatory różnego rodzaju, często akustooptyczne. Zmodulowana wiązka świetlna, sterowana przez wirujący wielościan zwierciadlany, omiata wirujący cylinder z warstwą fotoprzewodzącą wzdłuż jego tworzącej, zamieniając binarne sygnały optyczne (chwilowe wygaszanie promieniowania laserowego lub jego przenoszenie bez wygaszania) na binarne stany elektryczne powierzchni fotoprzewodzącej cylindra (przez selektywne rozładowanie powierzchni warstwy) [8].

Wielkość sygnału elektrycznego sterującego, długość stosowanej fali świetlnej, natężenie światła lasera, czasy naświetlania i ruchy mechaniczne wielościanu skanującego są ściśle określone i automatycznie regulowane przez elektroniczny moduł sterujący. Ważnym zagadnieniem są także błędy układów optycznych stosowanych na drodze wiązki świetlnej. Wszystkie te parametry wpływają na położenie i natężenie wiązki światła padającej na warstwę fotoprzewodzącą cylindra, a więc decydują o jakości zapisu cylindra [8].

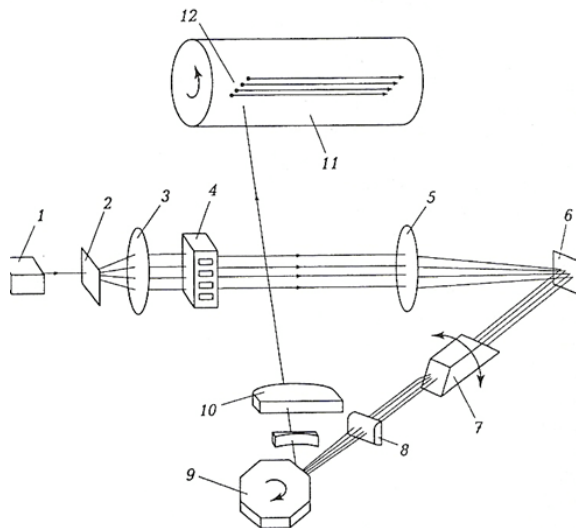
W celu zwiększenia wydajności procesu naświetlania są stosowane głowice zapisujące, pozwalające na jednoczesne naświetlanie kilku (na przykład od 2 do 12)

linijek obrazu. W tym celu promień lasera rozdziela się na kilka autonomicznie sterowanych promieni lub stosuje się kilka (na przykład 2) laserów.



Rys. 3.12. Schemat systemu naświetlającego na bazie diody laserowej: 1 – cylinder z warstwą fotoprzewodzącą, 2 – dioda laserowa, 3 – modulator, 4 – soczewka kolimatora, 5, 6 – silnik i lustro wirujące, 7 – soczewka sferyczna, 8 – soczewka toroidalna, 9, 11 – układ synchronizacji w kierunku poziomym (światłowód i lustro), 10 – lustro odchylające

Źródło: Samarin J.: *Dopieczatnoje oborudowanije. MGUP, Moskwa 2002, s. 496.*

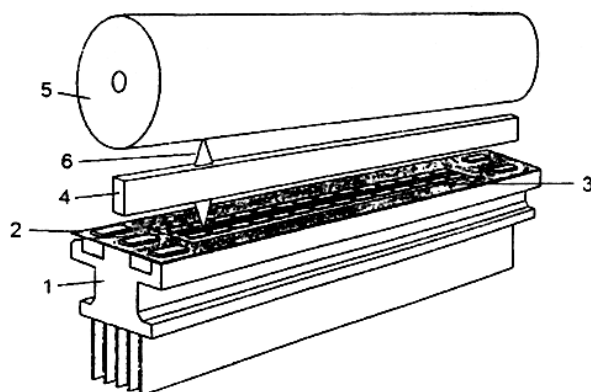


Rys. 3.13. Schemat systemu naświetlającego na bazie kilku promieni lasera: 1 – laser półprzewodnikowy wielowiązkowy; 2 – siatka dyfrakcyjna rozdzielająca promień na kilka wiązek; 3,5 – soczewki, 4 – modulator, 6 – lustro, 7 – pryzmat, 8 – soczewka cylindryczna, 9 – lustro wirujące, 10 – soczewki skupiające promień lasera, 11 – cylinder z warstwą fotoprzewodzącą, 12 – jednocześnie naświetlane cztery linijki obrazu

Źródło: Samarin J.: *Dopieczatnoje oborudowanije. MGUP, Moskwa 2002, s. 497.*

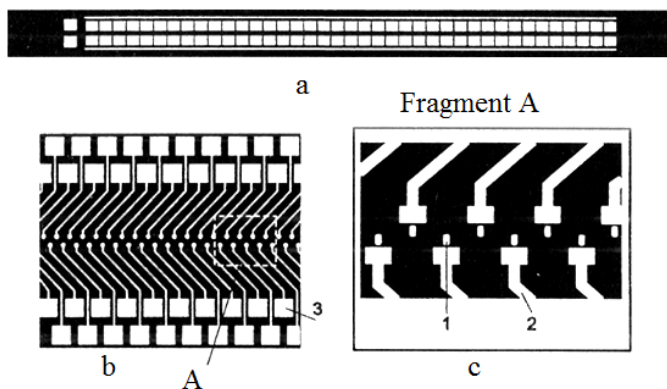
Na swojej drodze promień lasera przechodzi przez układ soczewek korelujących (7 i 8 – na rys. 3.12 oraz 10 – na rys. 3.13). Jego zadaniem jest linearyzacja ruchu promienia. Trzeba zaznaczyć, że efekt takiej linearyzacji jest skuteczny przy kącie skanowania 60° . Ogranicza to zapisywanie obrazu do formatu A3. Przy większych formatach można stosować systemy na bazie diod świecących LED [8, 9].

Diody świecące, w odróżnieniu od lasera, nie emitują światła koherentnego, z tego powodu głowica na bazie diod LED wymaga układu optycznego skupiającego wiązkę światła na powierzchni cylindra. Z kolei brak rozbudowanych układów optyczno-mechanicznych, które występują w głowicach laserowych, eliminuje niebezpieczeństwo wibracji systemu w trakcie naświetlania. Kolejną zaletą systemów na bazie diod LED jest prostsze sterowanie oraz to, że zwiększa się czas naświetlania pojedynczego punktu, ponieważ głowica jest wykonana w postaci linijki lub matrycy diod LED o szerokości odpowiadającej szerokości zadrukowywanego podłoża.



Rys. 3.14. Schemat systemu naświetlającego na bazie diod LED: 1 – podłoże, 2 – elementy sterujące, 3 – linijka diod LED, 4 – układ soczewek, 5 – cylinder z warstwą fotoprzewodzącą, 6 – promień światła

Źródło: Uarowa R.: *Osnovy cyfrowoj pieczati. Konspekt lekcij. Moskwa, MGUP, im. Iw. Fiodorowa, 2011. <http://www.hi-edu.ru/e-books/xbook1004/01/part-002.htm#i122> (11.12.2015).*

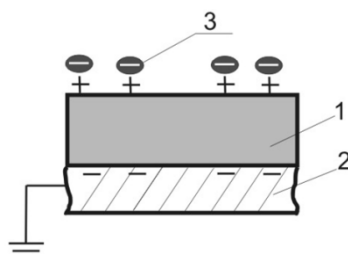


Rys. 3.15. Linijka diod LED (a) oraz jej fragmenty w powiększeniu (b i c):
1 – diody świecące, 2 – elektrody, 3 – miejsce podłączenia do płyty sterującej

Źródło: Uarowa R.: *Osnowy cyfrowej pieczati. Konspekt lekcji*. Moskwa, MGUP, im. Iw. Fiodorowa, 2011. <http://www.hi-edu.ru/e-books/xbook1004/01/part-002.htm#i122> (11.12.2015).

3.6. Proces wywoływania obrazu

Proces wywoływania obrazu utajonego (w postaci miejsc naładowanych i rozładowanych) polega na osadzeniu na jego odpowiednich miejscach naładowanych cząsteczek tonera pod wpływem sił pola elektrycznego, które powstaje pomiędzy obrazem utajonym a elektrodą wywołującą, nazywaną przeciwelektrodą lub elektrodą pomocniczą.



Rys. 3.16. Toner osadzony na powierzchni warstwy fotoprzewodzącej w procesie wywoływania: 1 – warstwa fotoprzewodząca, 2 – podłoże aluminiowe, 3 – toner

Źródło: własne.

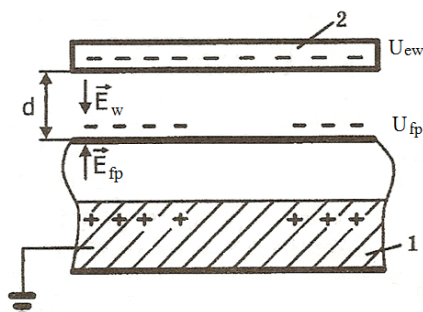
Zastosowanie elektrody wywołującej, która rozmieszcza się ponad warstwą fotoprzewodzącą (w małej odległości), pozwala kontrolować proces wywoływania, m.in.:

- niwelować efekt brzegowy,
- wyeliminować możliwość wywoływania plam lub innych zabrudzeń,
- sterować ilością nanoszonego tonera (potencjał elektrody wywołującej ma wpływ na ilość przeniesionego tonera; zmieniając ten parametr można zmieniać

charakterystykę gradacyjną obrazu: maksymalną gęstość optyczną i kontrast ogólny obrazu oraz jego poszczególnych elementów).

W metodzie szczotki magnetycznej (jednej z najbardziej rozpowszechnionych metod wywoływania) rolę elektrody wywołującej spełnia cylinder, w środku którego umieszczono elektromagnes lub magnes stały.

Pole elektrostatyczne obrazu utajonego (miejsc nienaświetlonych) niestety nie jest równomierne, zwłaszcza na powierzchniach obrazu o większych wymiarach. Powoduje to, że w czasie wywoływania toner nierównomiernie osadza się na ich powierzchni – większość gromadzi się na brzegach, a mniej w środku. Powstaje tzw. efekt brzegowy.

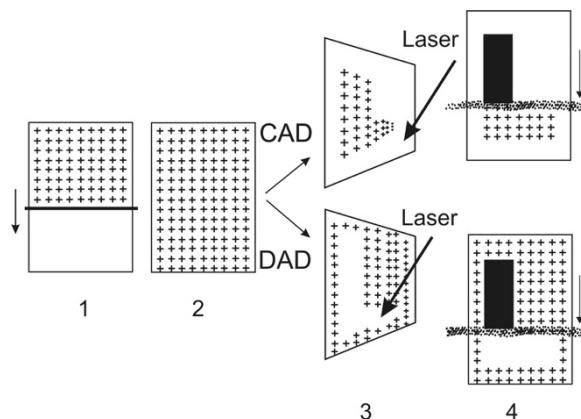


Rys. 3.17. Pole elektryczne w procesie wywoływania: 1 – podłoże aluminiowe z warstwą fotoprzewodzącą zawierającą obraz utajony, 2 – elektroda wywołująca, U_{fp} – potencjał warstwy fotoprzewodzącej, U_{ew} – potencjał elektrody wywołującej

Źródło: Uarowa R.: *Osnovy cyfrowoj pieczati. Konspekt lekcij. Moskwa, MGUP, im. Iw. Fiodorowa, 2011.* <http://www.hi-edu.ru/e-books/xbook1004/01/part-002.htm#122> (11.12.2015).

W procesach elektrofotografii mają miejsce dwa sposoby wywoływania, które poprzedza właściwy dla nich sposób naświetlania odpowiednich miejsc na warstwie fotoprzewodzącej: wywoływanie bezpośrednie i wywoływanie rewersyjne.

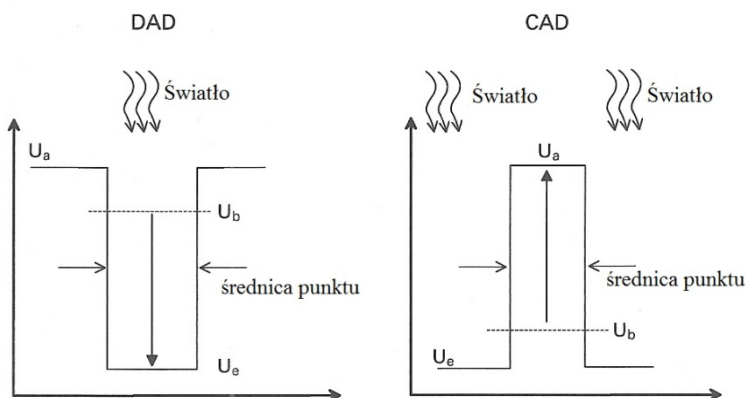
Wywoływanie bezpośrednie (ang. *charged area development CAD – dark writing*). W tym wypadku na etapie „naświetlania” odbywa się rozładowanie powierzchni niezadrukowanej, a pozostałe ładunki tworzą przyszły obraz odbitki. Obraz wywoływany jest tonerem o znaku przeciwnym do znaku ładunków na warstwie fotoprzewodnika. Toner osadza się na miejscach naładowanych. W drugim sposobie – wywoływaniu rewersyjnym (ang. *discharged area development DAD – light writing*) – na etapie naświetlania odbywa się rozładowywanie przyszłych miejsc drukujących, a pozostałe ładunki tworzą miejsca niedrukujące przyszłej odbitki. Proces wywoływania odbywa się za pomocą tonera o takim samym znaku ładunku jaki posiada warstwa fotoprzewodząca. Toner w tym sposobie osadza się na miejscach rozładowanych.



Rys. 3.18. Wywoływanie bezpośrednie (CAD) i rewersyjne (DAD): 1 – ładowanie warstwy fotoprzewodzącej, 2 – warstwa naładowana, 3 – naświetlanie obrazu, 4 – wywoływanie obrazu

Źródło: własne.

Technologia CAD ma swoje zastosowanie głównie w analogowych urządzeniach do kopiowania (kserokopiarkach), gdzie obraz oryginału jest rzutowany w całości na naładowaną warstwę fotoprzewodnika. W cyfrowych urządzeniach elektrofotograficznych stosuje się obydwie technologie, ale technologia DAD jest bardziej opłacalna ze względu na wydajność procesu i jest najbardziej rozpowszechniona. W technologii DAD głowica zapisująca (np. LED) jest mniej czasu aktywna ze względu na to, że zazwyczaj obraz na odbitce (tekst, grafika) zajmuje średnio 5-15% powierzchni odbitki. Ze względu na rodzaj warstwy fotoprzewodzącej i sposób wywoływania dobiera się toner z odpowiednią polaryzacją.



Rys. 3.19. Potencjał warstwy fotoprzewodzącej w procesach wywoływania rewersyjnego (DAD) i bezpośredniego (CAD)

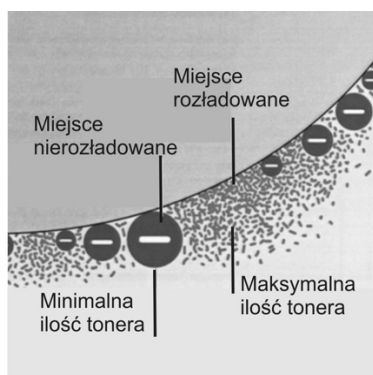
Źródło: *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses. Océ Printing Systems GmbH, 2006, s. 230.*

W tabeli 3.1 przedstawiono możliwe kombinacje polaryzacji naładowanych warstw fotoprzewodzących i tonera przy zastosowaniu wywoływania rewersyjnego i bezpośredniego, a rys. 3.20 ilustruje proces wywoływania rewersyjnego w maszynie elektrofotograficznej Xeikon: warstwa fotoprzewodząca posiada ładunek ujemny, a w procesie wywoływania stosuje się proszek naładowany ujemnie.

Tabela 3.1. Polaryzacja warstw fotoprzewodzących i tonera w procesach wywoływania rewersyjnego i bezpośredniego

Warstwy fotoprzewodzące	Rodzaj warstw fotoprzewodzących	Sposób wywoływania	Znak ładunku tonera
Pozytywowe	Selenowe i na bazie krzemu amorficznego	CAD	ujemny
		DAD	dodatni
Negatywowe	Na bazie żywic fotoprzewodzących (OPC)	CAD	dodatni
		DAD	ujemny

Źródło: [6].



Rys. 3.20. Wywoływanie rewersyjne w maszynie Xeikon

Źródło: Golik T.: *Konstrukcja i charakterystyka maszyn elektrofotograficznych do druku wielobarwnego*, praca dyplomowa magisterska wykonana w Instytucie Papiernictwa i Poligrafii Politechniki Łódzkiej, Łódź 2008, s. 25.

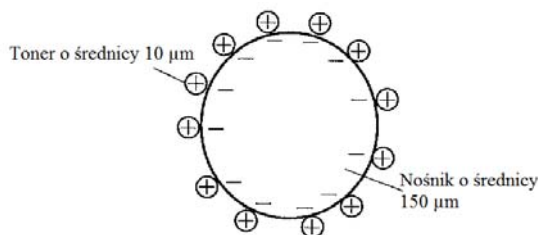
W procesie wywoływania wyróżnia się kilka metod wywoływania: metoda kaskadowa, metoda szczotki magnetycznej, metoda szczotki futrzanej, metoda wywoływania dyspersyjnego i metoda chmury pyłowej. Toner może być stosowany w postaci proszku, inaczej mówiąc toner suchy, i w postaci ciekłej. Toner ciekły jest stosowany w metodzie wywoływania dyspersyjnego, a w pozostałych metodach jest stosowany toner suchy. Oprócz tego toner suchy może posiadać strukturę dwuskładni-

kową (w metodach wywoływania kaskadowego i szczotki magnetycznej) oraz jednoskładnikową (w pozostałych metodach). W metodzie szczotki magnetycznej stosuje się toner jedno- i dwuskładnikowy.

Metoda szczotki magnetycznej znalazła największe zastosowanie we współczesnych maszynach elektrofotograficznych. W tej metodzie są stosowane tonery o strukturze jednoskładnikowej, posiadające właściwości ferromagnetyczne oraz tonery o strukturze dwuskładnikowej, zawierające cząsteczki nośnika o właściwościach ferromagnetycznych (np. opłatki żelazne) i cząsteczki tonera – nieposiadającego właściwości ferromagnetycznych. Toner i nośnik dobiera się w taki sposób, żeby w trakcie ich zmieszania na skutek procesu tryboelektryzacji uzyskały one przeciwne ładunki. Toner przyciąga się do nośnika i pokrywa jego powierzchnię. Toner powinien tworzyć na powierzchni nośnika pojedynczą warstwę, wtedy nadmiar tonera nie osypie się w trakcie wywoływania i nie zabrudzi maszyny. Dolną granicę koncentracji tonera wyznacza się minimalną wartością gęstości optycznej obrazu na odbitce. Maksymalną gęstość optyczną osiąga się przy niepełnym pokryciu powierzchni nośnika tonerem. Cząsteczki nośnika ferromagnetycznego są znacznie większych wymiarów (o średnicy 100-200 μm) w stosunku do cząsteczek tonera (o średnicy 3-15 μm). Stosunek ilości tonera do nośnika w wywoływaczu można dobrać na podstawie obliczeń wg wzoru pozwalającego określić ilość tonera niezbędnego do całkowitego pokrycia nośnika:

$$n = \frac{d_n R^3}{d_t \pi r (R + r)^2} \quad (3.2)$$

gdzie: n – stosunek mas nośnika i tonera,
 d_n i d_t – masa właściwa nośnika i tonera,
 R i r – promień cząsteczek nośnika i tonera.

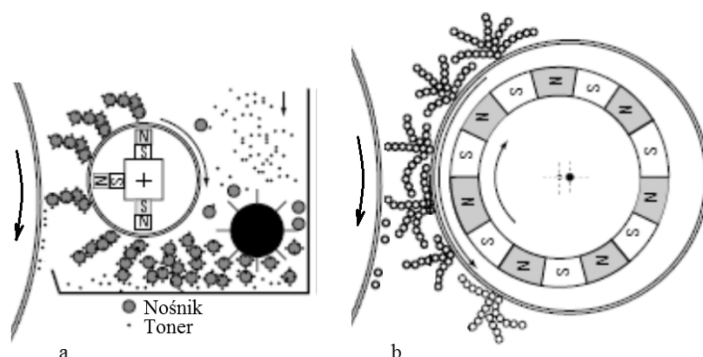


Rys. 3.21. Schematyczne przedstawienie cząsteczki wywoływacza o strukturze dwuskładnikowej

Źródło: *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses. Océ Printing Systems GmbH, 2006, s. 215.*

Po przyciągnięciu tonera do powierzchni nośnika tworzy się elektrycznie neutralna cząsteczka. Dla przeniesienia takiej cząsteczki do strefy wywoływania stosuje się wałek magnetyczny, który składa się z zewnętrznego cylindra (alumiiniowego), w środku którego znajduje się cylinder magnetyczny (trzon ze stałymi magnesami lub elektromagnes). Obydwa cylindry mogą obracać się niezależnie jeden od drugiego. Cylinder magnetyczny może być wykonany również w postaci nieruchomej.

Stały magnes lub zamontowany w urządzeniu generator elektromagnetyczny wytwarza pole magnetyczne. Linie sił pola magnetycznego przecinają cylinder zewnętrzny. Pole magnesuje cząsteczki ferromagnetyczne wywoływacza. Namagnesowane cząsteczki są przyciągane do powierzchni cylindra wywołującego i ustawiają się wzdłuż linii pola magnetycznego, tworząc „włókna” tzw. szczotki magnetycznej. „Włókna” po kolei trafiają w pole elektryczne strefy wywoływania, które wytwarza się pomiędzy warstwą fotoprzewodzącą a wałkiem magnetycznym, który pełni rolę elektrody wywołującej. Pole odrywa cząsteczki tonera od nośnika i osadza je w odpowiednich miejscach obrazu utajonego [10].



Rys. 3.22. Schemat zespołu wywołującego na bazie szczotki magnetycznej z wykorzystaniem tonera: a – dwuskładnikowego, b – jednoskładnikowego

Źródło: Kipphan H.: *Handbuch der Printmedien*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2001, s. 696.

Na rysunku 3.22a przedstawiono zespół wywołujący z wałkiem magnetycznym wykonanym w postaci stałego magnesu, który obraca się razem z zewnętrznym cylindrem. W innym przypadku (rys. 3.22b) wałek magnetyczny i cylinder zewnętrzny obracają się w przeciwnych kierunkach, co ułatwia oderwanie się tonera od „włókien” szczotki i przeniesienie go na warstwę fotoprzewodzącą.

Opracowano wiele konstrukcji zespołów wywołujących na bazie szczotki magnetycznej. Zazwyczaj posiadają one jeden lub kilka mechanizmów szczotki magnetycznej, pojemniki z tonerem, mechanizmy podawania tonera do cylindra wy-

wołującego, mechanizm mieszania wywoływacza oraz mechanizm ograniczania długości „włókien” szczotki.

Zespoły wywołujące na bazie szczotki magnetycznej z wykorzystaniem tonera dwuskładnikowego są stosowane w cyfrowych maszynach elektrofotograficznych wysokiej jakości i wydajności drukowania, takich jak Xerox, Xeikon, Canon, Kodak i innych.

Metoda wywoływania dyspersyjnego. W tej metodzie stosuje się toner w postaci ciekłej o bardzo małych wymiarach czareczek – 0,1-1 μm , które są zdyspergowane w rozpuszczalnikach. We współczesnych maszynach elektrofotograficznych stosuje się rozpuszczalniki na bazie syntetycznych olei parafinowych. Taki rozpuszczalnik wykorzystano w technologii HP Indigo ElectroInk. Jakość odbitki wydrukowanej z wykorzystaniem tonera ciekłego jest bardzo dobra, nadruk przypomina odbitkę offsetową. Zagadnienie wywoływania dyspersyjnego bardziej szczegółowo zostanie omówione w rozdziale 3.11.4, przy omówieniu maszyn HP Indigo.

Inne metody. Metoda wywoływania kaskadowego obecnie jest realizowana w przypadku szczotki magnetycznej z tonerem dwuskładnikowym. Inną odmianą wywoływania kaskadowego jest metoda szczotki futrzanej, gdzie rolę nośnika spełnia włos futra (na przykład bobrowego). Metoda ta nie jest wykorzystywana we współczesnych urządzeniach. Metoda chmury pyłowej jest wykorzystywana w ograniczonym zakresie i z tego powodu nie zostanie bliżej omówiona w niniejszym opracowaniu. Jako przykład zastosowania metody chmury pyłowej może posłużyć maszyna iGen firmy Xerox, ale w tej maszynie zastosowano hybrydowe wywoływanie łączące metodę szczotki magnetycznej i chmury pyłowej (Hybrid Scavengeless Development HSD).

3.7. Proces przenoszenia obrazu na podłoże

Wywołany obraz jest przenoszony (bezpośrednio lub pośrednio) na podłoże, np. na papier lub folię w polu elektrycznym. W tym celu podłoże ładuje się metodą wyładowania koronowego lub stosuje się wałek pod napięciem.

Natężenie pola elektrycznego w strefie przenoszenia jest odwrotnie proporcjonalne do odległości pomiędzy cylindrem z warstwą fotoprzewodzącą a podłożem:

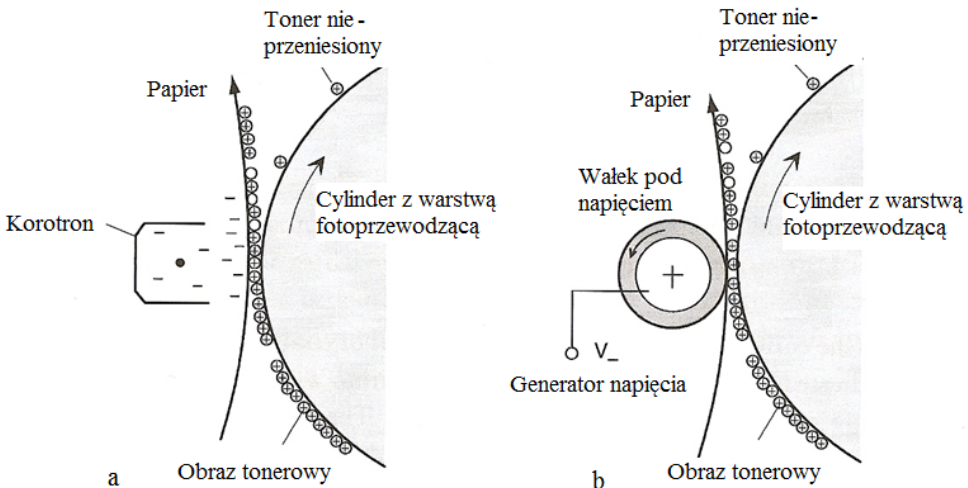
$$E = \frac{U}{d}, \quad (3.3)$$

Z tego powodu podłoże musi być dociśnięte do warstwy fotoprzewodzącej. Docisk jest spowodowany siłami elektrostatycznymi działającymi pomiędzy warstwą fotoprzewodzącą a podłożem.

Przenoszenie obrazu proszkowego metodą wyładowania koronowego.

W metodzie wykorzystującej wyładowania koronowe zewnętrzna powierzchnia papieru/folii zostaje pokryta ładunkiem elektrostatycznym o ładunku przeciwnym do ładunku tonera tworzącego obraz elektrofotograficzny. Ładowanie podłoża zachodzi dzięki wyładowaniom koronowym wytworzonym za pomocą korotronu lub skorotronu. Ilość przeniesionego tonera jest zależna od gęstości przepływającego przez papier prądu.

Przenoszenie za pomocą wałka pod napięciem. Na utworzony obraz proszkowy nakłada się papier lub folię. Następnie za pomocą zasilacza generuje się różnicę potencjałów pomiędzy podłożem cylindra a rdzeniem wałka. Toczący się po zewnętrznej powierzchni papieru/folii wałek odbiera ładunki z cylindra wraz z przeniesionym obrazem.



Rys. 3.23. Przenoszenie obrazu tonerowego na podłoże: a – metodą wywoływania koronowego, b – metodą wałka pod napięciem

Źródło: *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses. Océ Printing Systems GmbH, 2006 s. 228.*

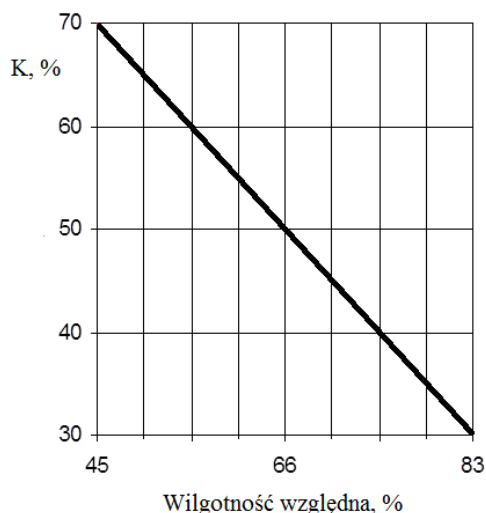
Obraz proszkowy nie jest jednak przenoszony całkowicie, część tonera zostaje na warstwie fotoprzewodzącej. Współczynnik przenoszenia (K) pozwala na ocenę efektywności procesu przenoszenia:

$$K = \frac{M_0 - M_1}{M_0} 100\% \quad (3.4)$$

gdzie: M_0 – masa tonera na warstwie fotoprzewodzącej do przeniesienia na podłoże,
 M_1 – masa tonera, który pozostał na warstwie fotoprzewodzącej po etapie przenoszenia.

Na ilość przenieszonego tonera ma wpływ dużo czynników, m.in.: wielkość cząsteczek tonera, siły adhezyjne między cząsteczkami tonera; gęstość przepływającego przez papier prądu; gładkość powierzchni cylindra elektrofotograficznego, wilgotność powietrza i in.

Wzrost potencjału przenoszenia do pewnej wartości granicznej (około 900 V) powoduje wzrost ilości przenieszonego tonera. Grubość papieru i jego rezystancja również mają wpływ na współczynnik przenoszenia. W trakcie ładowania papieru na jego powierzchni osadzają się ładunki elektryczne, które częściowo przechodzą przez papier. Jeżeli gęstość prądu upływu będzie duża, to nie uda się naładować papieru do odpowiedniej wartości potencjału w krótkim czasie. Z tego powodu papier powinien posiadać wysoką rezystywność skrośną – ok. 10^9 - $5 \times 10^{10} \Omega m$ i odpowiednią grubość.



Rys. 3.24. Efektywność przenoszenia tonera w zależności od wilgotności względnej powietrza
Źródło: Czichon H., Czichon M.: Reprografia i drukowanie cyfrowe. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003, s. 24.

Z tego powodu nie wolno stosować papierów o zwiększonej wilgotności, ze względu na to, że taki papier będzie charakteryzował się mniejszymi wartościami

rezystywności. Zwiększenie rezystywności powierzchni może kompensować zbyt małe wartości rezystywności wewnątrz papieru. Dlatego w niektórych modelach maszyn stosuje się podgrzewanie papieru.

Na ilość przenoszonego tonera ma wpływ względna wilgotność powietrza. Przy dużej wilgotności następuje znaczne pogorszenie przenoszenia. Spowodowane jest to wzrostem przewodnictwa w wyniku adsorpcji pary wodnej z powietrza przez podłoże, głównie papierowe, na które jest przenoszony obraz. To samo dotyczy proszku wywołującego i warstwy fotoprzewodzącej. Nagły wzrost przewodnictwa powoduje szybką utratę ładunków, więc i gorsze przenoszenie. Ilość przenoszonego proszku zależy także od gładkości powierzchni cylindra elektrofotograficznego. Im powierzchnia jest gładsza, tym przenoszenie lepsze [3].

3.8. Proces utrwalania

Przeniesiony na podłoże toner utrzymuje się na jego powierzchni dzięki oddziaływaniom elektrostatycznym. Są one jednak zbyt małe, aby trwale związać toner z podłożem. Przeniesiony obraz tonerowy może być utrwalony za pomocą metod chemicznych lub termicznych. Proces ma na celu trwałe połączenie tonera z podłożem.

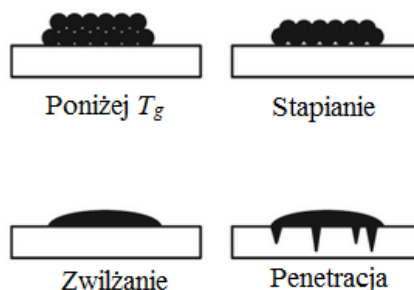
Metoda utrwalania chemicznego była stosowana w kserografii. W tej metodzie toner był poddawany działaniu par rozpuszczalnika, w którym był rozpuszczalny. Najczęściej były stosowane palne rozpuszczalniki organiczne, takie jak: toluen, ksylen lub niepalne – np. czterochloroetan. Proszek ulegał częściowemu rozpuszczeniu i przyklejał się do podłoża. Jeśli podłoże było papierowe, to rozpuszczony proszek częściowo penetrował w głąb podłoża. Skład utrwalacza był ściśle dobierany do rodzaju użytego tonera. Wadą takiej metody jest toksyczność stosowanych rozpuszczalników, dlatego też nie jest ona obecnie stosowana.

We współczesnych maszynach cyfrowych stosowane są termiczne metody utrwalania, wykorzystujące:

- działanie ciepła i docisku – metoda termomechaniczna – za pomocą ogrzanego układu wałków,
- działanie ciepła – za pomocą promieni podczerwonych (IR) w tym poprzez naświetlanie intensywną wiązką światła lampy błyskowej (ang. *flash fusing*).

Toner zawiera w swoim składzie polimery termotopliwe (polimer – stanowi jego większą część), z tego powodu jego zachowanie pod wpływem temperatury charakteryzuje temperatura zeszklenia T_g . Jest to temperatura, poniżej której toner zachowuje się jak ciało stałe, a powyżej – jest w stanie lepkosprężystym, wysokoelastycznym

lub plastycznym (w stanie cieczy). Pod wpływem ciepła po przekroczeniu temperatury T_g cząsteczki tonera stają się miękkie i lepkie, i przyjmują zaokrąglony kształt. W następnej fazie stapiają się w jednorodną powierzchnię. Dalszy wzrost temperatury powoduje, że toner staje się płynny i zwilża papier, a następnie wnika w głąb jego struktury. W momencie ochłodzenia toner się utrzuwa, powraca do stanu stałego i trwale jest związany z podłożem [6, 11].



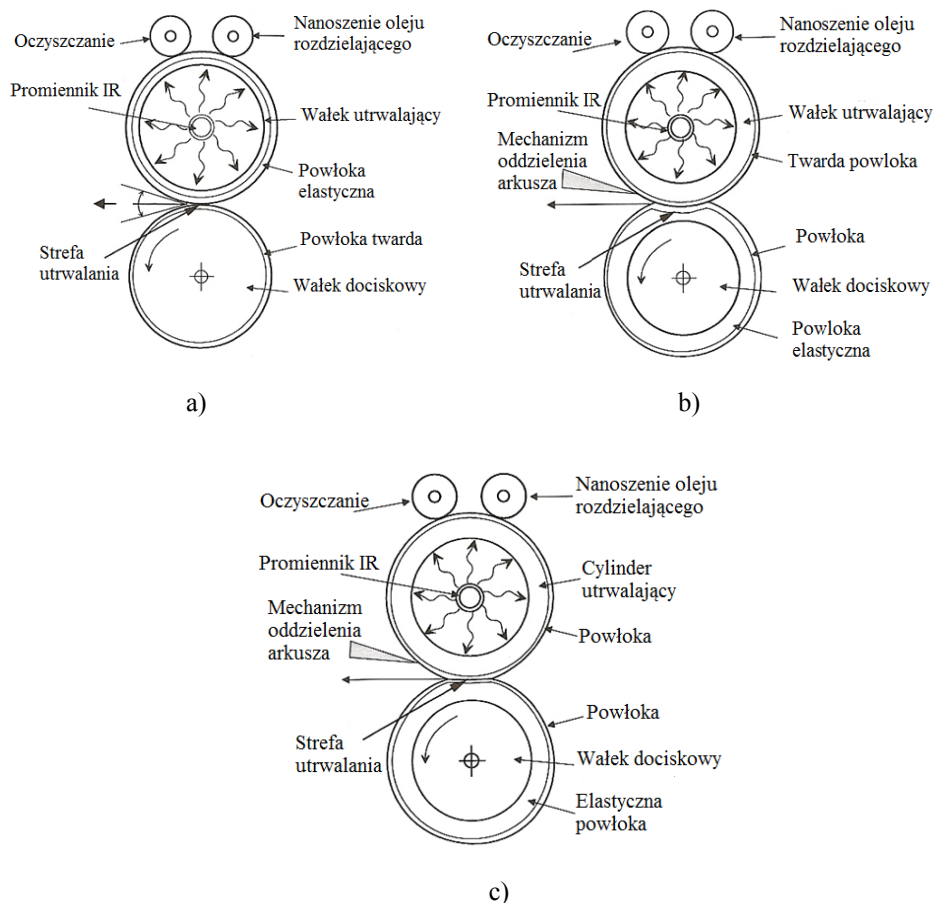
Rys. 3.25. Zachowanie się tonera na odbitce pod wpływem temperatury

Źródło: Kriss M.: *Handbook of Digital Imaging. Vol. 2, Image Display and Reproduction. John Wiley & Sons, 2015, s. 770.*

Metoda termomechaniczna. W większości maszyn elektrofotograficznych stosowana jest metoda utrwalania tonera za pomocą ciepła i docisku (system wałków dociskających). W takim systemie toner jest stapiany za pomocą ogrzanych wałków, a dodatkowo jest dociskany do podłoża. Dodatkowe ciśnienie ułatwia zwilżanie powierzchni podłoża i penetrację tonera w strukturę papieru. Wałek po stronie tonera jest ogrzany, temperatura powierzchni wynosi 150-220°C. W strefie utrwalania ogrzane wałki przekazują energię cieplną do tonera i papieru/podłoża. Po przekroczeniu temperatury T_g toner mięknie i zmienia swój stan. W tym samym czasie na toner działa ciśnienie mechaniczne w strefie utrwalenia, które wzrasta i maleje zgodnie z profilem rozkładu ciśnienia Hertza od $5-20 \times 10^5$ Pa (przy wałkach elastycznych profil jest asymetryczny). Zespoły utrwalające termomechaniczne składają się z gorącego wałka utrwalającego i wałka dociskowego, który zazwyczaj nie jest podgrzewany. Jeden z wałków posiada elastyczną powłokę, która deformuje się pod wpływem ciśnienia i tworzy strefę utrwalania. Takie zespoły utrwalające mogą być wykonane w jednym z trzech wariantów:

- system utrwalający z miękkim wałkiem utrwalającym i twardym wałkiem dociskowym (strefa utrwalania wytwarza się przez deformację wałka utrwalającego),
- system utrwalający z miękkim wałkiem dociskowym i twardym wałkiem utrwalającym (w tym przypadku strefa utrwalania jest wytworzona przez deformację wałka dociskowego),

- system utrwalający z miękkim wálkiem dociskowym i elastycznym (ale twardszym) wálkiem utrwalającym, (zasadniczo strefa utrwalania jest wytworzona przez deformację wálka dociskowego, wálek utrwalający ulega nieznacznej deformacji i nie wpływa znacząco na formowanie strefy utrwalania).



Rys. 3.26. Trzy rodzaje termomechanicznych zespołów utrwalających

Źródło: *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses. Océ Printing Systems GmbH, 2006, ss. 264-265.*

W przypadku pierwszego systemu (rys. 3.26a) gruba elastyczna powłoka wálka utrwalającego pod wpływem docisku deformuje się i tworzy strefę kontaktu. Warstwa tonera prawie się nie wygładza i posiada lekki połysk. Jakość obrazu w takim systemie jest wysoka, ale z powodu dużej różnicy temperatur w elastycznej powłoce metoda ta ogranicza się do niskich prędkości druku (do 0,25 m/s).

W przypadku drugiego systemu – z miękkim wálkiem dociskowym i twardym wálkiem utrwalającym (rys. 3.26b) strefa docisku tworzy się na skutek deformacji

elastycznej powłoki wałka dociskowego. Wałek utrwalający (nagrzany) posiada twardą powłokę, która nie deformuje się i nie zwilża się tonerem (np. posiada warstwę teflonową). Różnice w grubości papieru powodują nierównomierne ściskanie i wygładzanie tonera i, ze względu na to, pojawia się możliwość zacieków. W takim systemie tendencja do pozostania reliefu obrazu tonerowego jest bardzo niska. Brak ścisłego kontaktu powierzchni wałka utrwalającego z tonerem kompensuje się podwyższeniem temperatury utrwalania. W trakcie utrwalania mogą pojawiać się trudności z oddzielaniem papieru. Pomimo wad, taki system jest popularny ze względu na niezawodność pracy przy dużych prędkościach drukowania.

W trzecim systemie (rys. 3.26c) strefa kontaktu tworzy się na skutek deformacji powłoki wałka dociskowego, ale twarda i zarazem elastyczna powłoka wałka utrwalającego doskonale się dopasowuje do reliefu obrazu tonerowego. Jakość obrazu utrwalonego jest bardzo dobra. System charakteryzuje się wyższymi szybkościami druku i większą żywotnością. W tabeli 3.2 przedstawiono porównanie powyższych systemów [6].

Tabela 3.2. Porównanie termomechanicznych systemów utrwalających

Parametry jakościowe	System utrwalający składający się z wałka utrwalającego i dociskowego z:		
	miękkim wałkiem utrwalającym i twardym wałkiem dociskowym	miękkim wałkiem dociskowym i twardym wałkiem utrwalającym	miękkim wałkiem dociskowym i elastycznym (ale twardym) wałkiem utrwalającym
Stopień utrwalenia	b. dobry	niski	b. dobry
Połysk obrazu	najniższy	najwyższy	średni
Rozdzielczość	najwyższa	najniższa	średnia
Relief obrazu	najwyższy	najmniejszy	umiarkowanie wysoki

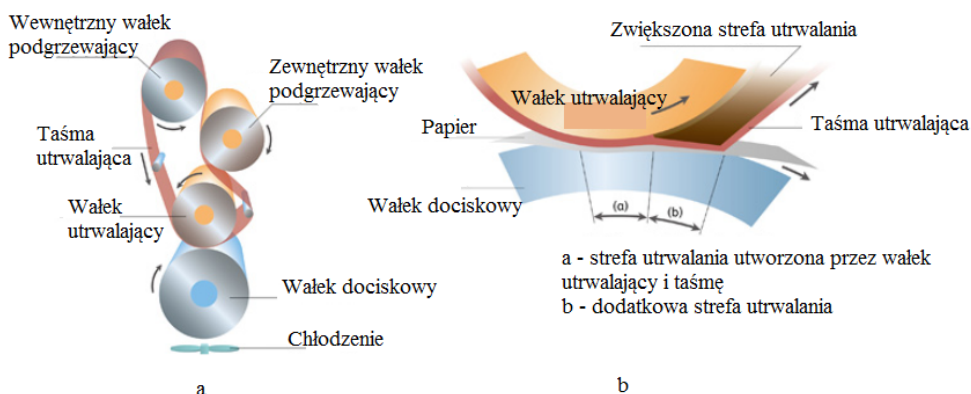
Źródło: [6].

Wałek utrwalający posiada powłokę z kauczuku polisiloksanowego lub fluoro-kauczuku. W celu zapobieżenia przyklejaniu się tonera do ogrzanego wałka polisiloksanowego nanosi się na jego powierzchnię substancję rozdzielającą w postaci oleju silikonowego. W przypadku wałków fluorkauczukowych jako substancję rozdzielającą stosuje się dimetylosiloksan, który reaguje z tlenkiem magnezu, tworząc na powierzchni wałków żelową powłokę ochronną, zapobiegającą przyklejaniu się tonera do wałka. Zużycie substancji rozdzielającej jest jednak większe [12]. Oleje

rozdzielające częściowo przechodzą na zadrukowane podłoże, tworząc na nim powłokę, która ma wpływ na parametry optyczne oraz użytkowe odbitki.

Tonery nowszej generacji zawierają w swoim składzie woski posiadające niższą temperaturę topnienia w porównaniu do pozostałych składników. Po stopieniu wosk tworzy na powierzchni walca utrwalającego powłokę ochronną i zapobiega tym samym przyklejaniu się.

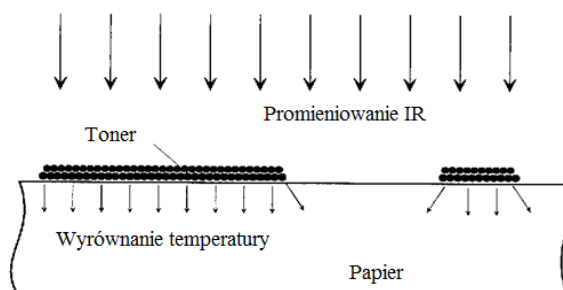
We współczesnych maszynach drukujących elektrofotograficznych ze względu na wysokie prędkości drukowania stosuje się różne modyfikacje zespołów termomechanicznych. Na przykład, firma Fuji Xerox opracowała technologię utrwalania, w której w zespole utrwalającym [13] zamiast walca utrwalającego stosuje się taśmę (system Belt-Roll) utrwalającą, podgrzewaną za pomocą trzech wałków, dwóch wewnętrznych, jeden z nich ma kontakt z taśmą w strefie utrwalania (wałek utrwalający), i jednego zewnętrznego. Pozwala to na szybkie uzupełnienie ciepła na całej szerokości i długości taśmy. Oprócz tego, dzięki zastosowaniu specjalnego układu, zwiększono strefę utrwalania.



Rys. 3.27. Zespół utrwalający typu Belt-Roll wg technologii Fuji Xerox: a – widok ogólny, b – powiększenie strefy utrwalania

Źródło: Fuji Xerox's Belt-Roll High-Speed Fusing Technology Receives Technology Prize and Research Presentation Prize From the Japanese Society of Printing Science and Technology. http://news.fujixerox.com/news/2011/0302_beltroll/ (12.01.2016).

Metody utrwalania za pomocą ciepła. Metoda utrwalania za pomocą promieniowania IR (z wykorzystaniem promienników IR lub lampy błyskowej) jest bezkontaktową, czyli bez zastosowania docisku elementu emitującego ciepło od powierzchni odbitki. Pozwala to na zastosowanie tej metody w wysokowydajnych maszynach drukujących, jak również przy utrwalaniu podłoża zadrukowanego dwustronnie.



Rys. 3.28. Schemat utrwalania za pomocą promieniowania IR

Źródło: *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses. Océ Printing Systems GmbH, 2006, s. 278.*

Do ważnych parametrów procesu utrwalania za pomocą promieniowania IR należą: rozkład mocy promieniowania lamp lub grzejników; stopień absorpcji ciepła przez papier; stopień absorpcji ciepła tonerem (poszczególnych składników tonera).

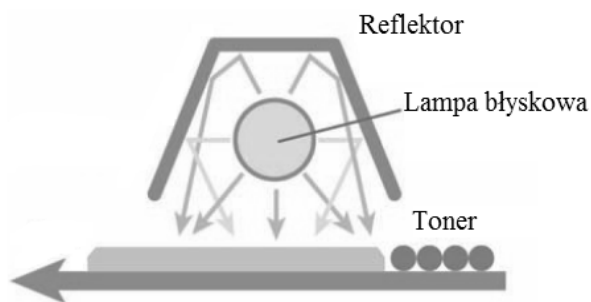
Źródła promieniowania IR są sklasyfikowane według długości fali, którą emitują. Występują promienniki IR-A, dające krótkie fale (lampy halogenowe), IR-B o falach średniej długości (promienniki kwarcowe) i IR-C promieniujące w szerokim zakresie fal podczerwonych.

Tabela 3.3. Charakterystyka promieniowania IR

Rodzaj promieniowania IR	Długość fali	Maksymalna temperatura
IR-A	0,8-2 μm	2100-1100°C
IR-B	2-4 μm	450-1100°C
IR-C	4-25 μm	< 450°C

Źródło: [4].

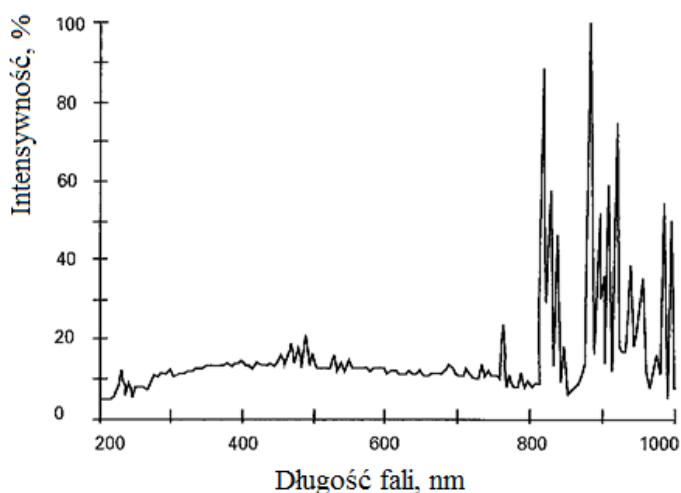
Metoda Flash Fusing jest metodą utrwalania bezkontaktowego i wykorzystuje się ją przy wysokich prędkościach drukowania w maszynach firm: Xerox, Océ i in. Za przykład może posłużyć system Flash Fusing stosowany w zwojowych maszynach elektrofotograficznych (czarno-białych i wielobarwnych) firmy Xerox [14].



Rys. 3.29. System utrwalania za pomocą lampy błyskowej

Źródło: Xerox 495 Continuous Feed Duplex Printer. *Fast, Flexible, Duplex in Flash*. 2009, Fuji Xerox Co. Ltd. <http://www.fujixerox.com.ph/wp-content/uploads/brochures/FX%20495.pdf> (11.12.2015).

W tym systemie wykorzystano lampy ksenonowe, osiem lamp pulsujących z częstotliwością 120 tys./min rozmieszczono wzdłuż ścieżki przebiegu papieru. Energia promieniowania, głównie z zakresu podczerwieni, jest absorbowana przez toner. Do celów tej technologii utrwalania zmodyfikowano toner. Do formuły tonerów wprowadzono składnik absorbujący promieniowanie podczerwone. Dodatkowo tonery w urządzeniu są przenoszone na podłoże w kolejności odpowiadającej ich możliwości absorpcyjnym – toner czarny przenoszony w pierwszej kolejności, znajduje się na spodzie, a na nim – tonery kolorowe, kolejno: Cyan, Magenta i Yellow.



Rys. 3.30. Względny rozkład mocy promieniowania lampy błyskowej stosowanej w procesie utrwalania metodą typu Flash

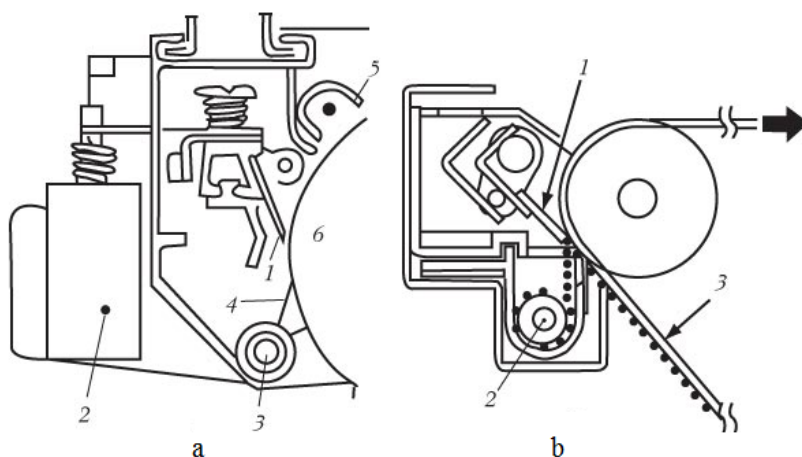
Źródło: *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses*. Océ Printing Systems GmbH, 2006, s. 279.

Na rysunku 3.30 przedstawiono typową krzywą spektralną dla lampy błyskowej, która charakteryzuje się występowaniem kilku maksimum w zakresie krótkich fal podczerwonych. Całkowite promieniowanie z tego zakresu (krótkich fal podczerwonych) maleje, w porównaniu do promieniowania widzialnego wraz ze wzrostem częstotliwości błysku światła lampy. Pozwala to na sterowanie ilością dostarczanego do odbitki ciepła wraz ze zmianą prędkości drukowania. Kolejną zaletą takiej metody utrwalania jest to, że papier, ze względu na niską absorpcję promieniowania IR, podgrzewa się w ograniczonym zakresie. Brak kontaktu wałków utrwalających oraz niska temperatura utrwalania w systemach bezkontaktowych (wykorzystujących promieniowanie IR oraz na bazie lamp błyskowych) pozwalają na utrzymanie optymalnego poziomu wilgotności podłoża papierowego. Papier w trakcie utrwalania nie ulega mikrouszkodzeniom, nie kurczy się i nie faluje. Użytkuje się lepsze pasowanie awersu i rewersu odbitki. W rezultacie otrzymuje się lepszą niezawodność procesu utrwalania i lepszą jakość odbitek.

3.9. Oczyszczanie warstwy fotoprzewodzącej

Po przeniesieniu obrazu tonerowego na papier lub inne podłoże na cylindrze elektrofotograficznym pozostają resztki tonera, który nie został przeniesiony. Przenoszenie tonera w nawet najbardziej wydajnych urządzeniach wynosi 85%. Aby usunąć zbędny toner ponownie naświetla się warstwę fotoprzewodzącą, co zmniejsza adhezję proszku, po czym usuwa się go mechanicznie, a następnie neutralizuje się pozostałości ładunków elektrycznych na powierzchni cylindra.

Mechaniczne oczyszczanie powierzchni cylindra elektrofotograficznego może odbywać się przy użyciu mechanizmów na bazie rakla, szczotki lub kombinacji rakla i szczotki. Usunięty w ten sposób proszek jest zawracany automatycznie do pojemnika wywołującego. Przykład mechanizmów oczyszczających na bazie rakla dla oczyszczania powierzchni cylindra elektrofotograficznego przedstawia rys. 3.31a, a mechanizmu oczyszczającego powierzchnię pasa transmisyjnego (pośredni pas przenoszący obraz tonerowy z warstwy fotoprzewodzącej na podłoże) – na rys. 3.31b. Podstawowym elementem mechanizmu jest elastyczny rakiel przeciwbieżny, który ustawia się pod określonym kątem do powierzchni oczyszczanej. Odzyskany toner za pomocą mechanizmu ślimakowego jest dostarczany do pojemnika.

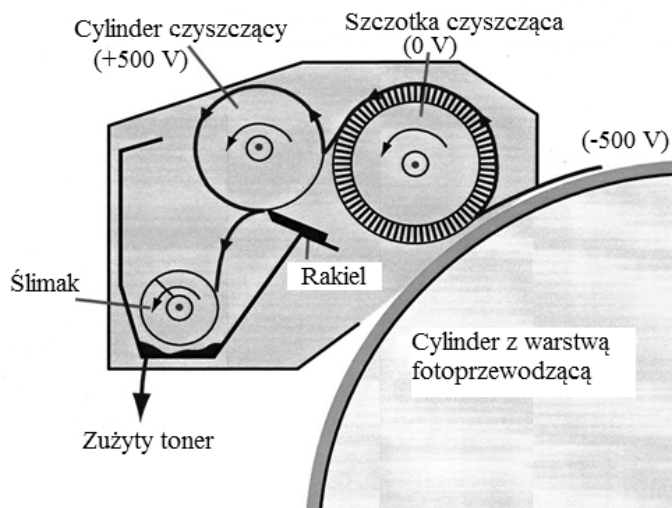


Rys. 3.31. Mechanizm oczyszczania na bazie rakla dla: a – powierzchni cylindra elektrograficznego (1 – rakiel, 2 – solenoid dociskający rakiel, 3 – przenośnik ślimakowy, 4 – uszczelka, 5 – skorotron neutralizacji ładunków); b – powierzchni pośredniego pasa przenoszącego (1 – rakiel, 2 – przenośnik ślimakowy, 3 – pas transmisyjny)

Źródło: Uarowa R., Wannikow A., Czurkin A.: *Osnovy cyfrowej pieczati. Uctiebnije posobie.* Moskwa, MGUP, 2006. <http://hi-edu.ru/e-books/xbook792/01/part-002.htm> (02.02.2016).

Mechanizm oczyszczania za pomocą szczotki uziemionej (stosowany w maszynach Xeikon) przedstawiono na rys. 3.32. Toner pod wpływem sił pola elektrycznego przenosi się z powierzchni fotorz przewodzącej na miękką szczotkę futrzaną. Pole wytwarza się dzięki temu, że szczotka jest uziemiona, a powierzchnia warstwy fotorz przewodzącej jest naładowana i posiada potencjał -500 V . Do szczotki dociska się naładowany cylinder metalowy (potencjał cylindra wynosi $+500\text{ V}$). Ujemnie naładowany toner przenosi się na powierzchnię cylindra, a następnie, za pomocą mechanizmu ślimaka transportującego, przemieszcza się do pojemnika ze zużytym tonerem [15].

Mechanizm oczyszczania za pomocą dodatnio naładowanej szczotki stosuje się w maszynach Kodak NexPress. W tych maszynach oczyszcza się również powierzchnię cylindra pośredniego, przenoszącego obraz tonerowy z cylindra elektrograficznego na podłoże/papier. W innych maszynach, z pośrednim przenoszeniem tonera, również oczyszcza się pas transmisyjny. W tym przypadku proces ułatwia się przez to, że powierzchnia cylindrów pośrednich i pasów transmisyjnych jest powleczone warstwą gumy silikonowej, do której toner ma bardzo słabą adhezję.



Rys. 3.32. Schemat procesu oczyszczania powierzchni cylindra elektrofotograficznego w maszynie Xeikon 500D

Źródło: Golik T.: Konstrukcja i charakterystyka maszyn elektrofotograficznych do druku wielobarwnego, praca dyplomowa magisterska wykonana w Instytucie Papiernictwa i Poligrafii Politechniki Łódzkiej, Łódź 2008, s. 25.

Przed kolejnym cyklem drukowania pozostałe na warstwie fotoprzewodzącej ładunki podlegają neutralizacji. W tym celu, po mechanicznym oczyszczeniu, powierzchnia warstwy fotoprzewodzącej jest równomiernie naświetlana. Naświetlanie rozładowujące można wykonać, na przykład, za pomocą diod świecących LED. Innym rozwiązaniem, w przypadku stosowania wstępnego naświetlania przed oczyszczaniem mechanicznym, jest zastosowanie na etapie ładowania skorotronu o zmiennej koronie. Zmienna korona pozwala na wyrównanie wartości potencjału na powierzchni fotoprzewodzącej w przypadku, kiedy ma miejsce polaryzacja resztkowa. Przygotowana w taki sposób powierzchnia warstwy fotoprzewodzącej jest gotowa do kolejnego cyklu drukowania elektrofotograficznego.

3.10. Toner w drukowaniu elektrofotograficznym

Toner składa się z bardzo drobnych (około 5-10 μm) cząsteczek zabarwionego polimeru (lub żywicy). Skład tonera jest skomplikowany. Głównymi komponentami tonerów są: polimery, pigmenty oraz dodatki – elektrostatyczne, antyadhezyjne i powierzchniowe.

Żywice stanowią około 90% masy tonera. Dzięki żywicy toner utwardza się na podłożu, a oprócz tego od żywicy będą zależeć takie podstawowe właściwości tonera, jak zdolność do tryboelektryzacji oraz zdolność do aglomeracji cząsteczek

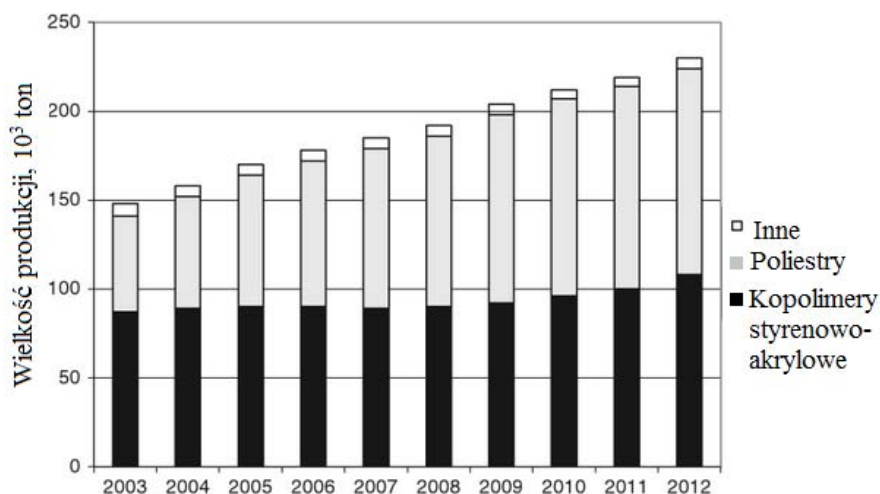
tonera. Stosowane są następujące rodzaje żywic: polistyren, żywice akrylowe, metakrylany, żywice epoksydowe, polietylen, polipropylen. W tonerach czarnych najczęściej stosuje się polistyren i żywice akrylowe. W tonerach barwnych – poliestry i żywice epoksydowe.

Pigmenty stanowią około 5-15% masy tonera. W tonerach czarnych najczęściej stosuje się sadzę, a w kolorowych – pigmenty organiczne.

Dodatki elektrostatyczne (ang. *Charge Control Agent, CCA*) mają wpływ na wydajność procesu ładowania tonera, szybkość ładowania i stabilność uzyskanych ładunków w czasie. Umożliwiają określenie polaryzacji i otrzymanie żądanej wartości ładunku na cząsteczkach tonera. W wypadku 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.



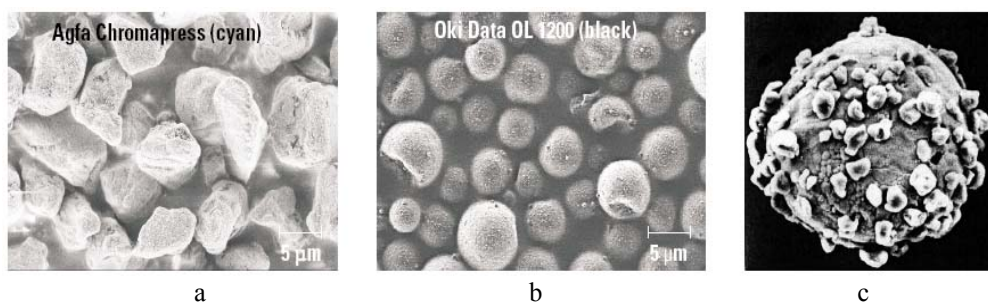
Rys. 3.33. Światowa produkcja tonerów z uwzględnieniem stosowanych polimerów/żywic
Źródło: Kriss M.: Handbook of Digital Imaging. Vol. 2 Image Display and Reproduction. John Wiley & Sons, 2015, s. 812.

Do głównych właściwości tonera należą:

- tryboelektryczne – stosunek ładunku elektrostatycznego do masy cząstki tonera (q/m), wartość tego parametru warunkuje przyczepność tonera do naładowanej warstwy fotoroprzewodzącej, 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 gęstości optycznej) i połysk nadruku, a poza tym powinien zapewniać skuteczność procesów wywoływania, przenoszenia i utrwalania. Większość etapów druku elektrofotograficznego jest bezpośrednio związana z tonerem, dlatego też właściwości tonerów wpływają na końcową jakość odbitek elektrofotograficznych.

We współczesnych maszynach elektrofotograficznych są stosowane dwa typy tonerów: tonery w postaci proszku (suchy toner), które stanowią ogromną większość, i tonery ciekłe, stanowiące zawiesinę dyspersyjną cząsteczek w cieczy. Tonery suche mogą posiadać strukturę dwuskładnikową lub jednoskładnikową. W tonerach ciekłych cząsteczki tonera są zdyspergowane (zawieszone) w rozpuszczalniku. Zastosowanie zawiesin umożliwia użycie cząsteczek o bardzo małej średnicy (ok. $1\ \mu\text{m}$), a to zwiększa rozdzielczość obrazu i umożliwia uzyskanie cieńszych warstw nadruku. Ponadto temperatura utrwalania obrazu jest niższa [16, 17]. W maszynie HP Indigo zastosowano toner dyspersyjny, w którym w postaci rozpuszczalnika zastosowano syntetyczne oleje parafinowe.

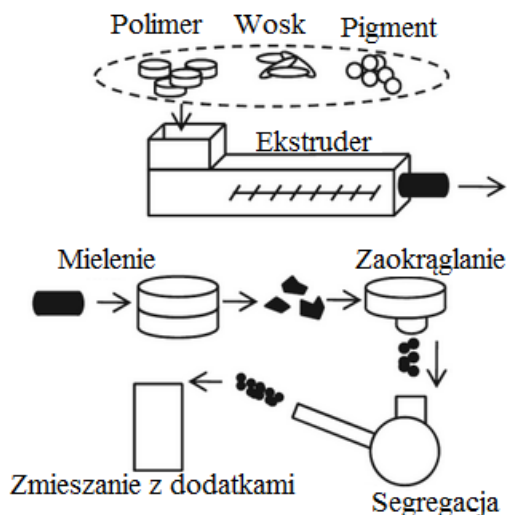


Rys. 3.34. Przykłady tonerów: a) jednoskładnikowe otrzymywane tradycyjną technologią mielenia; b) jednoskładnikowe otrzymywane chemicznie; c) dwuskładnikowe – cząsteczki tonera na cząsteczkach nośnika

Źródło: Buczyński L.: *Tonery w druku elektrostatycznym – proces barwienia, właściwości i wpływ na jakość druku. Część I. Świat Druku, nr 4, 2003.*

<http://archiwum.swiatdruku.eu/article/articleview/293/1/110/> (20.01.2016).

W produkcji tonerów stosowane są tradycyjne metody mechaniczne i metody chemiczne. Proces mechaniczny polega na mieleniu i dokładnej segregacji poprzednio wytworzonych cząstek tonerów. Wymaga on dużych ilości energii. Cząsteczki tonerów mają nieregularne kształty, duże wymiary, mimo segregacji ich rozrzut wymiarowy jest duży.

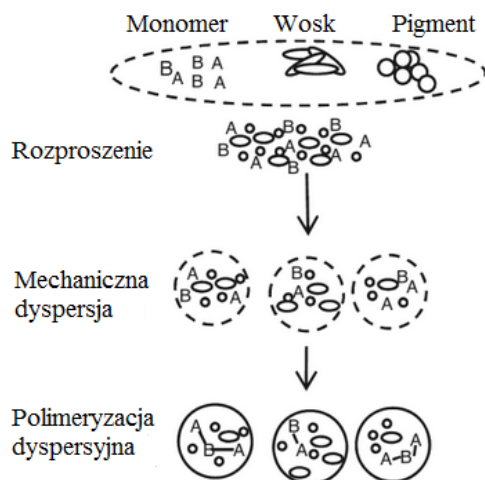


Rys. 3.35. Schemat tradycyjnego procesu produkcji tonera
 Źródło: Kriss M.: *Handbook of Digital Imaging, Vol. 2 Image Display and Reproduction*. John Wiley & Sons, 2015, s. 776.

Chemiczne metody otrzymywania tonerów polegają na kontrolowanym procesie syntezy chemicznej, w trakcie której małe cząsteczki o wymiarach około 1 μm stopniowo zwiększają swoje wymiary do wielkości 3-5 μm . Proces ten pozwala na kontrolowanie wymiarów cząsteczek tonera, ich kształtu i właściwości. Istnieje kilka metod chemicznych w produkcji tonerów. Najbardziej rozpowszechnione to – polimeryzacja emulsyjna (agregacja emulsyjna) oraz polimeryzacja dyspersji. Jak można się domyślić, poszczególne etapy produkcji oraz szczegółowy skład fizykochemiczny tonerów są objęte tajemnicą, którą firmy skrupulatnie chronią – na przykład: amerykański Xerox dysponuje obecnie ponad 15 tys. patentów związanych z tonerami.

Metoda polimeryzacji dyspersyjnej (ang. *suspension polymerization*) polega na zdyspergowaniu mieszaniny monomeru, pigmentu i żywicy w roztworze wodnym i poddaniu otrzymanego roztworu działaniu wysokiej temperatury, która wywołuje polimeryzację i powstanie tonera. Dalej następuje jego oczyszczanie. Tonery otrzymywane tą metodą mają sferyczną budowę cząsteczek. W niektórych przypadkach

budowa ta jest celowo zmieniana w końcowej fazie procesu tworzenia tonera – cząsteczki przybierają kształty elipsoidalne, mało regularne, określane w literaturze jako kształty „ziemniaka” – (ang. *potato shape*) lub inne kształty. Technologię tę stosują firmy Fuji Xerox, Ricoh i in.

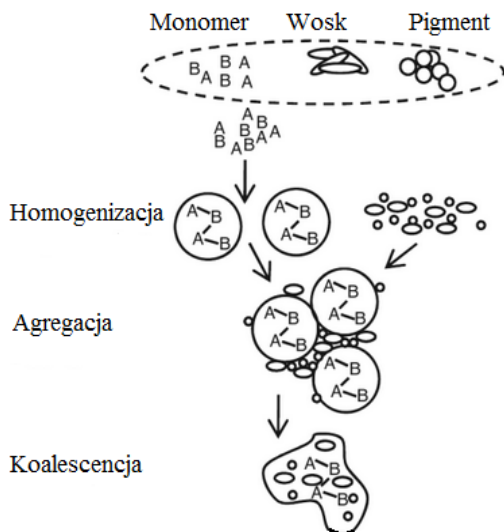


Rys. 3.36. Schemat procesu wytwarzania tonera metodą polimeryzacji dyspersyjnej

Źródło: Kriss M.: *Handbook of Digital Imaging, Vol. 2 Image Display and Reproduction*.
John Wiley & Sons, 2015, s. 778.

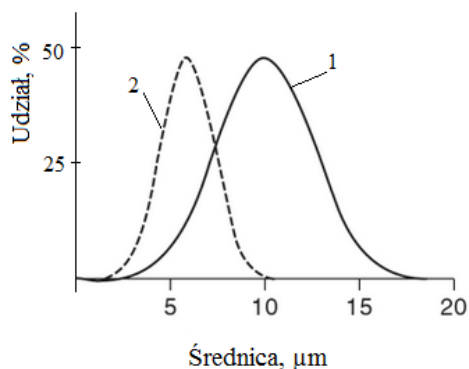
Agregacja emulsyjna (ang. *emulsion aggregation, EA*) – proces technologiczny wytwarzania tonerów metodą agregacji emulsyjnej polega ogólnie na chemicznym wytwarzaniu w specjalnych warunkach kulistych cząstek tonera o małych i bardzo jednorodnych wymiarach, przy czym proces ten daje się prowadzić w warunkach ciągłej kontroli wymiarów i właściwości cząstek tworzonego tonera. Początkowe produkty w procesie agregacji emulsyjnej to trzy składniki: cząsteczki monomerów (lateks akrylowy), pigment i wosk. Lateks stanowią niskocząsteczkowe związki – estry akrylowe i styrenowe, rozproszone dyspersyjnie w wodzie. Cząstki pigmentu stanowią zróżnicowane dla każdej barwy tonera (CMYK) związki chemiczne tworzące zawiesinę w wodzie destylowanej. Jako wosk stosowane są związki polietylenowe o niskiej temperaturze topnienia. Te składniki podstawowe w obecności dodatków metalicznych jako koagulanta podlegają homogenizacji, w wyniku której powstają cząsteczki około 2,5-mikrometrowe, które następnie podlegają agregacji (skupianiu) w specjalnym reaktorze z podwyższoną temperaturą, gdzie cząsteczki rosną do wymiarów 4,8 mikrometra. Na kolejnym etapie cząstki osiągają wymiary 5,5 mikrometrów. Następnie po wygrzaniu w temperaturze do 90°C i po ostudzeniu

połączone (koalescencja) cząstki są myte w zdejonizowanej wodzie i suszone. Otrzymane cząstki mają bardzo jednorodny wymiary. Technologia agregacji emulsyjnej jest stosowana przez szereg firm. Jej stosowanie zostało zapoczątkowane i obecnie jest najbardziej zaawansowane w firmie Fuji Xerox [18].



Rys. 3.37. Schemat procesu wytwarzania tonera metodą polimeryzacji emulsyjnej
 Źródło: Kriss M.: *Handbook of Digital Imaging, Vol. 2 Image Display and Reproduction*. John Wiley & Sons, 2015, s. 778.

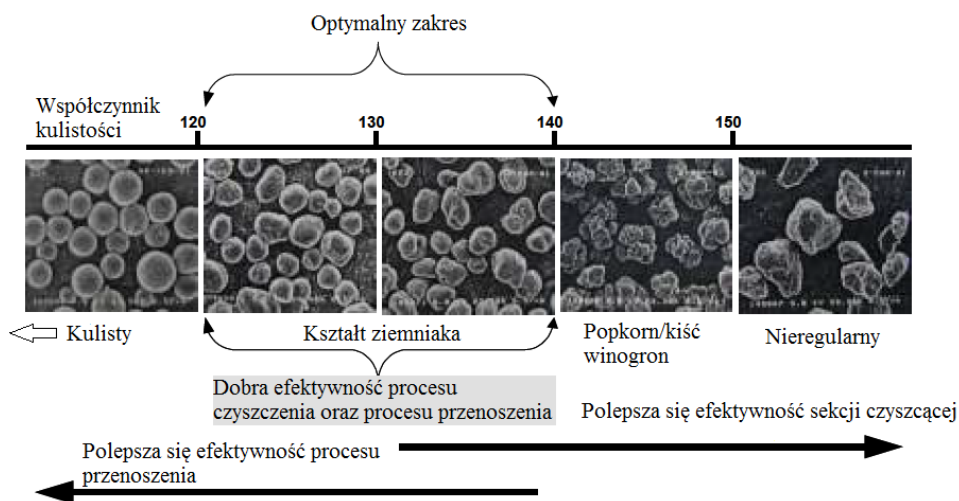
Porównanie tradycyjnej technologii wytwarzania tonerów i nowych technologii chemicznych wykazuje zasadnicze zalety tych ostatnich, szczególnie jest to widoczne w zestawieniu rozkładu wymiarów cząstek tonerów: tradycyjnego i tonera wykonanego metodami syntezy chemicznej (rys. 3.36).



Rys. 3.38. Rozkład wymiarów cząstek tonerów wyprodukowanych metodą:
 1 – tradycyjną, 2 – syntezy chemicznej

Źródło: Kriss M.: *Handbook of Digital Imaging, Vol. 2 Image Display and Reproduction*. John Wiley & Sons, 2015, s. 779.

Cząsteczki tonera wykonane metodami syntezy chemicznej posiadają regularny, zbliżony do kuli kształt cząsteczek. Kulistość można charakteryzować współczynnikiem kulistości, przy idealnym kształcie sferycznym, współczynnik wynosi 100%, a im większa wartość współczynnika, tym bardziej kształt będzie odbiegać od sferycznego. Jednakże przeprowadzane badania procesu utrwalania cząstek tonerów na papierze, porównujące własności tonerów o kształtach kulistych i mniej regularnych wykazują, że kulisty kształt cząstek jest przyczyną pogarszania parametrów procesu utrwalania – kuliste cząsteczki mają tendencję do toczenia się po podłożu, a cząstki o kształtach nieregularnych lepiej ulegają wtapianiu w papier. Ostatecznie kulistość cząstek tonera zmniejsza nieco szybkość procesu utrwalania. Oprócz tego kulisty kształt zmniejsza efektywność sekcji czyszczącej. Dlatego niektóre firmy w końcowym etapie produkcji tonerów metodą agregacji emulsyjnej zastosowały do części tonerów specjalną metodę nadawania cząsteczkom kształtu odbiegającego od kształtu kuli – owalnego, typu kształtu „ziemniaka” [17, 19].



Rys. 3.39. Wpływ kształtu tonera na proces przenoszenia tonera i efektywność procesu czyszczenia cylindra po przenoszeniu

Źródło: Galliford G.J.: *Particle Shape of Toners and the Advantage of Using Chemical Toner Manufacturing Methods*. <http://www.gallifordconsulting.com/Particle%20Shape%20of%20Toners.pdf> (10.02.2016).

Mniejsze wymiary cząsteczek tonera i większa ich jednorodność korzystnie wpływają na jakość druków elektrostatycznych. Cząsteczki otrzymywane, na przykład, w technologii agregacji emulsyjnej rozkładają się na powierzchni papieru bardziej równomiernie niż cząsteczki tonera tradycyjnego. Obrazy drukowane tonerami EA są bardziej ostre i nie tworzą dodatkowych satelitów wokół krawędzi obrazu. Oprócz tego, zastosowanie takich tonerów zwiększa wielkość gamuty barwnego

otrzymanych obrazów, umożliwiając odtworzenie większej liczby odcieni obrazu w stosunku do obrazów wykonanych tonerem konwencjonalnym. Technologia druku takimi tonerami, zapewnia mniejsze zużycie tonera (np. zużywa się o 40% mniej tonera, stosując toner z cząsteczkami o wymiarze 5 μm w porównaniu do tonerów o wymiarach 9 μm), a urządzenia, które je stosują są bardziej niezawodne.



Rys. 3.40. Nadruk wykonany za pomocą tonera tradycyjnego oraz tonera wykonanego metodą EA

Źródło: Xerox® Emulsion Aggregation (EA) Toner. White Paper, Xerox Corporation, 2013.
<http://www.office.xerox.com/latest/SUPWP-01U.pdf> (12.02.2016)

3.11. Maszyny w drukowaniu elektrofotograficznym

3.11.1. Klasyfikacja maszyn elektrofotograficznych

Urządzenia do cyfrowego drukowania elektrofotograficznego można podzielić na trzy grupy [20]:

1. Drukarki biurowe (ang. *small office home office* – *SOHO*).
2. Urządzenia wielofunkcyjne (ang. *multi-function printer* – *MFP*), łączące funkcje drukarki, kopiarki, skanera, faksu i inne.
3. Wysokiej wydajności maszyny drukujące (maszyny produkcyjne lub maszyny nakładowe).

Podziału na różne kategorie maszyn dokonuje się zazwyczaj na podstawie takich parametrów, jak: prędkość drukowania, obciążenie miesięczne i jednostkowy koszt produkcji. W ciągu ostatnich lat te parametry w postaci ilościowej ciągle się zmieniały ze względu na zwiększenie wydajności urządzeń i obniżenie kosztów eksploatacyjnych. Granica pomiędzy urządzeniami wielofunkcyjnymi i maszynami produkcyjnymi nie jest jednoznaczna. Zdarza się, że na tej samej konstrukcji bazowej są produkowane obydwa typy urządzeń, które mogą różnić się kontrolerem druku lub opcjami finiszingu (wykończenia). Chociaż może być i tak, że konstrukcja urządzenia wielofunkcyjnego w wersji dla druku produkcyjnego nieco się zmienia w celu uzyskania większej niezawodności procesu drukowania. W takich przypadkach

może zmieniać się trakt przebiegu papieru (uzyskuje się prostą linię przebiegu) oraz dodawane możliwości precyzyjnego regulowania spasowania nadruku z obydwu stron podłoża.

Do cech wyróżniających maszyny do drukowania produkcyjnego trzeba zaliczyć to, że powinny one zapewnić bezkolizyjną pracę w trybie 24/7 (24 godziny przez 7 dni w tygodniu) i są przeznaczone do dużych miesięcznych obciążeń. Według informacji Info Trends, do klasy maszyn produkcyjnych zalicza się urządzenia, które są przewidziane do obciążenia miesięcznego na poziomie ok. 300 000 odbitek. Granicę tę proponujemy traktować umownie, ze względu na to, że część urządzeń, które nie są przeznaczone dla takich nakładów, jednocześnie nie można klasyfikować jako urządzenia wielofunkcyjne [21].

Inne cechy wyróżniające maszyny nakładowe, to:

- posiadanie mechanizmów rozdmuchu stosu arkuszy, system podawania arkuszy za pomocą taśmy ssącej, posiadanie kompletów rolek pobierających dopasowanych do różnych rodzajów papierów, maksymalnie prosta droga przebiegu papieru (pozytywnie wpływa na zastopowanie papierów o większej gramaturze),
- większe możliwości precyzyjnego spasowania nadruku z obydwu stron papieru,
- szeroki zakres rodzajów stosowanych podłoży oraz ich grubości (wszystkie maszyny nakładowe mogą zadrukowywać podłoża o gramaturze 300 g/m² i wyżej),
- posiadanie systemu zarządzania barwą i inne.

Urządzenia do druku elektrofotograficznego w zależności:

- od liczby kolorów nanoszonej farby (tonera) można podzielić na:
 - maszyny do drukowania monochromatycznego (maszyny do drukowania czarno-białego lub maszyny jednokolorowe),
 - maszyny do drukowania wielobarwnego, np. za pomocą farb CMYK (czterokolorowe) bądź większej ilości tonerów,
- od postaci podłoża zadrukowywanego:
 - arkuszowe,
 - zwojowe,
- od tego, czy w jednym cyklu/przebiegu maszyny można zadrukować podłoże z jednej strony czy z obydwu:
 - jednostronne,
 - dwustronne,
- od sposobu przenoszenia obrazu z nośnika (warstwy fotonaprowadzającej) obrazu na podłoże:

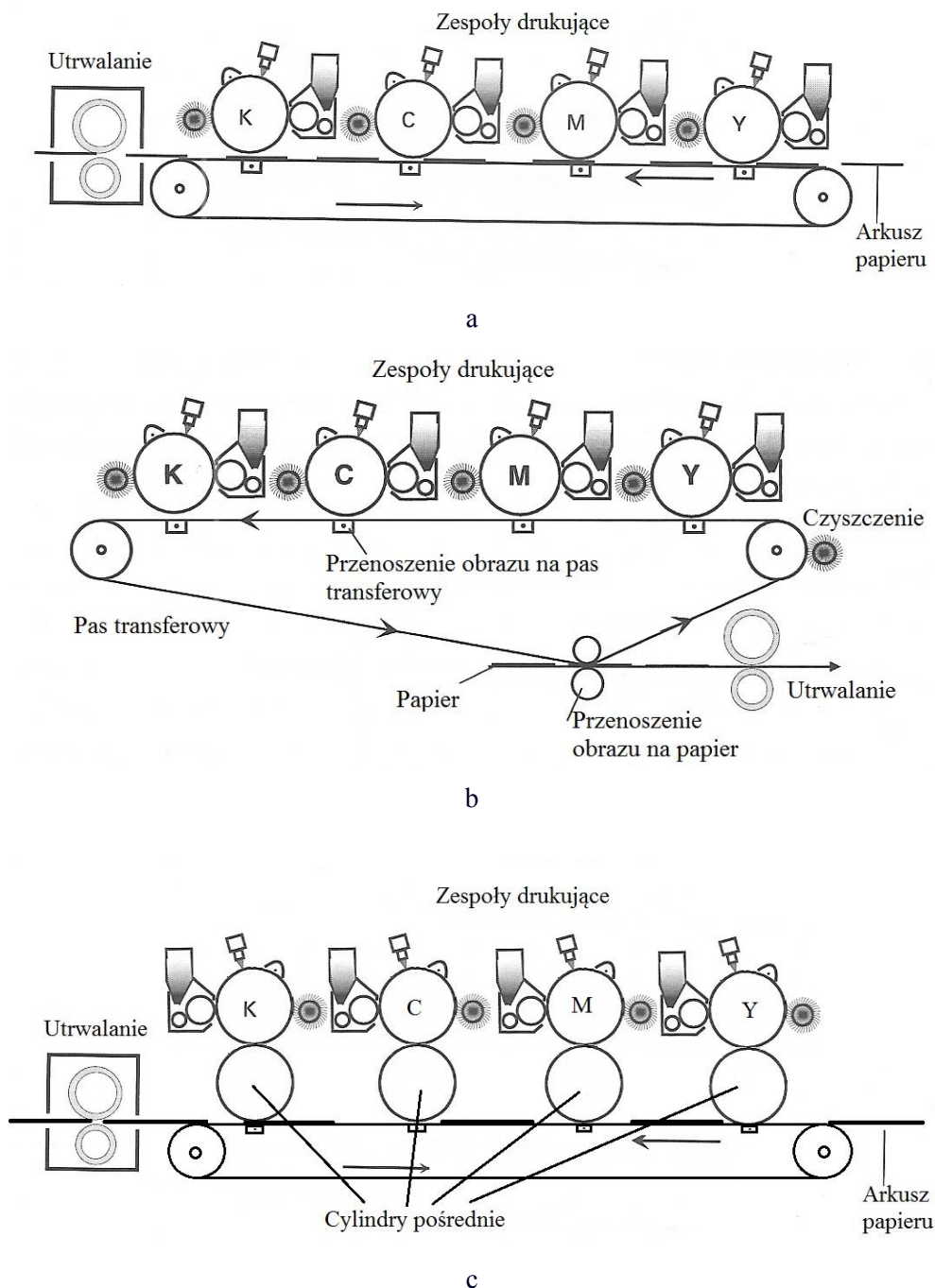
- maszyny z bezpośrednim przenoszeniem obrazu,
- maszyny z pośrednim przenoszeniem obrazu, w których przenoszenie pośrednie może odbywać się za pomocą cylindra pośredniego lub taśmy.

Powyższy podział jest podobny do klasyfikacji maszyn konwencyjnych, ale oprócz tego maszyny elektrofotograficzne do drukowania wielobarwnego mogą posiadać:

- jedną sekcję obrazującą (na bazie cylindra lub taśmy z warstwą fotoprzewodzącą), kilka, na przykład cztery (CMYK), sekcje wywołujące,
- posiadają kilka, na przykład cztery (CMYK) sekcje obrazująco-wywołujące (maszyny wielosekcyjne).

Podobnie jak i w klasycznych maszynach drukujących, cyfrowe maszyny produkowane są w wersji arkuszowej bądź zwojowej, ale w odróżnieniu od klasycznych niektóre cyfrowe maszyny arkuszowe mogą posiadać opcję drukowania zwojowego.

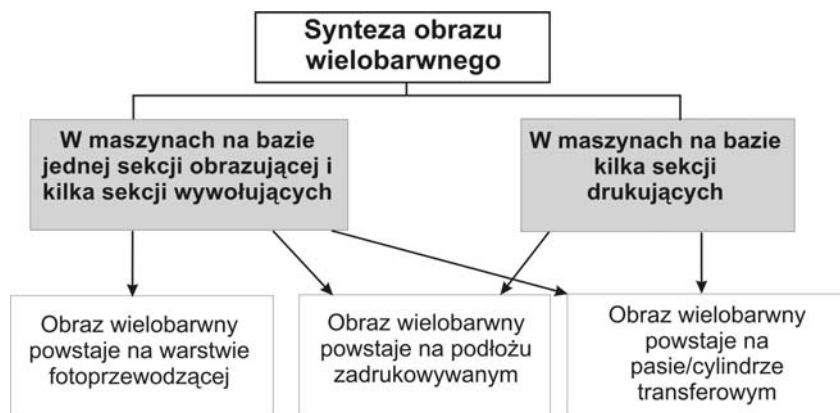
Przy drukowaniu dwustronnym w jednym przebiegu maszyny arkusz/zwój zadrukowuje się z obydwu stron. Może to być rozwiązane w postaci kilku różnych wariantów. W maszynach firmy Xeikon zwój po przejściu przez moduł drukujący (4+4 lub 5+5) zostaje zadrukowany od razu z dwóch stron (technologia One Pass Duplex). Niektóre maszyny zwojowe lub arkuszowe dwustronne zbudowane są z dwóch jednostek maszyn jednostronnie drukujących i w taki sposób odbywa się zadruk z dwóch stron, bez zmniejszenia wydajności drukowania. W większości maszyn arkuszowych (firmy Xerox, Kodak, Canon, Konica Minolta) zadruk dwustronny jest możliwy po zawracaniu arkusza do modułu drukującego po zadrukowaniu jego pierwszej strony (awersu). Takie rozwiązanie skutkuje dwukrotnym zmniejszeniem wydajności przy drukowaniu dwustronnym w porównaniu do druku jednostronnego. Podobnie jak w klasycznych technikach drukowania w cyfrowych maszynach elektrofotograficznych obraz na podłoże może przenosić się bezpośrednio – z cylindra z warstwą fotoprzewodzącą na podłoże (np. w maszynach Xeikon, Xerox iGen) lub pośrednio – za pomocą elastycznego cylindra pośredniego (cylindra transferowego) (Kodak NexPress, HP Indigo), lub za pomocą pośredniego pasa transferowego (Xerox, Canon, Konica Minolta). Bezpośrednie i pośrednie sposoby przenoszenia obrazu na podłoże schematycznie przedstawiono na rys. 3.41.



Rys. 3.41. Sposoby przenoszenia obrazu na podłoże: a – bezpośredni, b – pośredni za pomocą pasa transferowego, c – pośredni za pomocą cylindrów offsetowych
 Źródło: a i b – *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses. Océ Printing Systems GmbH, 2006, ss. 84-85*, c – własne.

Na szczególną uwagę zasługuje sposób powstania (syntezy) obrazu wielobarwnego. Większość maszyn jest zbudowana na zasadzie wielosekcyjnej, podobnie jak w drukowaniu klasycznym – w czterech sekcjach CMYK powstają obrazy tonerowe poszczególnych kolorów, a podłoże drukowe, przechodząc przez cztery sekcje, „zbiera” poszczególne separacje i powstaje obraz wielobarwny. Przykładem takiego rozwiązania może posłużyć maszyna Kodak NexPress. W innym wariantcie obraz wielobarwny może zbierać pośredni pas transferowy i w jednym przejściu przenieść go na podłoże. Takie rozwiązanie jest zrealizowane w maszynach Xerox, Canon, Konica Minolta. Zupełnie inaczej ten proces przebiega w maszynach Indigo, która jako jedyna wśród maszyn produkcyjnych jest zbudowana na bazie jednej sekcji obrazującej (posiada jeden cylinder z warstwą fotorzwoodzącą i jedną głowicę dla naświetlania obrazu) oraz siedmiu sekcji wywołujących (szczegóły tej technologii w rozdziale 3.11.4).

Jeszcze inaczej ten proces przebiega w maszynie Xerox iGen, gdzie obraz wielobarwny powstaje na taśmie z warstwą fotorzwoodzącą (technologia Image-on Image – IOI), na której kolejno tworzone (naświetlane) i wywoływane cztery separacje (CMYK), a następnie tonerowy obraz wielobarwny zostaje przeniesiony na podłoże.



Rys. 3. 42. Możliwe warianty syntezy obrazu wielobarwnego we współczesnych maszynach elektrofotograficznych

Źródło: Uarowa R., Wannikow A., Czurkin A. *Osnovy cyfrowej pieczati. Uczebnoje posobije. Moskwa, MGUP, 2006.* [http://www.hi-edu.ru/e-books/xbook792/01/part-002.htm#i931\(02.02.2016\)](http://www.hi-edu.ru/e-books/xbook792/01/part-002.htm#i931(02.02.2016)).

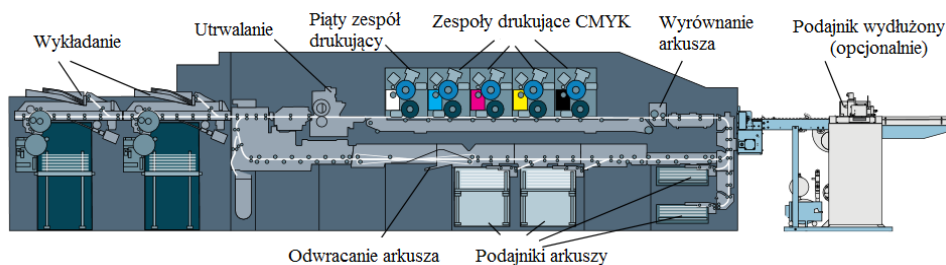
Obecnie na rynku jest dużo modeli cyfrowych maszyn elektrofotograficznych. Maszyny te różnią się między sobą sposobem uzyskania obrazu utajonego, procesem wywoływania i przenoszenia obrazu na podłoże. Są również różnice w konstruk-

cjach głównych zespołów tych maszyn. Maszyny wybranego typu mogą posiadać kilka wersji/modeli przeznaczonych dla różnego rodzaju produkcji lub różnej wydajności. Cena maszyn w dużym stopniu może różnić się w zależności od zastosowanego oprogramowania. W rozdziałach 3.11.2-3.11.6 zostały omówione osobliwości technologiczne i konstrukcyjne zespołów drukujących wybranych modeli maszyn wielobarwnych (Kodak, Xeikon, Indigo, Xerox) i czarno-białych (Xerox, Kodak, Océ).

3.11.2. Maszyny do drukowania wielobarwnego Kodak NexPress

Początki maszyn NexPress sięgają końca lat 90. XX w. W 1997 r. powstała firma Nexpress Solutions LLC z inicjatywy firm Heidelber Druckmaschinen AG i Eastman Kodak Co. w celu opracowania cyfrowej maszyny elektrofotograficznej do drukowania wielobarwnego. Pierwszą maszynę zaprezentowano na targach Drupa 2000 pod nazwą NexPress 2100. Po restrukturyzacji firmy Heidelberg dział maszyn cyfrowych (kolorowych i czarno-białych) został przekazany firmie Eastman Kodak Co. (obecnie firma Kodak). Maszyna NexPress 2100 posiadała cztery sekcje drukujące (CMYK) i drukowała z prędkością 4200 odbitek A4/godzinę (4+0) z rozdzielczością 600 dpi (4 bit na kolor). Ostatnie modele NexPress SX są wyposażone w pięć zespołów drukujących i drukują z wydajnością do ponad 7000 A4/godzinę (4+0 lub 5+0) z rozdzielczością 600 dpi (8 bitów na kolor).

Konstrukcja maszyny NexPress przypomina maszynę offsetową: składa się z pięciu zespołów drukujących, każdy posiada cylinder z warstwą fotoprzewodzącą oraz pośredni cylinder z powłoką elastyczną (offsetowy). Poszczególne separacje barwne obrazu po kolei z zespołów drukujących są przekazywane na papier. Maszyna NexPress – jest to elektrofotograficzna maszyna do drukowania wielobarwnego z pośrednim przenoszeniem obrazu (za pomocą cylindra pośredniego). Na rys. 3.43 przedstawiono ogólny schemat maszyny.

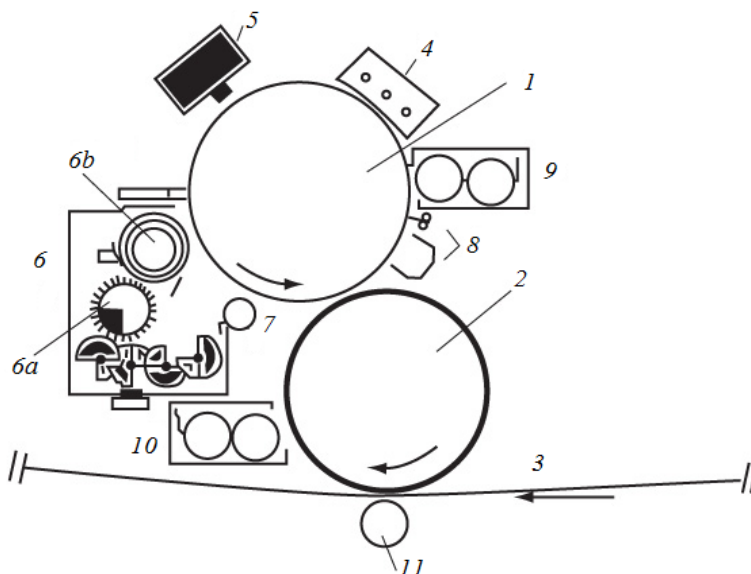


Rys. 3.43. Maszyna Kodak NexPress SX

Źródło: Kodak NexPress Digital Production Color Press.

http://graphics.kodak.com/KodakGCG/uploadedFiles/Products/Printers_and_Presses/Digital_Color/Nexpress/SX_Platform/SX2700/Tab_Content/PileFeeder_DataSht_US_1-13LR.pdf (02.02.2016).

Proces drukowania przebiega w następujący sposób: arkusz papieru jest automatycznie pobierany z odpowiedniego podajnika i, po przejściu przez strefę klimatyzacji (kondycjonowania), podlega wyrównaniu w obydwu kierunkach przed zespołami drukującymi. Następnie arkusz za pomocą taśmy transportującej przechodzi przez cztery lub pięć zespołów drukujących. W każdym zespole drukującym obraz tonerowy z cylindra pośredniego (z elastyczną powłoką) zostaje przeniesiony na papier pod wpływem sił pola elektrostatycznego. Po przeniesieniu wszystkich separacji barwnych odbitka jest przekazywana do sekcji utrwalania. Termomechaniczny zespół utrwalający utrwała nadruk i odbitka jest przekazywana do wykładaka. Przy drukowaniu dwustronnym, arkusz, po utrwalaniu, jest przekazywany do sekcji odwracania arkusza. Za pomocą specjalnych mechanizmów taśmowych odbywa się boczne odwracanie arkusza. W maszynie zainstalowano system klimatyzowania, który zapewnia wewnątrz maszyny stałą temperaturę i wilgotność [22, 23].



Rys. 3.44. Schemat zespołu drukującego w maszynie Kodak NexPress

Źródło: Uarowa R., Wannikow A., Czurkin A.: *Osnovy cyfrowoj pieczati. Uczebnoje posobije.* Moskwa, MGUP, 2006. <http://www.hi-edu.ru/e-books/xbook792/01/part-002.htm#i931> (02.02.2016).

Zespół drukujący (rys. 3.44) składa się z: 1 – cylindra z warstwą fotoprzewodzącą, 2 – cylindra pośredniego, 3 – taśmy transportującej arkusz, 4 – skorotronu, 5 – diody świecącej LED, 6 – zespołu wywołującego, 7 – sekcji oczyszczenia powierzchni cylindra od cząsteczek nośnika, 8 i 9 – sekcji oczyszczania cylindra z warstwą fotoprzewodzącą, 10 – sekcji czyszczenia powierzchni cylindra pośredniego, 11 – wałka pod napięciem. W sekcji oczyszczania w pierwszej kolejności

następuje ładowanie (8) powierzchni fotoprzewodzącej (potencjał ujemny), a następnie czyszczenie mechaniczne (9) z pozostałości tonera.

Centralnym elementem zespołu drukującego jest cylinder z warstwą fotoprzewodzącą. Wokół cylindra są rozmieszczone funkcjonalne zespoły, które pozwalają na ładowanie warstwy fotoprzewodzącej, naświetlanie obrazu, wywoływanie obrazu, przeniesienie go na cylinder pośredni oraz oczyszczenie warstwy fotoprzewodzącej z pozostałości tonera po etapie przenoszenia. Ładowanie warstwy fotoprzewodzącej odbywa się za pomocą trzech skorotronów. W trakcie naświetlania za pomocą głowicy na bazie diod świecących LED następuje rozładowywanie miejsc drukujących. Gęstość rozmieszczenia diod LED wynosi 600 dpi, stąd rozdzielczość urządzenia wynosi 600 dpi. Ale, na skutek zmiany intensywności i czasu naświetlania w każdej diodzie, w poszczególnym punkcie naświetlonym można uzyskać 256 różnych wartości potencjału, co odpowiada głębi 8 bitów (8 bitów na kolor). W efekcie uzyskuje się 256 wartości tonów (poziomów szarości, gradacji).

W maszynie zastosowano rewersyjne wywoływanie (DAD), tzn. że toner osadza się na miejscach rozładowanych. Proces wywoływania odbywa się za pomocą mechanizmu szczotki magnetycznej. Stosuje się toner dwuskładnikowy, w którym cząsteczki nośnika posiadają bardzo małe wymiary (ok. 35 μm). Część z nich w trakcie wywoływania może przenosić się na cylinder z warstwą fotoprzewodzącą, z tego powodu, przed przeniesieniem obrazu na cylinder pośredni, rozmieszczono sekcję oczyszczania od cząsteczek nośnika.

Przenoszenie obrazu tonerowego na papier odbywa się za pomocą cylindra pośredniego z powłoką elastyczną z gumy silikonowej. Powierzchnia cylindra ładuje się potencjałem +450 V, i dlatego ujemnie naładowany toner łatwo przenosi z się w polu elektrostatycznym na cylinder pośredni. Również z cylindra pośredniego toner przenosi się na papier w polu elektrostatycznym. W tym celu, w miejscu przenoszenia tonera taśma transportująca z papierem ładuje się za pomocą wałka pod napięciem, który posiada potencjał +800...1000 V. Dodatkowo, wałek dociska papier do powierzchni cylindra pośredniego. Dokładna wartość potencjału wałka pod napięciem zależy od gramatury papieru. Papiery o większej gramaturze, potrzebują wyższych wartości potencjału. Toner prawie w całości przenosi się na podłoże. Potencjał przenoszenia zwiększa się od zespołu do zespołu, ze względu na to, że w kolejnych zespołach przenoszenie na papier odbywa się z wcześniej przeniesionym tonerem, który jest ujemnie naładowany. Oddzielenie papieru od cylindra

pośredniego wspomaga wałek oddzielenia, który częściowo rozładowuje taśmę transportującą oraz odwrotną stronę papieru.

Po zadrukowaniu papieru we wszystkich sekcjach drukujących odbitka jest przekazywana do zespołu utrwalającego, gdzie przemieszcza się pomiędzy dwoma podgrzanyimi wałkami, jednym utrwalającym, a drugim – dociskowym. W trakcie utrwalania odbywa się stopienie tonera i jego wciskanie w papier. Temperatura wałków nie jest stała i zmienia się w zależności od gramatury papieru, w tym celu zmienia się wielkość napięć przykładanych do lamp, które podgrzewają wałki od wewnątrz. Po utrwaleniu odbitka trafia na wykładak. Po tym, jak toner został przekazany na cylinder pośredni, warstwa fotorz przewodząca jest oczyszczana z pozostałości tonera.

Proces oczyszczenia składa się z trzech etapów: wstępne oczyszczanie, oczyszczanie mechaniczne i neutralizacja ładunków. Wstępne oczyszczanie polega na zwiększeniu potencjału cylindra z warstwą fotorz przewodzącą, np. do -620 V . To zmniejsza przyczepność tonera do powierzchni. Ujemnie naładowany toner odpycha się od ujemnie naładowanej warstwy fotorz przewodzącej i w łatwy sposób oczyszcza się za pomocą szczotki czyszczącej. Do szczotki jest przykładane napięcie $+300\text{ V}$. Zdjęty za pomocą tej szczotki ujemnie naładowany toner przekazuje się na cylinder czyszczący naładowany do potencjału $+700\text{ V}$, a następnie usuwa się z zespołu oczyszczania do pojemnika z użytym tonerem. Neutralizacja ładunków na warstwie fotorz przewodzącej odbywa się pomocą równomiernego naświetlania powierzchni warstwy fotorz przewodzącej światłem liniiki diod świecących. W podobny sposób odbywa się czyszczenie powierzchni cylindra pośredniego.

Wśród zalet pośredniego przenoszenia tonera na papier należy podkreślić, że brak kontaktu papieru z cylindrem z warstwą fotorz przewodzącą zmniejsza jego zużycie. A przenoszenie tonera z powierzchni elastycznej cylindra pośredniego na papier zwiększa asortyment stosowanych podłoży. Można stosować papiery w zakresie gramatur od 60 do 350 g/m^2 .

Stacja sterująca Kodak NexPress VII Front End posiada otwartą architekturę i pozwala na diagnostykę stanu maszyny oraz sterowanie procesem drukowania, począwszy od przyjmowania i przygotowania do drukowania zleceń po drukowanie. W zakresie jej funkcji są również operacje montażu elektronicznego, trappingu, separacji barw i rastrowania, zarządzania barwą oraz druku danych zmiennych.

W piątym zespole drukującym może być stosowany toner o barwach specjalnych (R, G, B, złoty, perłowy lub szary) lub o właściwościach specjalnych

(IR-luminiscencja) lub o właściwościach magnetycznych (toner MICR)). Oprócz tego w piątym zespole drukującym może być stosowany toner przezroczysty, pozwalający uzyskać efekt lakierowania wybiórczego lub całościowego, lub efekt lakierowania 3D (również całościowo lub wybiórczo). Przy zastosowaniu tonera przezroczystego można wykorzystać moduł wykańczający wybłyszczający NexPress Glossing Unit (of-line), dzięki któremu uzyskuje się efekt lakierowania z wysokim połyskiem.

W maszynie można zastosować samonakładak firmy Baumfold (opcja), który pozwala na zadrukowanie arkuszy o długości do 1000 mm. Również opcjonalnie można drukować ze zwoju, wykorzystując podajnik zwojowy.

Tabela 3.4. Wybrane parametry techniczne maszyn Kodak NexPress

Model	Rozdzielczość	Prędkość drukowania: Standardowy podajnik/ opcjonalny podajnik (długość arkusza 1000 mm)	Max format arkusza (mm): standardowy podajnik/ opcjonalny podajnik (długość arkusza 1000 mm)	gramatura papieru, g/m ²	Miesięczne obciążenie
NexPress SX3300	600 dpi (8 bit na kolor)	6000 A4 (5+0) na godzinę (100 A4/min) / 6545 A4 (4+0) na godzinę (109 A4/min)	356x520 / 356x1000	60-350	3,7 mln A4
NexPress SX3900	600 dpi (8 bit na kolor)	7200 A4(5+0) na godzinę (120 A4/min) / 7854 A4(4+0) na godzinę (131 A4/min)	356x520 / 356x1000	60-350	4,4 mln A4

Źródło: [23].

Na targach Drupa 2016 firma Kodak zapowiedziała prezentację nowej maszyny Nexpress ZX3900 Digital Production Color Press. Nowe możliwości w porównaniu

do poprzednich modeli – to możliwość zadruku grubszych podłoży oraz druk na podłożach z tworzyw sztucznych, tym samym pojawia się nowa oferta na rynku opakowań i etykiet. W nowej maszynie pojawi się nowa opcja zastosowania białego tonera – Express Opaque White Dry Ink.

3.11.3. Maszyny do drukowania wielobarwnego Xeikon

Zwojowa maszyna DCP-1 firmy Xeikon była jedną z dwóch pierwszych maszyn elektrofotograficznych do drukowania wielobarwnego nakładowego (druga maszyna E-Print firmy Indigo), które były zaprezentowane na targach IpeX w 1993 r. Belgijska firma Xeikon (założona w 1988 r.) opracowała technologię drukowania elektrofotograficznego z zastosowaniem suchego tonera One Pass Duplex, która pozwala na zadrukowanie wstęgi papieru od razu z obydwu stron. Na bazie tej technologii, oprócz zwojowych maszyn dwustronnych, powstały maszyny do drukowania zwojowego jednostronnego dla rynku etykiet oraz maszyna arkuszowa. Na początku XXI w. firma zostaje wykupiona przez firmę Punch International, która kontynuuje rozwój maszyn zwojowych. W 2015 r. firma Xeikon zostaje wykupiona przez firmę Flint Group. Najnowsze modele maszyn to – Xeikon 9800, seria maszyn Xeikon 8000, seria maszyn Xeikon 3000.

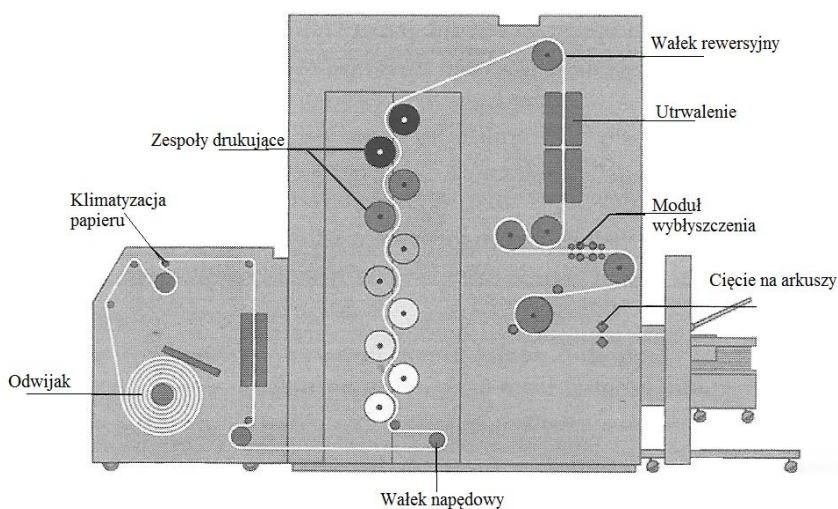
Ogólny schemat zwojowej maszyny Xeikon do druku dwustronnego przedstawia rys. 3.45. Maszyna składa się z odwijaka, zespołu drukującego, w którym odbywa się zadruk podłoża wstęgi wg schematu 5+5, zespołu utrwalającego, sekcji cięcia wstęgi na arkusze oraz wykładaka arkuszy. Szczegóły procesu drukowania zostaną zilustrowane na przykładzie serii maszyn Xeikon 5000.

Po odwinięciu ze zwoju wstęga przechodzi przez sekcję klimatyzowania papieru: na początku, przechodząc przez układ wałków gorących, gdzie wstęga jest podgrzewana, aby obniżyć wilgotność, a następnie schładza się ją – za pomocą wałków chłodzących. Odpowiednie czujniki kontrolują pracę sekcji klimatyzacji.

Moduł drukujący (rys. 3.45a) składa się z dziesięciu zespołów drukujących, rozmieszczonych po kolei na przemian z obydwu stron podłoża, co pozwala na zadruk pięcioma kolorami (CMYK+ kolor dodatkowy) z obydwu stron wstęgi papieru (5+5). W każdym zespole wytwarza się obraz tonerowy dla odpowiedniej separacji barwnej i przenosi się go na podłoże.



a



b

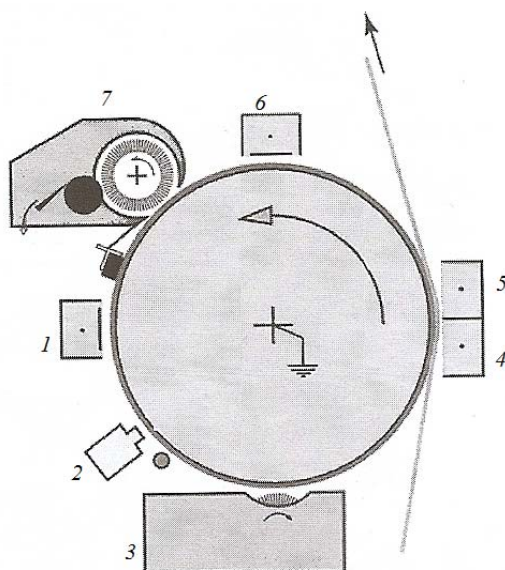
Rys. 3.45. Ogólny wygląd a) i schemat b) maszyny Xeikon 5000

Źródło: a – Bennett P.K., Levenson H.R., Romano F.J.: *Sprawocznik po cyfrowej pieczce i pieczce pierzeiennych danych*. Print –Media center, Moskwa 2007, s. 133, b – *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses*. Océ Printing Systems GmbH, 2006, s. 89.

Schemat pojedynczej sekcji drukującej pokazano na rys. 3.46. Wokół cylindra z warstwą fotoprzewodzącą rozmieszczono funkcjonalne zespoły, w których po kolei odbywają się procesy ładowania, naświetlania, wywoływania i przeniesienia obrazu tonerowego na podłoże, a następnie oczyszczanie powierzchni warstwy fotoprzewodzącej. Na początku za pomocą skorotronu odbywa się ładowanie powierzchni fotoprzewodzącej do potencjału -630 V . W sekcji naświetlania za pomocą

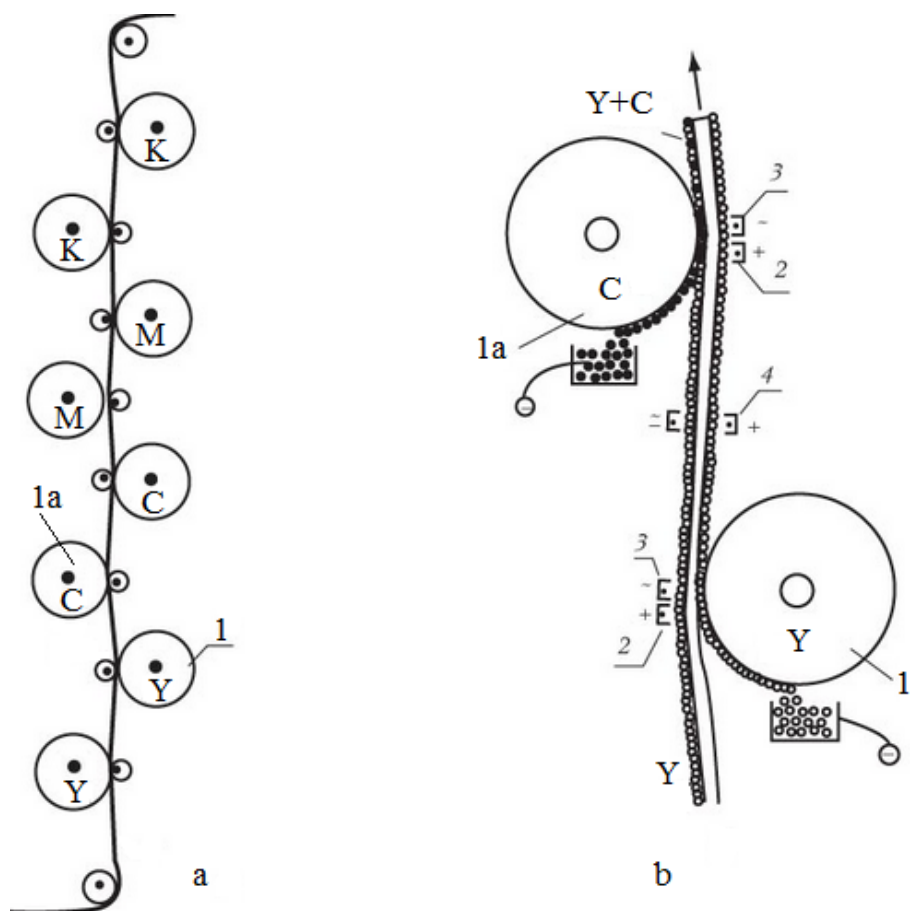
linijki diod świecących LED następuje naświetlanie obrazu – rozładowywane są miejsca drukujące. Rozdzielczość linijki diod LED wynosi 1200 dpi, a w trakcie naświetlania uzyskuje się 64 poziomy rozładowywania warstwy fotoprzewodzącej w jednym punkcie. W sekcji wywołującej za pomocą mechanizmu szczotki magnetycznej na miejsca rozładowywane przenosi się toner naładowany ujemnie (wywoływanie rewersyjne, DAD).

W sekcji przenoszenia odwrotna strona papieru ładuje się za pomocą korotronu zasilanego napięciem stałym dodatnim, a ujemnie naładowany toner przenosi się na podłoże w polu elektrostatycznym. Po wyjściu ze strefy przenoszenia odwrotna strona papieru częściowo zostaje rozładowywana za pomocą korotronu zasilanego napięciem zmiennym. Następnie podłoże z przeniesionym obrazem przemieszcza się do następnej sekcji, rozmieszczonej po odwrotnej stronie, a warstwa fotoprzewodząca podlega odczyszczeniu. W tym celu powierzchnia warstwy fotoprzewodzącej ładuje się za pomocą skorotronu, do siatki którego przykładana jest napięcie -590 V . Zmniejsza to przyczepność ujemnie naładowanego tonera do powierzchni cylindra warstwą fotoprzewodzącą, dlatego w sekcji oczyszczania w łatwy sposób usuwa się go z powierzchni. Szczegółowo proces oczyszczania jest opisany w rozdziale 3.9.



Rys. 3.46. Schemat zespołu drukującego w maszynie Xeikon: 1 – skorotron ładujący, 2 – linijka diod LED, 3 – zespół wywołujący, 4 – korotron przeniesienia obrazu tonerowego na papier, 5 – korotron oddzielenia podłoża, 6 – skorotron ładujący zmniejszający przyczepność tonera, 7 – zespół oczyszczający

Źródło: *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses. Océ Printing Systems GmbH, 2006, s. 89.*



Rys. 3.47. Moduł drukujący maszyny Xekon: 1 – druga sekcja drukująca (Y), 1a – trzecia sekcja drukująca (C), 2 – korotron przenoszenia, 3 – korotron oddzielenia podłoża, 4 – para korotronów zmieniająca znak ładunku tonera po obydwu stronach podłoża

Źródło: Uarowa R., Wannikow A., Czurkin A.: *Osnovy cyfrowej pieczati. Uczebnoje posobije.* Moskwa, MGUP, 2006. <http://www.hi-edu.ru/e-books/xbook792/01/part-004.htm#i1970> (02.02.2016).

Osobliwość technologii One Pass Duplex polega na tym, że pomiędzy poszczególnymi sekcjami drukującymi znajduje się para korotronów (4 na rys. 3.47), której zadaniem jest zmiana znaku ładunku tonera, który znajduje się na wstędze z obydwu stron (po pierwszej sekcji – tylko z jednej). Zmiana znaku ładunku jest potrzebna dlatego, że wstęga papieru zbliżająca się do kolejnego cylindra elektrofotograficznego musi mieć, po przeciwnej stronie od strony kontaktu z cylindrem elektrofotograficznym, toner (przeniesiony z wcześniejszej sekcji) z ładunkiem obojętnym lub dodatnim. Dzięki temu w strefie działania korotronu przenoszenia, toner pozostanie na podłożu. W przeciwnym razie, jeżeli znak ładunku tonera nie zostanie zmieniony, w strefie przenoszenia ujemnie naładowany toner skieruje się

do dodatkowo naładowanej elektrody korotronu przenoszenia. Proces ten dla sekcji drukujących drugiej (Y) i trzeciej (C) przedstawiono szczegółowo na rys. 3.47b.

Po zadrukowaniu z dwóch stron, wstęga za pomocą wałka rewersyjnego jest kierowana do sekcji utrwalania. Sekcja utrwalająca służy do utrwalenia nadruku na podłożu. Jest to sekcja bezdotykowa, a nadruk jest utrwalany za pomocą ciepła. Wszystkie elementy grzewcze są automatycznie wyłączane, aby zapobiec zapaleniu się papieru.

Po przejściu wstęgi papieru przez stację utrwalającą następuje schładzanie wstęgi za pomocą dwóch wałków chłodzących. Następnie wstęga papieru trafia do sekcji wyblyszczzenia (omni-gloss), dzięki której uzyskuje się połysk zadrukowanych miejsc. Po sekcji wyblyszczzenia wstęga ponownie jest chłodzona. Tak przygotowana wstęga z nadrukiem trafia następnie do sekcji cięcia, gdzie zostaje pocięta na arkusze. Odbitki w postaci arkuszy za pomocą wałków transportujących są przekazywane na wykładak, aby arkusze nie wykazywały tendencji do elektryzowania się przed wykładaniem dodatkowo poddaje się je działaniu jonizatora.

Maszyny Xeikon 5000, serii 8000 lub 9800 są przeznaczone do zwojowego druku dwustronnego i mogą drukować książki, broszury i in. Seria maszyn Xeikon 3000 (druk jednostronny) jest przeznaczona do druku etykiet, opakowań giętkich oraz opakowań tekturowych.

W piątym zespole drukującym maszyn Xeikon może być zastosowany toner o barwie specjalnej (R, G, B, specjalny Magenta lub specjalny czarny), toner biały, jak również przezroczysty toner luminescencyjny (UV-luminescencja).

W maszynach Xeikon zastosowano toner własnej produkcji: w maszynach do druku dwustronnego toner QA-P, w najnowszym modelu Xeikon 9800 – nowy toner QE-CD, a w maszynach serii 3000, przeznaczonych do zadruku etykiet i opakowań toner QA-I, który posiada certyfikat dla opakowań do produktów spożywczych i może mieć bezpośredni kontakt z produktami pakowanymi.

Po zadruku zwoju na maszynach serii 3000 kompleksowe operacje obróbki po druku (uszlachetniania i konfekcjonowania) można wykonać za pomocą linii DCoat 330 opracowaną przez firmę Grafisk Maskinfabrik. Linia może pracować w trybie on-line z maszyną drukującą, ale może również pracować autonomicznie. Posiada budowę modułową i może być bardziej lub mniej rozbudowana. Do podstawowych modułów należą moduły: lakierowania, laminowania, wykrawania, cięcia wzdłużnego. W postaci dodatkowych modułów stosowano moduły: cięcia poprzecznego na arkuszu, moduł sitodruku, tłoczenia folią i in.

Tabela 3.5. Wybrane parametry techniczne maszyn Xeikon

Model	Rozdzielczość	Prędkość drukowania	Szerokość zwoju [mm]	Gramatura papieru [g/m ²]	Miesięczne obciążenie
Xeikon 9800	1200x3600 dpi (4 bit na kolor)	do 21,5 m/min 17400 do A4/godzinę (5+5) (290 A4/min))	320-512	40-300	10,0 mln A4
Xeikon 8800	1200x3600 dpi (4 bit na kolor)	do 19,2 m/min do 15,600 A4/godzinę (5+5) (260 A4/min)	320-512	40-350 (poniżej 550 µm)	10,0 mln A4
Xeikon 3500	1200x3600 dpi (4 bit na kolor)	do 19,2 m/min (5+0)	250-516	40-350 (poniżej 550 µm)	700000 m

Źródło: [24, 25, 26].

Na bazie maszyn serii 3000 firma opracowała rozwiązanie dla zadruku tektury – Folding Carton Suite. System ten składa się z odwijaka, maszyny serii 3000 oraz urządzenia finiszującego WFM, w którym odbywa się proces cięcia na arkusze oraz układanie arkuszy w stos [27].

Wśród ostatnich nowości firmy Xeikon trzeba zaznaczyć maszynę Xeikon CX3 (opracowaną na bazie technologii Cheeta), która była zaprezentowana na targach Labelexpo Europe w 2015 r. i jest przeznaczona do zwojowego druku etykiet. Maszyna pozwala drukować z wydajnością do 30 m/min. Inną nowością jest prezentowana na targach Drupa 2012 nowa technologia drukowania elektrofotograficznego na bazie ciekłego tonera z prototypem maszyny zwojowej opartej na tej technologii drukowania pod nazwą roboczą Trillium.

3.11.4. Maszyny do drukowania wielobarwnego HP Indigo

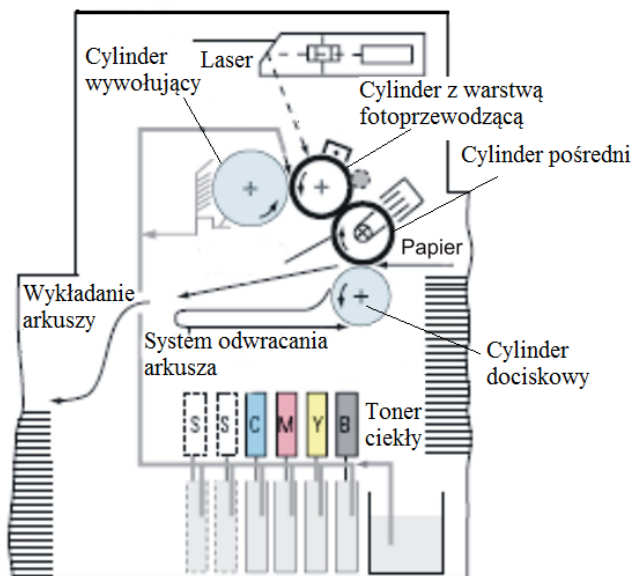
Izraelska firma Indigo, która została założona w 1977 r. przez Benny'ego Landę (twórcę nanografii) pod koniec lat 80. opracowała ciekły wywołujący dyspersyjny dla drukowania elektrofotograficznego, na podstawie którego powstała technologia druku elektrofotograficznego ElektroInk. Pierwsza arkuszowa maszyna Indigo E-Print 1000 została zaprezentowana (równolegle z maszyną Xeikon DCP-1) w 1993 r. na targach Ipex. W 2001 r. Indigo została sprzedana firmie HP i od tego czasu maszyny są na rynku pod nazwą HP Indigo. Dzięki zastosowaniu ciekłego tonera dyspersyjnego nawet w początkach druku cyfrowego maszyny Indigo mogły

oferować wysoką jakość nadruku, zbliżoną do druku offsetowego [28]. Od momentu prezentacji pierwszej maszyny w 1993 r. technologia ciągle była udoskonalana, jak i udoskonalane parametry maszyn HP Indigo. W 2012 r. na targach Drupa 2012 r. zaprezentowano pierwszą maszynę HP Indigo drukującą w formacie B2 – HP Indigo 10000, a w 2013 na targach Labelexpo, swoją premierę miały maszyny formatu B2, przeznaczone na rynek opakowań: HP Indigo 20000 Digital Press przeznaczona do druku etykiet i opakowań giętkich oraz HP Indigo 30000 Digital Press przeznaczona do zadruku opakowań z tektury. W nowych modelach maszyn pojawiła się nowa opcja druku Enhanced Productivity Mode (EPM) – umożliwiająca druk CMYK w trybie CMY. Nowa opcja, jak zapewnia producent, nie pogarsza jakości druku, a ze względu na to, że druk wielobarwny w maszynie jest realizowany na bazie jednej sekcji drukującej (jeden cylinder z warstwą fotoprzewodzącą) pozwala zwiększyć szybkość drukowania [29, 30].

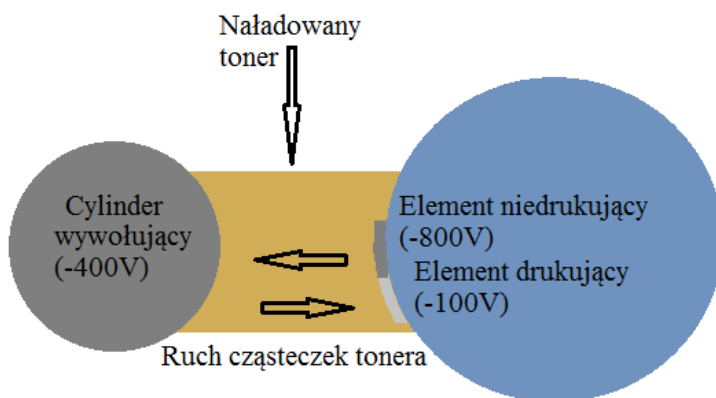
Technologia drukowania w maszynach HP Indigo posiada szereg osobliwości: zastosowano ciekły wywoływacz dyspersyjny ElektroInk, maszyna jest zbudowana na bazie jednej sekcji drukującej (posiada jeden cylinder z warstwą fotoprzewodzącą i jeden system naświetlania oraz ładowania), w maszynie zastosowano pośrednie przenoszenie obrazu, nie ma odrębnej sekcji utrwalającej, w momencie przenoszenia obrazu tonerowego na podłoże za pomocą podgrzanego pośredniego cylindra następuje przeniesienie obrazu i jednoczesne utrwalanie nadruku na podłożu.

Ze względu na to, że maszyna posiada tylko jeden cylinder, na którym jest zamocowana folia z warstwą fotoprzewodzącą, poszczególne separacje barwne po kolei są naświetlane na warstwie fotoprzewodzącej naładowanej za pomocą skorotronu (lub kilku skorotronów), wywoływane, następnie toner przenoszony jest na cylinder pośredni, a z niego – na podłoże. Obraz ostateczny jest wynikiem powtarzania tych etapów tyle razy, ile jest separacji barwnych. W przypadku czterech separacji CMYK – cztery razy. W maszynach arkuszowych arkusz papieru jest zamocowany na cylindrze dociskowym i po kolei zbiera wszystkie separacje barwne. W maszynach zwojowych obraz wielobarwny zbiera cylinder pośredni (producent nazywa ten proces „One Shot-Technik”). W tym przypadku stosuje się dyskretny ruch wstęgi. Nowsza generacja maszyn arkuszowych również posiada opcję „One Shot-Technik”. W maszynie HP Indigo jest możliwość drukowania za pomocą siedmiu podstawowych kolorów. Ze względu na posiadanie jednego cylindra elektrofotograficznego wydajność procesu drukowania będzie zależeć od liczby separacji barw-

nych, przy drukowaniu jednym kolorem wydajność procesu drukowania będzie czterokrotnie wyższa niż przy drukowaniu czterokolorowym (CMYK).



a



b

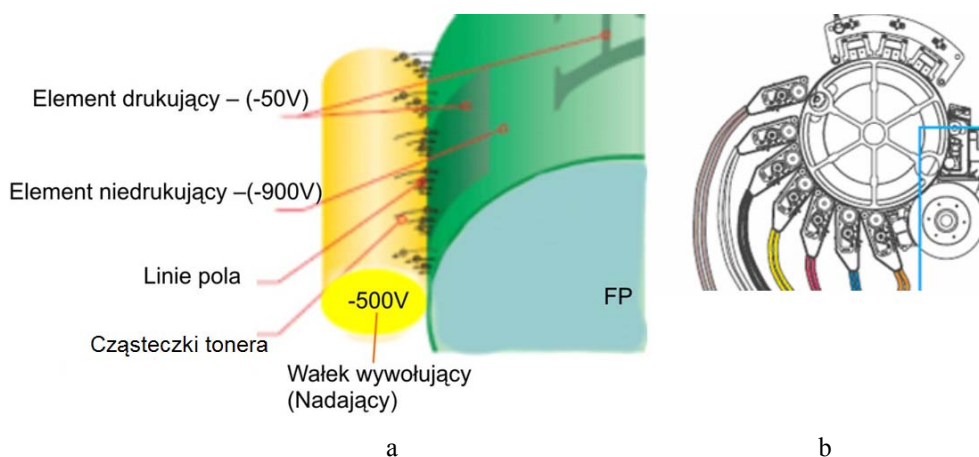
Rys. 3.48. Schemat maszyny Indigo E-Print 1000 a) oraz schemat procesu wywoływania w Indigo E-Print 1000 b)

Źródło: a – <http://docplayer.biz.tr/4318796-Dijital-baski-dijital-baski.html> (02.02.2016),

b – http://www.100vizitok.ru/cifrovoy_ofset/ (02.02.2016).

Ciekły toner Elektroink składa się z trzech komponentów: cząsteczek tonera (polimer, pigment, dodatki), syntetycznego oleju parafinowego i aktywatora konduktywności. Pierwsze modele maszyn posiadały jeden wałek wywołujący (-400 V), pomiędzy nim a cylindrem elektrofotograficznym był wtryskiwany toner nałado-

wany ujemnie. Jeżeli toner znajdował się pomiędzy elementem niedrukującym (nienaświetlonym), który posiadał potencjał -800 V , a cylindrem wywołującym, to kierował się w stronę cylindra wywołującego, a jeżeli znajdował się pomiędzy miejscem drukującym rozładowanym do potencjału -100 V a cylindrem wywołującym, to przemieszczał się do cylindra elektrofotograficznego. W taki sposób przebiegał proces wywoływania (rys. 3.48b). Nowsze modele maszyn posiadają siedem zespołów wywołujących, każdy jest wyposażony w oddzielny wałek wywołujący (rys. 3.49b). Farbę za pomocą pompy podaje się do odpowiedniego zespołu wywołującego. Zmieniając potencjał wałka wywołującego, można regulować ilość naniesionego tonera.

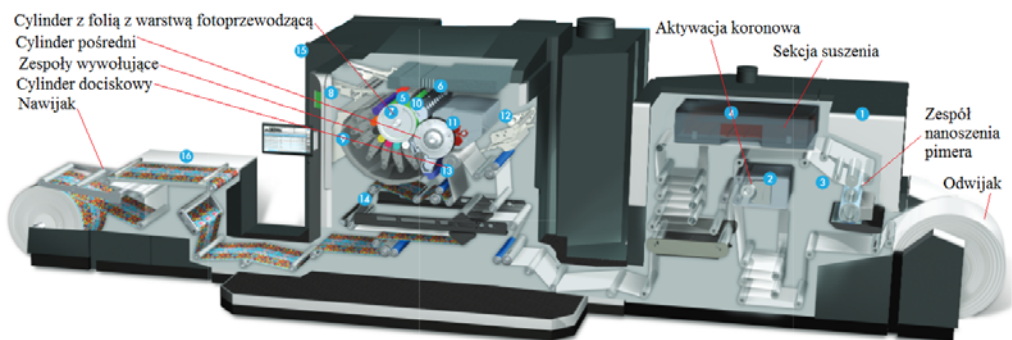


Rys. 3.49. Proces wywoływania we współczesnych modelach maszyn HP Indigo

Źródło: http://www.publish.ru/articles/200708_4741385 (02.02.2016).

W procesie drukowania mają miejsce dwa etapy przenoszenia tonera – z cylindra elektrofotograficznego na cylinder pośredni (offsetowy) oraz z cylindra offsetowego na podłoże.

Pierwsze przenoszenie – z cylindra fotorzwoleczkowego na cylinder offsetowy – odbywa się za pomocą pola elektrostatycznego. W tym celu powierzchnia obciążu gumowego, który jest zamocowany na cylindrze pośrednim, jest ładowana do potencjału $+500\text{ V}$. Obciąż jest wykonany z gumy przewodzącej prąd. Drugi etap przenoszenia – na podłoże – odbywa się pod wpływem ciepła i docisku. Obciąż jest podgrzewany do temperatury ok. 140°C . Toner się stapia i w momencie kontaktu z zimnym podłożem krzepnie na nim. Z gumy na podłoże przenosi się 100% tonera. Dzięki takiemu sposobowi przenoszenia i utrwalenia odbywa się w tym samym momencie.



Rys. 3.51. Ogólny widok zwojowej maszyny HP Indigo 20000

Źródło: HP Indigo 20000 Digital Press.

http://www.hp.com/hpinfo/newsroom/press_kits/2012/HPdrupa12/HP_Indigo_20000.pdf
(02.02.2016).

Tabela 3.6. Wybrane parametry maszyn HP Indigo Digital Press 10000, HP Indigo Digital Press 20000 i HP Indigo Digital Press 30000

Model	Rozdzielczość	Prędkość drukowania	Format arkuszy/szerokość zwoju	Gramatura papieru lub grubość podłoża/rodzaj podłoża	Miesięczne obciążenie
HP Indigo 10000 4+4/7+7	1219x2438 dpi (8 bit na kolor)	3450 B2/godzinę (4+0); 4600 B2/h (EPM);	B2 (750mm×530 mm)	65-400 g/m ²	1,7-7 mln A4
HP Indigo 20000	800 x 1219 dpi (8 bit na kolor)	45 m/min (EPM), 34 m/min (CMYK), 27 m/min (CMYK+W)	Zwój o szerokości 400-762 mm/max. format zadruku 736x1100 mm	10-250 μm/ PE, PET, BOPP, CPP, PA, PVC, OPSI, papier, folia	b.d.
HP Indigo 30000	812 x 1219 dpi (8 bit na kolor)	3 450 B2/godzinę (4+0); 4 600 B2/godzinę (EPM)	Maksymalny format arkusza 750 x 530 mm/max. format zadruku 740x510 mm	280-840 μm/ wszystkie rodzaje tektury, linery	b.d.

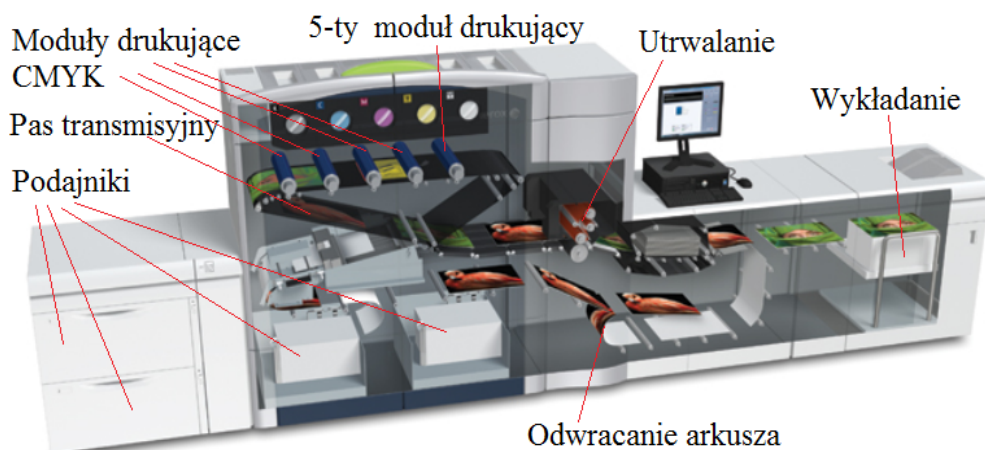
Źródło: [27 28, 29].

Zwojowe modele maszyn przeznaczone do drukowania etykiet i opakowań. Obróbka druków wykonanych na maszynie HP Indigo 20000 Digital Press może odbywać się na linii do produkcji i wykończania etykiet Digicon 3000 firmy AB Graphic International. Firma ta od lat współpracuje z HP Indigo i dostarcza swoje rozwiązania z zakresu obróbki druków. Maszyna HP Indigo 30000 Digital Press może być zintegrowana z modulem do lakierowania Tresu iCoat 30000 firmy Tresu

za pomocą którego można on-line nanosić lakier UV lub lakier dyspersyjny. Dla tej maszyny firma Kama opracowała moduł efektywnego oddzielenia wykrojów opakowań od azuru oraz moduł DC 76 do wykrawania i tłoczenia folią. HP Indigo 20000 Digital Press, HP Indigo 30000 Digital Press pracują z nowymi serwerami, dostarczonymi przez firmę Esko, stworzonymi specjalnie z myślą o produkcji opakowań kartonowych i opakowań giętkich i służącymi integracji urządzeń z każdym rodzajem systemu workflow.

3.11.5. Maszyny do drukowania wielobarwnego firmy Xerox

Firma Xerox posiada bardzo szeroki wachlarz maszyn elektrofotograficznych – kilkadziesiąt modeli maszyn do drukowania wielobarwnego i czarno-białego. W ofercie firmy są maszyny arkuszowe i zwojowe do drukowania wielobarwnego. Poniżej omówiono kilka modeli maszyn arkuszowych do drukowania wielobarwnego – maszyny serii Xerox Color 800/1000 oraz Xerox iGen.



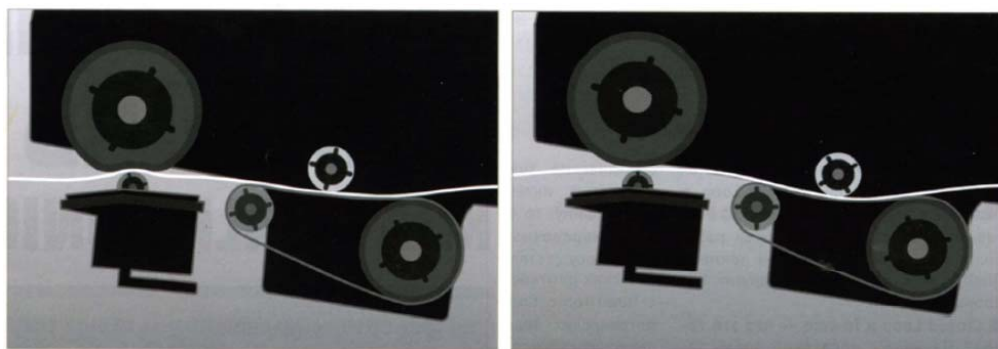
Rys. 3.52. Ogólny widok maszyny XeroxColor 800/1000

Źródło: Xerox® Color 800/1000 Presses Overview <http://www.xerox.com/digital-printing/latest/X80BR-01U.pdf> (02.02.2016).

Seria maszyn Xerox Color 800/1000. Seria maszyn Xerox Color 800/1000 zastąpiła maszyny z serii DocuColor. Maszyny Xerox Color 800/1000 posiadają pięć modułów drukujących, pośrednie przenoszenie obrazu tonerowego na podłoże za pomocą pasa transferowego [30]. Nadruk na odbitce utrwała się metodą termomechaniczną. Maszyna może drukować dwustronnie, w tym celu arkusz po zadrukowaniu jest odwracany i jeszcze raz kierowany do zespołu drukującego. W piątym module może być stosowany toner przezroczysty, dzięki któremu uzyskuje się efekt wybiórczego lub całościowego lakierowania. Wydajność maszyn Xerox

Color 800/1000 wynosi odpowiednio 80 i 100 A4/min (4+0). Przy drukowaniu dwustronnym lub przy zadrukowaniu arkuszy formatu SRA3 wydajność drukowania spada dwukrotnie.

Pojedynczy moduł drukujący składa się z cylindra z warstwą fotoprzewodzącą. Po ładowaniu warstwy za pomocą korotronu zawierającego dwie elektrody samoczyszczące się, obraz zostaje naświetlony za pomocą lasera (32 promieni laserowych). Podobnie jak i w poprzednich modelach DocuColor, system naświetlający w Xerox Color 800/1000 bazuje na diodach laserowych VCSEL, ale został on udoskonalony dzięki czemu udało się uzyskać bardziej okrągły kształt plamki lasera i w konsekwencji – większą ostrość punktu rastrowego. System naświetlający pozwala naświetlać obraz z rozdzielczością 2400x2400 dpi. Na etapie wywoływania zastosowano metodę wywoływania rewersyjnego i mechanizm szczotki magnetycznej. Zastosowano również nowy toner Melt Dry Ink, który pozwala na obniżenie temperatury utrwalania. Pośrednie przenoszenie tonera odbywa się za pomocą nowego bezszwowego pasa transmisyjnego. Pas przechodzi po kolei przez każdą sekcję drukującą i zbiera po kolei wszystkie separacje barwne. Następnie tonerowy obraz wielobarwny w jednym cyklu zostaje przeniesiony na podłoże. Zastosowano nowe rozwiązania wyrównania arkusza przed zadrukowaniem. W modelach z serii DocuColor stosowano wyrównanie arkusza do jednego z brzegów, a w nowszej generacji maszyn – arkusz wyśrodkowuje się. Pozwala to uzyskać bardzo dokładne spasowanie obrazów przy nadruku dwustronnym ($\pm 0,5$ mm).



Rys. 3.53. Dwa tryby pracy systemu prostowania arkusza po zadruku w maszynie Xerox Color 800/1000

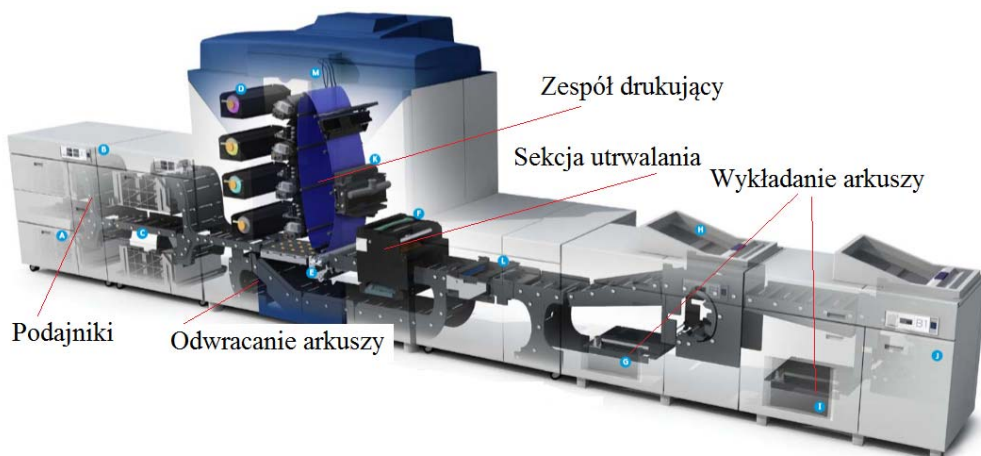
*Źródło: Xerox Color 800/1000: podrobnosci konstrukcji. Kursiv nr 1, 2011
http://www.xerox.ru/upload/Russia/articles/kursiv_800.pdf (02.02.2016).*

Na etapie utrwalania w maszynach serii Xerox Color 800/1000 zastosowano nowe rozwiązanie utrwalania termomechanicznego – system Belt-Roll, który został opisany w rozdziale 3.8.

Po utrwalaniu odbitka przechodzi przez sekcję schładzania i prostowania arkusza. Moduł prostowania arkusza posiada dwa tryby pracy, pozwalające zniwelować odkształcenie arkusza (skręcenie), które może pojawić się w obydwu kierunkach. Przy zadruku dwustronnym arkusz jest odwracany i kierowany ponownie do sekcji drukującej [31].

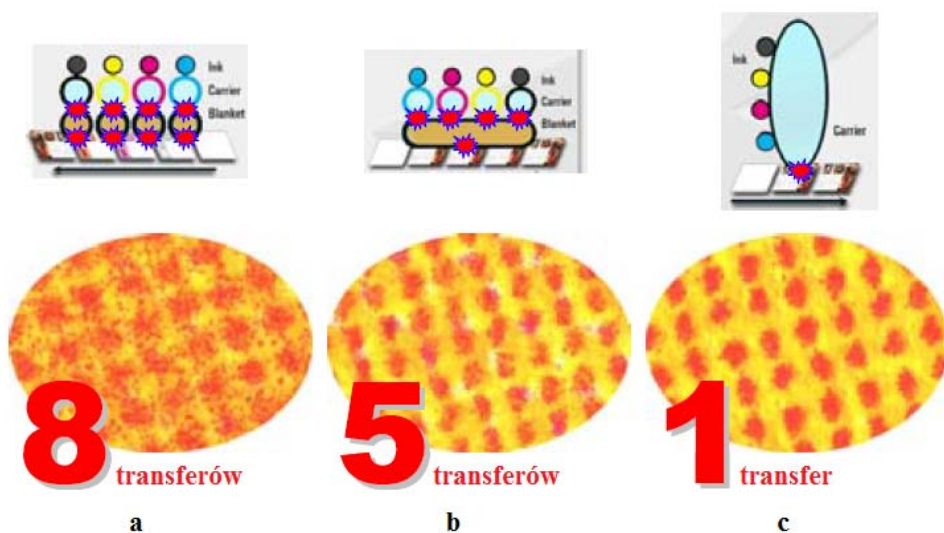
W 2015 r. pojawiła się nowa modyfikacja maszyn – Xerox Color 800i/1000i. W nowej serii maszyn pojawiła się opcja zastosowania w piątej sekcji drukującej, oprócz tonera przezroczystego, tonerów metalicznych – srebrnego i złotego [32]. Paletę możliwości poszerza opcja uzyskania efektu przestrzennego zadruku dzięki wielokrotnemu przebiegowi przez zespół drukujący. Xerox Color 800i/1000i mogą być dostarczane z jednym z dwóch potężnych serwerów druku: Xerox FreeFlow i Xerox EX-P 1000i (Fiery) z technologią HyperRIP, które oferują różnorodne narzędzia kolorystyczne, usprawnienie przepływu prac, zwiększenie prędkości przetwarzania oraz kontrolę zarządzania barwą.

Seria maszyn Xerox iGen. Linijka maszyn iGen miała swoją premierę w 2002 r. w postaci maszyny iGen3. W momencie pojawienia się na rynku maszyna iGen3 połączyła w sobie takie cechy, jak wysoką prędkość drukowania i jakość odbitki oraz możliwość drukowania na różnorodnych podłożach, których nie udało się zrealizować w innych maszynach. iGen3 zapewniała wydajność rzędu 6600 odbitek wielobarwnych A4 bądź 3300 odbitek A3 (4+0) na godzinę. System odwracania arkuszy zapewnia możliwość drukowania dwustronnego. Urządzenie to potrafi automatycznie rozpoznawać różne formaty i typy papieru oraz drukować na nich – w ramach tego samego nakładu. Sztuczna inteligencja pozwala na precyzyjne umieszczenie papieru, aby jak najdokładniej odwzorować obraz. Automatyczne kompletowanie, możliwość zadrukowania czterech różnych podłoży w ramach jednej pracy znacznie skraca ilość i trwałość operacji intrologatorskich. Jakość odbitek odpowiadała najwyższym wymaganiom – dobre pasowanie, powtarzalność barw w ramach nakładu, charakterystyki spektralne zastosowanych tonerów zezwalają syntezować barwy nieosiągalne w drukowaniu offsetowym.



Rys. 3.54. Ogólny widok maszyny iGen4

Źródło: <http://www.xerox.com/digital-printing/latest/IG4BR-02U.pdf> (02.02.2016).

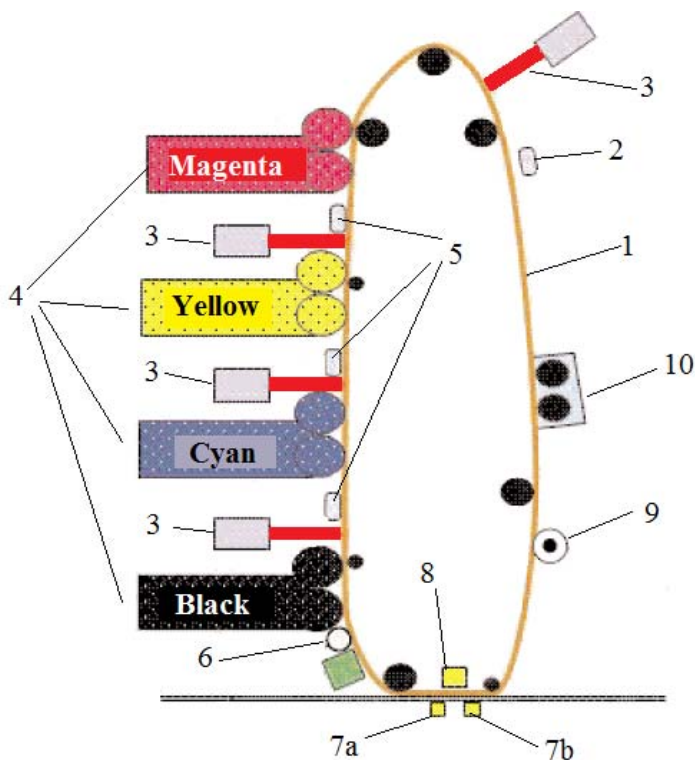


Rys. 3.55. Podział maszyn elektrofotograficznych do drukowania wielobarwnego firmy Xerox na trzy generacje: a – w maszynach pierwszej generacji przy drukowaniu czterokolorowym (CMYK) jest osiem etapów przenoszenia tonera na podłoże, b – w maszynach drugiej generacji – cztery etapy przenoszenia obrazu tonerowego (CMYK), c – w maszynach trzeciej generacji (iGen) – jeden etap przeniesienia obrazu tonerowego (CMYK) na podłoże

Źródło: Lux R., Yuh H.-J.: *Is Image-on-Image Color Printing a privileged printing architecture for Production Digital Printing applications?*
http://edge.rit.edu/edge/P09503/public/iGen3_NIP20Lux.pdf (20.01.2016).

Sercem nowego systemu jest opatentowane przez firmę Xerox rozwiązanie SmartPress Technology™ – technologia trzeciej generacji. W maszynach pierwszej generacji, w których zastosowano pośrednie przenoszenie obrazu za pomocą cylindrów

pośrednich, obraz tonerowy z czterech cylindrów elektrofotograficznych (CMYK) przenosi się na podłoże w ośmiu etapach (po dwa etapy transferu w każdym zespole). Maszyny drugiej generacji, w których zastosowano pas transferowy, przeniesienie czterech obrazów tonerowych (CMYK) na podłoże odbywa się w pięciu etapach. System Smart Press pozwala na przeniesienie tonerowego obrazu wielobarwnego z taśmy z warstwą fotorzowodzącą na podłoże w jednym przejściu (rys. 3.55).

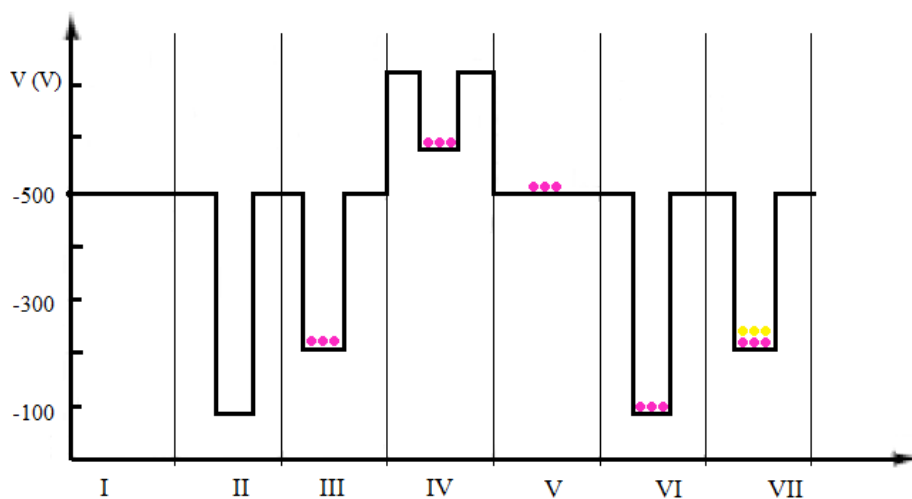


Rys. 3.56. Schemat zespołu drukującego maszyny Xerox iGen: 1 – taśma z warstwą fotorzowodzącą, 2 – skorotron ładujący, 3 – laser naświetlający, 4 – sekcja wywoływania, 5 – para skorotronów (skorotrony ładujący i wyrównujący ładunki), 6 – korotron wstępnego przenoszenia tonera, 7a – korotron przenoszenia, 7b – korotron oddzielenia, 8 – piezoelement, 9 – sekcja wstępnego oczyszczania (naświetlanie), 10 – sekcja oczyszczania

Źródło: Uarowa R.: *Mnogokrasocznje cyfrowyje maszyny. CompjuPrint, nojabr/diekabr, 2003, s. 11.*

Tworzenie obrazu odbywa się wg technologii Image-on Image (IOI) i polega na nałożeniu tonera w czterech kolorach (CMYK) na naładowaną elektrostatycznie warstwę fotorzowodzącą w jednym cyklu. Wzdłuż obwodu taśmy z warstwą fotorzowodzącą są rozmieszczone cztery sekcje obrazująco-wywołujące (drukujące), po jednej dla każdego koloru tonera CMYK. Każda taka sekcja posiada skorotron (pierwsza sekcja drukująca – Magenta) lub parę skorotronów (druga (Y), trzecia (C))

i czwarta (K) sekcje drukujące), system laserowy do naświetlania obrazu na warstwie fotoprzewodzącej oraz system do wywołania obrazu utajonego. Nowość polega na tym, że, kiedy obraz (w postaci naniesionego tonera na warstwie fotoprzewodzącej) powstaje z pierwszego koloru (M), to nie zostaje od razu przeniesiony ani na podłoże, ani na element pośredni, a porusza się na taśmie do następnej sekcji drukującej. W następnej sekcji warstwa fotoprzewodząca, na której znajduje się toner przeniesiony z poprzedniej sekcji, znowu zostaje naładowana za pomocą skorotronu zasilanego napięciem stałym, a następnie za pomocą drugiego skorotronu, zasilanego napięciem zmiennym, potencjał warstwy fotoprzewodzącej zostaje wyrównany. Kolejnym krokiem jest naświetlenie obrazu za pomocą lasera i wywołanie. Etapy te zostały zilustrowane w postaci potencjału warstwy fotoprzewodzącej na rys. 3.57. W taki sposób na pasie w jednym miejscu są zbierane obrazy w postaci tonera z każdej sekcji drukującej (M,Y,C i K). Uzyskany wielobarwny obraz tonerowy zostaje przeniesiony na podłoże w jednym etapie [33, 34].



Rys. 3.57. Potencjał warstwy fotoprzewodzącej przy powstaniu obrazu o barwie R (M+Y): I – ładowanie warstwy, II – naświetlenie obrazu dla separacji M, III – wywoływanie obrazu tonerem M, IV – ładowanie warstwy skorotronem zasilanym napięciem stałym, V – wyrównanie potencjału skorotronem zasilanym napięciem zmiennym, VI – naświetlenie warstwy dla separacji żółtej, VII – wywoływanie obrazu tonerem Y

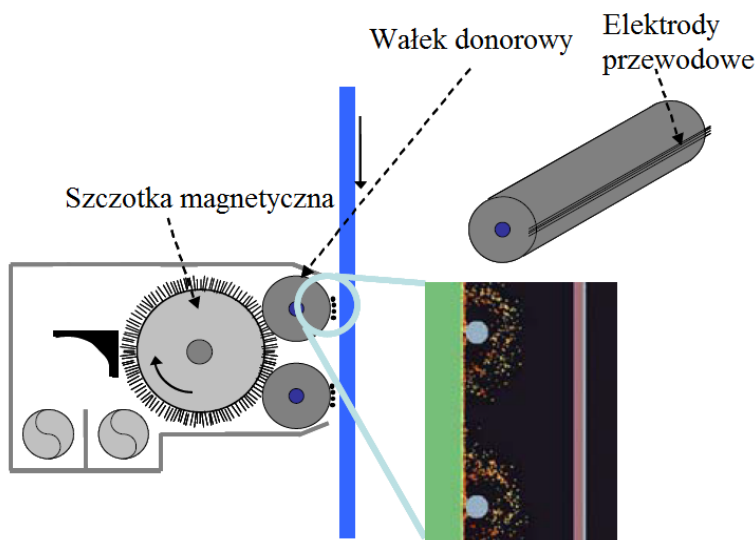
Źródło: Uarowa R.: *Mnogokrasocznymy cyfrowymy maszyny. CompjuPrint, nojabr/diekabr, 2003, s. 12.*

Technologia IOI wymaga specyficznego rozwiązania, dotyczącego procesu wywoływania obrazu. Przy zastosowaniu klasycznej metody szczotki magnetycznej z dwuskładnikowym tonerem, przy której „włókna” szczotki dotykają powierzchni

warstwy fotoprzewodzącej w przypadku technologii IOI, gdzie w drugiej i następnych sekcjach wywołujących na taśmie znajduje się obraz tonerowy, mogłoby nastąpić jego uszkodzenie lub zniekształcenie. Z tego powodu w maszynie iGen zastosowano proces hybrydowego wywoływania – Hybrid Scavengeless Development (HSD), który polega na połączeniu dwóch metod wywoływania – wywoływania za pomocą tonera dwuskładnikowego i mechanizmu szczotki magnetycznej oraz wywoływania za pomocą tonera jednoskładnikowego i metody chmury pyłowej.

Przy zastosowaniu technologii HSD toner przenosi się do strefy wywoływania za pomocą jednego lub dwóch wałków donorowych (wywołujących), które są rozmieszczone w odległości kilkuset mikrometrów od taśmy z warstwą fotoprzewodzącą. Wałek donorowy składa się z rdzenia przewodzącego prąd i powłoki (o grubości 50-200 μm) z ograniczoną przewodnością elektryczną. Do wałka donorowego toner dostarcza się za pomocą szczotki magnetycznej stosującej toner dwuskładnikowy. W strefie wywoływania w pobliżu wałka donorowego znajdują się elektrody przewodowe zasilane na przemian napięciem stałym i zmiennym. Ich zadanie polega na wytworzeniu w strefie wywoływania chmury pyłowej.

Cząsteczki tonera ładują się tryboelektrycznie przy zmieszaniu z nośnikiem magnetycznym. Tak uzyskany toner dwuskładnikowy pobiera się szczotką magnetyczną i dostarcza do naładowanych wałków donorowych. Obracając się, wałek donorowy dostarcza toner do strefy wywoływania. Tam toner, pod wpływem pola elektrycznego wytworzonego przez elektrody przewodowe zasilane napięciem zmiennym, odrywa się od wałka donorowego i powstaje chmura pyłowa. Wytworzona chmura nie dotyka powierzchni warstwy fotoprzewodzącej, dopiero pod wpływem pola elektrycznego, wytworzonego przez elektrody przewodowe zasilane napięciem stałym, cząsteczki tonera są przenoszone na miejsca rozładowane warstwy fotoprzewodzącej. W technologii IOI w celu zapobiegania szkodliwego wpływu systemu wywołującego na poprzedni obraz tonerowy, znajdujący się na warstwie fotoprzewodzącej, za pomocą specjalnego detektora bardzo precyzyjnie kontroluje się wysokość strefy wywoływania.



Rys. 3.58. Schemat hybrydowego zespołu wywołującego HSD

Źródło: Lux R., Yuh H.-J.: *Is Image-on-Image Color Printing a privileged printing architecture for Production Digital Printing applications?*
http://edge.rit.edu/edge/P09503/public/iGen3_NIP20Lux.pdf (20.01.2016).

W przypadku drukowania dwustronnego po zadrukowaniu jednej strony arkusza i jego utwaleniu, arkusz odwraca się za pomocą sekcji odwracania i ponownie kieruje się do zespołu drukującego.

Przenoszenie obrazu tonerowego na podłoże odbywa się za pomocą korotronu przenoszenia. Dodatkowo proces przenoszenia jest wspomagany elementem piezoelektrycznym, które jest źródłem fal ultradźwiękowych, co znacznie polepsza przenoszenie tonera, zwłaszcza w wypadku zadrukowania, papierów fakturowanych, których powierzchnia nie jest gładka. Cały obraz jest przenoszony na papier w jednym szybkim przebiegu, pozwala to na zwiększenie wydajności procesu drukowania, precyzyjne odwzorowanie kolorów i większą niezawodność procesu. Przeniesiony na podłoże obraz wielobarwny utrwała się termicznie w sekcji utrwalającej, która automatycznie dostosowuje się do każdego rodzaju podłoża [33, 34, 35]. Zastosowane rozwiązania na etapie przenoszenia obrazu pozwalają na zadrukowywanie szerokiej gamy podłoży – papiery powlekane, niepowlekane, fakturowane, papiery samoprzylepne, zwykłe papiery offsetowe, papiery o zwiększonym wolumenie i in.

Nowsze modele iGen to Xerox iGen150, Xerox iGen4 Diamond Edition oraz nowość z 2015 r. – linijka maszyn Xerox iGen5 (iGen5 150, iGen5 120, iGen5 90). Nowsze modele odróżniały się od pierwszego modelu iGen3 zwiększoną wydajnością drukowania, oprócz tego opcja Thick Stock dla iGen4 Diamond oraz iGen5

pozwała na zadruk tektury o grubości do 610 μm , a najnowszy model iGen5 posiada opcję piątego zespołu drukującego. W piątym zespole drukującym może być stosowany jeden z trzech kolorów Orange, Green, Blue, które pozwolą na zwiększenie odwzorowanej gamy barw lub kolory Pantone. Oprócz tego linijka maszyn iGen5 pozwala na wybór modelu z jedną z trzech wydajności drukowania – iGen5 150 drukuje z wydajnością 150 odbitek A4/min, iGen5 120 – 120 A4/min, a iGen5 90 – 90 A4/min.

Tabela 3.7. Wybrane parametry maszyn Xerox Color 800i/1000i oraz Xerox iGen5 150

Model	Rozdzielczość	Prędkość drukowania	Format arkuszy	Gramatura papieru lub grubość podłoża/rodzaj podłoża	Miesięczne obciążenie
Xerox Color 800i/1000i	2400x2400 dpi	80/100 A4/min (5+0)	330x488 mm	55-350 g/m ²	1,50/1,75 mln A4
Xerox iGen 5 150	2400x2400 dpi	150 A4/min (5+0)	364x660 mm	60-350 g/m ²	3,75 mln A4

Źródło: [32, 37].

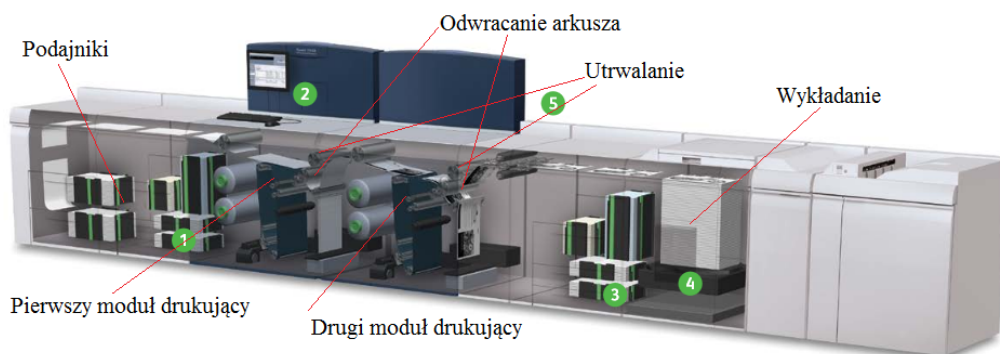
3.11.6. Maszyny do drukowania monochromatycznego

Historia monochromatycznych cyfrowych maszyn elektrofotograficznych rozpoczyna się w 1990 r., kiedy to firma Xerox wyprodukowała serie monochromatycznych maszyn Docutech 6000, które drukowały z wydajnością 180 A4/min. Od tamtego czasu firma zainstalowała kilkadziesiąt tysięcy tego typu maszyn. Oprócz serii Docutech w ofercie firmy są inne serie maszyn monochromatycznych do drukowania arkuszowego i zwojowego. Oprócz maszyn firmy Xerox na monochromatycznym rynku drukowania są inni producenci, m.in. są to maszyny Kodak Digimaster, Océ VarioPrint, Canon imagePRESS, Konica Minolta bizhub PRESS, Ricoh Pro i in. Poniżej przedstawiono wybrane modele Xerox Nuvera, Kodak Digimaster oraz Océ VarioPrint.

Xerox Nuvera. Modele Xerox Nuvera 120/144/157 posiadają jeden moduł drukujący i są przeznaczone do drukowania jednostronnego lub drukowania dwustronnego po odwróceniu arkusza i ponownym jego zadrukowaniu w tym samym module. W tych maszynach zadruk dwustronny odbywa się z dwukrotnie mniejszą

wydajnością w porównaniu do drukowania jednostronnego. Modele Xerox Nuvera 200/288/314 posiadają dwa niezależne moduły w ramach jednej maszyny. Maszyny zbudowane na bazie dwóch modułów drukujących są bardziej wydajne w przypadku produkcji dwustronnej. Zadruk dwustronny w takich maszynach odbywa się z maksymalną wydajnością maszyny. Jeżeli zdarzy się taka sytuacja, że jeden z modułów zepsuje się, to dzięki technologii Pass Through Programming można drukować, wykorzystując tylko jeden moduł (dowolny), podczas oczekiwania na serwis. Każdy pojedynczy moduł drukuje z pełną funkcjonalnością druku dwustronnego (1+1) [38].

W każdym z modułów warstwa fotoprzewodząca znajduje się na taśmie, po ładowaniu warstwy obraz zostaje naświetlony za pomocą systemu laserowego i dwóch promieni lasera z rozdzielczością 4800x600 dpi. W maszynie zastosowano toner nowej generacji (EA), który zapewnia wysoką rozdzielczość obrazu oraz płynne przejścia tonalne. Obraz tonerowy zostaje przeniesiony bezpośrednio na podłoże. Jedna strona arkusza jest zadrukowywana w jednym module, następnie obraz jest utrwalony metodą termomechaniczną, arkusz odwracany i zadrukowywany w kolejnym module drukującym. Po zadruku drugiej strony następuje utrwalanie obrazu.

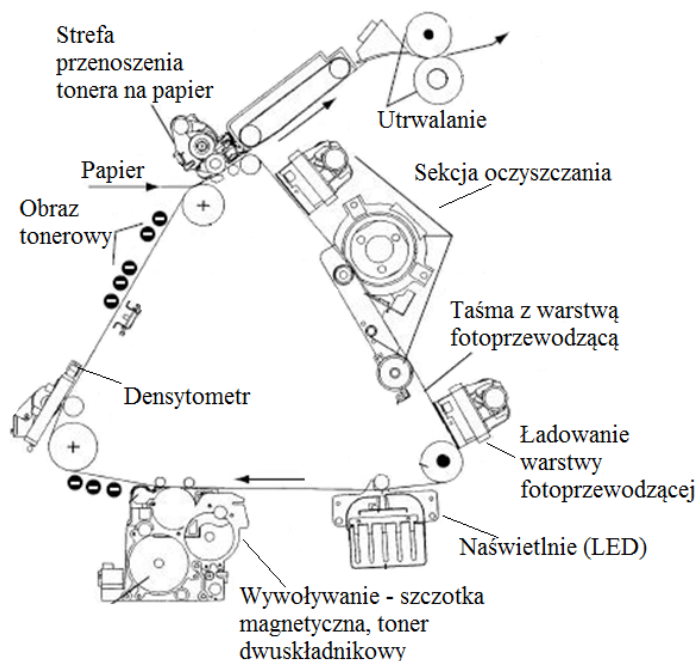


Rys. 3.59. Ogólny widok maszyn Xerox Nuvera 200/288/314 EA

Źródło: Xerox® Nuvera® 200/288/314 EA. *Perfecting Production System Overview*.
<http://www.xerox.com/digital-printing/latest/NU2BR-01U.pdf> (20.01.2016).

Nowością maszyn Xerox Nuvera jest wewnętrzny system oczyszczania Cyclone Cleaning, który oczyszcza wnętrze maszyn z cząstek tonera i pyłu papierowego. W maszynach Nuvera jest system oddzielania arkusza od wałka utrwalającego za pomocą strumienia powietrza, a nie tradycyjnych mechanizmów mechanicznych. Dzięki temu na odbitkach nie ma widocznych pasków ani zagnieceń.

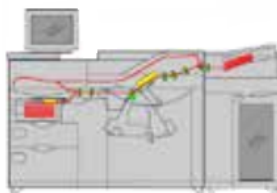
Kodak Digimaster – firma Kodak opracowała w 1999 r. – Digisourse 9110 pierwszą monochromatyczną cyfrową maszynę do drukowania elektrofotograficznego. Od 2000 r. maszyny pod nazwą Digimaster 9110 były sprzedawane przez firmę Heidelberg, a w 2005 r. nowsza modyfikacja maszyn Digimaster znowu powraca do firmy Kodak. Obecnie w ofercie firmy Kodak jest najnowsza seria maszyn Dgimaster HD – Digimaster HD125, HD150 oraz HD300 z maksymalnymi prędkościami 125, 150 i 300 A4/min odpowiednio. Dwa pierwsze modele są zbudowane na bazie jednego modułu drukującego, a maszyna Digimaster HD300 jest zbudowana na bazie dwóch modułów drukujących i pozwala na zadruk dwustronny arkusza (duplex) z maksymalną wydajnością 300 A4/min. Cechą wyróżniającą nową modyfikację maszyn jest nowy, o mniejszych wymiarach niż w poprzednich modelach, toner H1. Modele maszyn zbudowane na bazie jednego modułu mogą być rozbudowane do modelu Digimaster HD300. Oprócz tego, nowa modyfikacja maszyn HD zapewnia zwiększony poziom wydajności, zmniejszony czas przesto- jów, posiada zmodernizowaną drogę transportu podłoża, co zapewnia uniwersalność bez względu na rodzaj podłoża [39].



Rys. 3.60. Schemat zespołu drukującego maszyny Digimaster

Źródło: Kipphan H.: *Handbuch der Printmedien*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2001, s. 666.

Kodak Digimaster
HD125 i HD150
Digital Production
Systems



Kodak Digimaster
HD300
Digital Production
System



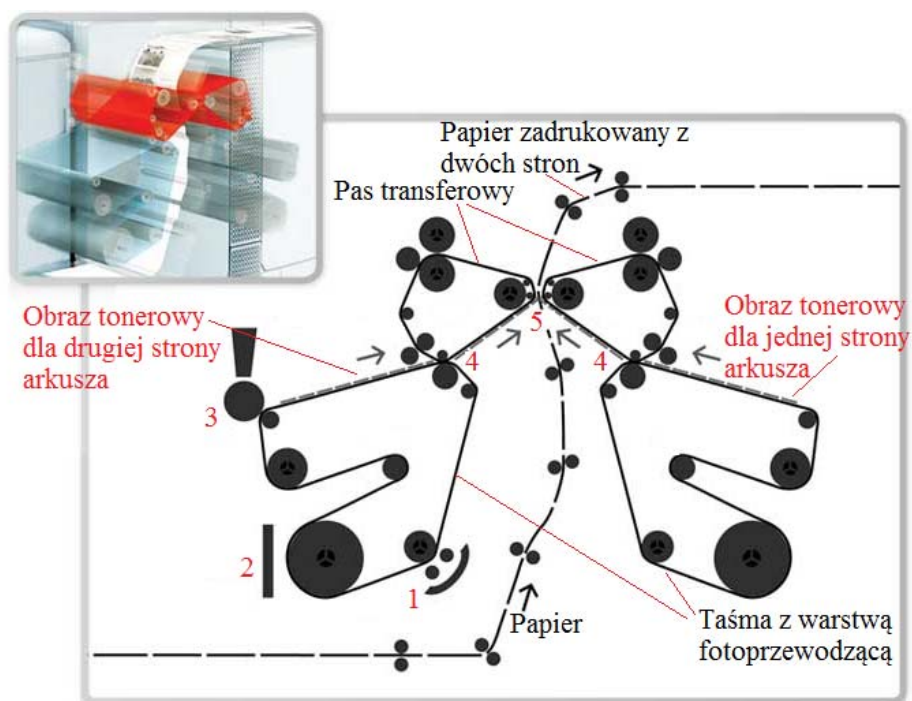
Rys. 3.61. Ogólny widok maszyn Kodak Digimaster HD 125, HD150 i HD 300

Źródło: Kodak Digimaster HD Digital Production Platform.

*http://graphics.kodak.com/KodakGCG/uploadedFiles/Products/Printers_and_Presses/Production_Black_and_White/Digimaster_EX150/Tab_Content/Digimaster%20HD%20Fam%20Brch.pdf
(20.01.2016).*

Océ VarioPrint 6xxx. Maszyny z serii Océ VarioPrint 6xxx są przeznaczone do drukowania dwustronnego (duplex). Maszyny te, w odróżnieniu od dwustronnie drukujących maszyn konkurencji, posiadają jeden moduł drukujący, tymczasem inne dwustronnie drukujące maszyny monochromatyczne bazują na połączeniu dwóch niezależnych modułów drukujących. Technologia Océ Gemini Instant Duplex polega na tym, że zadrukowanie arkusza odbywa się z obydwu stron jednocześnie, co pozwala osiągać bardzo dokładne spasowanie z obydwu stron, bez dodatkowych nastaw aparaturowych. Proces drukowania przebiega następująco: na dwóch taśmach z warstwą fotoprzewodzącą, po kolei, odbywają się operacje ładowania, naświetlania obrazu, wywoływania obrazu i przenoszenia tonera na pas transferowy. Z każdej taśmy z warstwą fotoprzewodzącą obraz tonerowy przenosi się na swój pas transferowy.

W maszynie nie ma odrębnego zespołu utrwalającego – pas transferowy zostaje podgrzany i w momencie przenoszenia obrazu na podłoże (z dwóch stron) następuje jednocześnie utrwalanie obrazu. Pośrednie przenoszenie obrazu pozwala zastosować większe dociski przy przenoszeniu obrazu, co z kolei umożliwia zmniejszenie temperatury utrwalania. Mniejsza temperatura utrwalania (ok. 100°C) to kolejna zaleta maszyn. Pozwala to na zadrukowanie szerokiej gamy podłoża. Prędkość drukowania nie zależy od rodzaju i gramatury podłoża, można drukować na podłożach fakturowanych, metalizowanych i papierach offsetowych.



Rys. 3.62. Schemat zespołu drukującego maszyny Océ VarioPrint 6xxx: 1 – ładowanie warstwy fotoprzewodzącej, 2 – naświetlanie warstwy fotoprzewodzącej (LED), 3 – wywoływanie obrazu, 4 – strefa przenoszenia obrazu z warstwy fotoprzewodzącej na pas transferowy, 5 – strefa zadrukowania arkusza z dwóch stron

Źródło: http://www.canon-bs.co.kr/m/product/view_intro.asp?no=4659 (20.01.2016).

Tabela 3.8. Wybrane parametry maszyn monochromatycznych

Model	Rodzielczość	Prędkość drukowania	Maksymalny format arkusza	Gramatura papieru	Miesięczne obciążenie
Xerox Nuvera 314 EA	4800x600 dpi	314 A4/min (duplex)	320x470 mm	56-250 g/m ²	4 mln A4
Kodak Digimaster HD 300	600x600 dpi	300 A4/min (duplex)	364x470 mm	60-266 g/m ²	8 mln A4
Canon VarioPrint 6320+	600x1200 dpi	314 A4/min (duplex)	350x500 mm	50-300 g/m ²	10 mln A4

Źródło: [38, 39, 40].

Obecnie maszyny Océ VarioPrint 6000 są w ofercie firmy Canon i zostały zmodernizowane do Canon VarioPrint 6160+/6200+/6250/6320+ [40]. Oprócz maszyn VarioPrint Canon ma w swojej ofercie szeroki wachlarz modeli maszyn

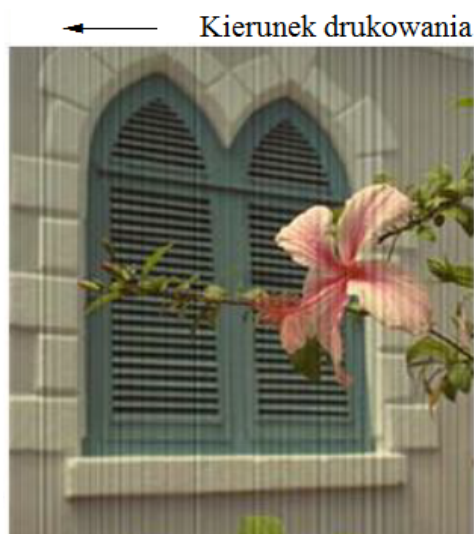
monochromatycznych – imageRUNNER ADVANCE 8285/8295/8205 PRO i imagePRESS 1110+/1120+/1135+.

3.12. Wady w drukowaniu elektrofotograficznym

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. 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 [41].

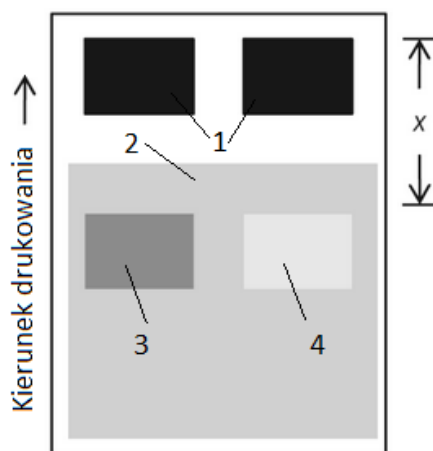


Rys. 3.63. Banding

Źródło: http://studentsrepo.um.edu.my/3803/2/2._Chapter_1_%E2%80%93_4.pdf (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. 3.64. Efekt ducha. 1 – obraz wydrukowany w pierwszej kolejności, 2 – obraz wydrukowany w drugiej kolejności, 3 – obraz- duch pozytywow, 4 – obraz- duch negatywow

Źródło: Kriss M.: *Handbook of Digital Imaging. Vol. 2 Image Display and Reproduction. John Wiley & Sons, 2015, s. 804.*



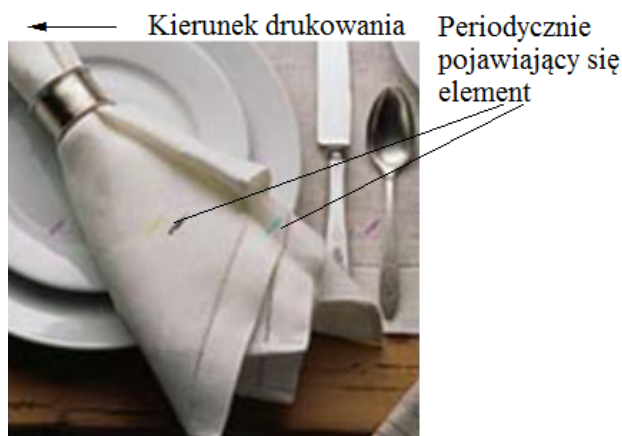
Rys. 3.65. Efekt ducha

Źródło: http://studentsrepo.um.edu.my/3803/2/2._Chapter_1_%E2%80%93_4.pdf (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-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) [11].

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. 3.66. Powtarzające się niepożądane elementy nadruku

Źródło: http://studentsrepo.um.edu.my/3803/2/2._Chapter_1_%E2%80%93_4.pdf (16.03.2015).

3.13. Perspektywy rozwoju w drukowaniu elektrofotograficznym

Podsumowując rozdział o cyfrowym drukowaniu elektrofotograficznym, należy podkreślić, że długotrwałe spory i dyskusje na temat porównania jakości odbitek elektrofotograficznych i offsetowych już od dużego czasu ustały, ze względu na to, że jakość odbitek elektrofotograficznych dawno 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. Potwierdza to również 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 w druku elektrofotograficznym.

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. Z pojawieniem się nowych maszyn HP Indigo granica ta została wyraźnie przekroczona.

Innym trendem drukowania elektrofotograficznego jest ciągle zwiększanie wydajności i niezawodności maszyn. Obecnie innowacyjne rozwiązania zmiierają głównie w stronę 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.

Jeszcze jednym kierunkiem rozwoju jest technologia z zastosowaniem ciekłego tonera. Zastosowanie ciekłego tonera ma szereg zalet – pozwala osiągać bardzo wysoką jakość nadruku, umożliwia zadruk bardzo różnych podłoży. Na targach Drupa w 2012 r. kilka firm prezentowało swoje rozwiązania oparte na ciekłym tonerze. Oprócz firmy HP Indigo, która od 1993 r. rozwija technologie drukowania elektrofotograficznego na bazie ciekłego tonera, na targach swoje rozwiązania prezentowały: firma Xeikon z prototypem zwojowej maszyny Trillium, firma Océ z prototypem zwojowej maszyny Océ InfiniStream oraz firma Miyakoshi Printing Machinery wspólnie z firmą Ryobi opracowała prototyp cyfrowej maszyny drukującej tonerem ciekłym Miyakoshi Digital Press30NX-8000.

Literatura

- [1] 70. urodziny kserografii. Świat Druku, nr 11, 2008.
<http://archiwum.swiatdruku.eu/article/articleview/4332/> (30.01.2016).
- [2] The Story of Xerography, Xerox Corporation, 1999.
<http://www.xerox.com/downloads/usa/en/s/Storyofxerography.pdf> (30.01.2016).
- [3] Czichon H., Czichon M.: Reprografia i drukowanie cyfrowe. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
- [4] Czichon H.: Elektrofotograficzne drukowanie cyfrowe na podłożu papierowym. Przegląd Papierniczy, nr 4, 2006, ss. 200-204.

- [5] 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).
- [6] Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses. Océ Printing Systems GmbH, 2006.
- [7] Uarowa R.: Osnovy cyfrowej pieczati. Konspekt lekcij. Moskwa, MGUP, im. Iw. Fiodorowa, 2011. <http://www.hi-edu.ru/e-books/xbook1004/01/part-002.htm#i122> (11.12.2015).
- [8] Buczyński L.: Zespoły wejścia-wyjścia urządzeń informatyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998.
- [9] Samarin J.: Dopieczatnoje oborudowanije. MGUP, Moskwa 2002.
- [10] Kipphan H.: Handbuch der Printmedien. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2001.
- [11] Kriss M.: Handbook of Digital Imaging. Vol. 2 Image Display and Reproduction. John Wiley & Sons, 2015.
- [12] Czichon H., Czichon M.: Zadrutowywanie opakowań z zastosowaniem technik cyfrowych. Część I. Świat Druku, nr 7-8, 2006.
<http://archiwum.swiatdruku.eu/article/articleview/2607/1/155/> (11.12.2015).
- [13] Fuji Xerox's Belt-Roll High-Speed Fusing Technology Receives Technology Prize and Research Presentation Prize From the Japanese Society of Printing Science and Technology. http://news.fujixerox.com/news/2011/0302_beltroll/ (02.01.2016).
- [14] Xerox 495 Continuous Feed Duplex Printer. Fast, flexible, duplex in flash. 2009, Fuji Xerox Co. Ltd. <http://www.fujixerox.com.ph/wp-content/uploads/brochures/FX%20495.pdf> (02.02.2016).
- [15] Uarowa R., Wannikow A., Czurkin A.: Osnovy cyfrowej pieczati. Uczebnoje posobiye. Moskwa, MGUP, 2006. <http://www.hi-edu.ru/e-books/xbook792/01/part-002.htm#i931> (02.02.2016).
- [16] Buczyński L.: Technologie kolorowego druku laserowego. Świat Druku, nr 5, 2000.
http://archiwum.swiatdruku.eu/archiwum/2000_05/01.htm (02.02.2016).
- [17] Buczyński L.: Tonery w druku elektrostatycznym – proces barwienia, właściwości i wpływ na jakość druku. Część I. Świat Druku, nr 4, 2003.
<http://archiwum.swiatdruku.eu/article/articleview/293/1/110/> (20.01.2016).
- [18] Xerox® Emulsion Aggregation (EA) Toner. White Paper. Xerox Corporation, 2013.
<http://www.office.xerox.com/latest/SUPWP-01U.pdf> (02.02.2016).
- [19] Galliford G.J.: Particle Shape of Toners and the Advantage of Using Chemical Toner Manufacturing Methods.
<http://www.gallifordconsulting.com/Particle%20Shape%20of%20Toners.pdf> (02.02.2016).
- [20] Yamana S.: High-Speed Color Laser Printing. IS&T Reporter "The window on imaging", Vol. 19, No. 6, December 2004, ss. 1-6.
http://www.imaging.org/ist/publications/reporter/issues/reporter19_6.pdf (20.02.2016).
- [21] Zacharzewskij J.: Wyszazaja liga cyfrowej pieczati. Publish, nr 12, 2012.
http://www.publish.ru/articles/201212_20012906 (12.12.2015).

- [22] Kodak NexPress Digital Production Color Press.
http://graphics.kodak.com/KodakGCG/uploadedFiles/Products/Printers_and_Presses/Digital_Color/Nexpress/SX_Platform/SX2700/Tab_Contents/PileFeeder_DataSht_US_1-13LR.pdf (02.02.2016).
- [23] Kodak NexPress Digital Production Color Platform.
http://graphics.kodak.com/KodakGCG/uploadedFiles/NxP_SXPlatform_SellSheet_US_3-15.pdf (02.02.2016).
- [24] Xeikon. Dokument printing. Broszura informacyjna.
https://www.xeikon.com/uploads/original/mediatheek/x_bro_docprint_en_lr_1402644777861865.pdf (02.02.2016).
- [25] Xeikon 9800. Broszura informacyjna. <https://xeikon.com/en/document-commercial/9800> (02.02.2016).
- [26] Xeikon 3000 Series. Broszura informacyjna.
https://xeikon.com/uploads/original/document/xeikon-3300-3500-spec-sheet-%28english%29_1399462278988262.pdf (02.02.2016).
- [27] Khadzhynova S.: Opakowanie pod znakiem cyfry. Przegląd Papierniczy nr 11, 2013, ss. 573-575.
- [28] HP Indigo 10000 Digital Press. Broszura informacyjna.
http://www.hp.com/hpinfo/newsroom/press_kits/2012/HPPredrupa12/HP_Indigo_10000.pdf (02.02.2016).
- [29] HP Indigo 20000 Digital Press.
http://www.hp.com/hpinfo/newsroom/press_kits/2012/HPdrupa12/HP_Indigo_20000.pdf (02.02.2016).
- [30] Xerox® Color 800/1000 Presses Overview <http://www.xerox.com/digital-printing/latest/X80BR-01U.pdf> (02.02.2016).
- [31] Xerox Color 800/1000: podrobnosci konstrukcji. Kursiv nr 1, 2011,
http://www.xerox.ru/upload/Russia/articles/kursiv_800.pdf (02.02.2016).
- [32] Xerox® Color 800i/1000i Presses Overview.
<http://www.office.xerox.com/latest/X80BR-06U.pdf> (02.02.2016).
- [33] Lux R., Yuh H.-J.: Is Image-on-Image Color Printing a privileged printing architecture for Production Digital Printing applications?
http://edge.rit.edu/edge/P09503/public/iGen3_NIP20Lux.pdf (201.01.2016).
- [34] Uarowa R.: Mnogokrasocnyje cyfrowyje maszyny. CompjuPrint, nojabr/diekabr, 2003.
- [35] Khadzhynova S.: Pierwsza w Polsce instalacja do druku cyfrowego iGen3 Przegląd Papierniczy, nr 7, 2005, ss. 377-379.
- [36] Xerox® iGen4™ Press New levels of image quality, automation, and productivity for new levels of success. <http://www.xerox.com/digital-printing/latest/IG4BR-02U.pdf> (02.02.2016).
- [37] A Single, Flexible Platform for Growth. Xerox® iGen® 5 Press.
<http://www.xerox.com/digital-printing/latest/IG5DS-04J.pdf> (20.01.2016).
- [38] Xerox® Nuvera® 200/288/314 EA. Perfecting Production System Overview.
<http://www.xerox.com/digital-printing/latest/NU2BR-01U.pdf> (20.01.2016).
- [39] Kodak Digimaster HD Digital Production Platform.
http://graphics.kodak.com/KodakGCG/uploadedFiles/Products/Printers_and_Presses/Product%20ion_Black_and_White/Digimaster_EX150/Tab_Contents/Digimaster%20HD%20Fam%20Bch.pdf (20.01.2016).

- [40] Ultra productive digital perfecting. Océ VarioPrint 6160 Ultra+/TP+/MICR+, Océ VarioPrint 6200 Ultra+/TP+/MICR+, Océ VarioPrint 6250 Ultra+/ TP+/MICR+, Océ VarioPrint 6320 Ultra+/TP+. <https://canon.ssl.cdn.sdlmedia.com/private/file/635870653959505104LU.pdf>
- [41] Chen C.-L., Chiu G.T.-C.: Banding Reduction in Electrophotographic Process. https://engineering.purdue.edu/~gchiu/Papers/2001/AIM01_Banding_Reduction_Cheng.pdf (20.01.2016).

4. DRUKOWANIE NATRYSKOWE

4.1. Technologia drukowania natryskowego

4.1.1. Początki drukowania natryskowego i obszary jego zastosowania

Szybki rozwój drukowania natryskowego rozpoczął się w drugiej połowie lat pięćdziesiątych XX w., ale początków tej technologii należy szukać 100 lat wcześniej wśród aparatów rejestrujących transmisje telegraficzne. Pierwszym urządzeniem zbliżonym do natryskowego w jego obecnym rozumieniu był rejestrator Siphon wynaleziony w 1858 r. przez Williama Thomsona, który wykorzystywał siły elektrostatyczne. W urządzeniu tym ciągły strumień farby był natryskiwany na przesuwającą się wstęgę papieru natomiast pod wpływem sygnału sterującego rejestrator był przesuwany poziomo w przód i w tył.

Należy zauważyć, że podwaliny pod prezentowane powyżej rozwiązanie położył już w 1749 r. Abbé Nollet w pierwszym eksperymencie badającym wpływ elektryczności statycznej na strumień kropeł. Kolejnym ważnym krokiem w kierunku lepszego zrozumienia mechanizmu powstania strumienia kropeł było odkrycie wpływu napięcia powierzchniowego oraz lepkości na ten proces. Pierwsze praktyczne urządzenie – Mingograph – wykorzystujące do druku strumień kropeł farby zostało zaprezentowane w 1951 r., jednak nie jako urządzenie drukujące, a jedynie jako urządzenie do zapisu napięcia elektrycznego w sprzęcie medycznym (jak EEG). Na początku lat 60. mechanizm powstawania strumienia kropeł farby został dopracowany w stopniu pozwalającym na wybiórcze ładowanie poszczególnych kropeł, a co za tym idzie na kierowanie ich w różnych kierunkach podczas przejścia przez pole elektromagnetyczne. Proces ten zyskał sobie miano ciągłego druku natryskowego (ang. *continuous ink jet*).

Na innej zasadzie opiera się druk natryskowy na żądanie (ang. *drop on demand*). Pierwsze urządzenie działające w tej technologii zostało zaprezentowane pod koniec lat 40. ubiegłego wieku. W urządzeniu tym do generowania kropeł został zastosowany piezoelektryczny dysk, jednak rozwiązanie to nigdy nie weszło

do produkcji komercyjnej. W późniejszych latach opracowano wiele konstrukcji dysz drukujących z wykorzystaniem odkształcenia materiału piezoelektrycznego.

W latach 60. został również wynaleziony termiczny druk na żądanie (ang. *thermal ink jet*). Kropla farby w tej technice była generowana na skutek gwałtownego wrzenia wodnego roztworu farby. Po wielu latach udoskonaleń w 1984 r. technika ta pozwoliła wprowadzić na rynek pierwsze, stosunkowo niedrogie, drukarki natryskowe. Z czasem rozwój technik druku natryskowego wykroczył poza prosty druk na papierowym podłożu, wkraczając w różnorodne obszary [1, 2].

Obecnie zakres zastosowania drukowania natryskowego jest największy ze wszystkich technik drukowania. Drukowanie natryskowe w przemyśle poligraficznym jest stosowane:

- do znakowania różnych materiałów, np. papieru, kartonu, szkła, blachy itp., przy czym w zależności od rodzaju podłoża stosuje się odpowiednie farby,
- do drukowania wielkoformatowego reklamy (plakaty, plansze, szyldy i in.),
- do drukowania etykiet i opakowań, w tym zadruk tektury falistej,
- do wykonywania odbitek próbnych wielobarwnych i imponujących,
- do drukowania nakładowego gazet, książek, czasopism,
- do drukowania bezpośredniego na różnego rodzaju kształtkach (metalowych, szklanych z tworzywa sztucznego, tektury i in.),
- specjalistyczne przemysłowe przeznaczenie – bezpośrednio zadrukowywanie paneli meblowych, szkła, ceramiki, tkanin,
- do drukowania termosublimacyjnego (druk zdjęć, druk na papierze w pośrednim procesie zadrukowywania tkanin),
- do drukowania biurowego (drukarki biurowe, urządzenia wielofunkcyjne).

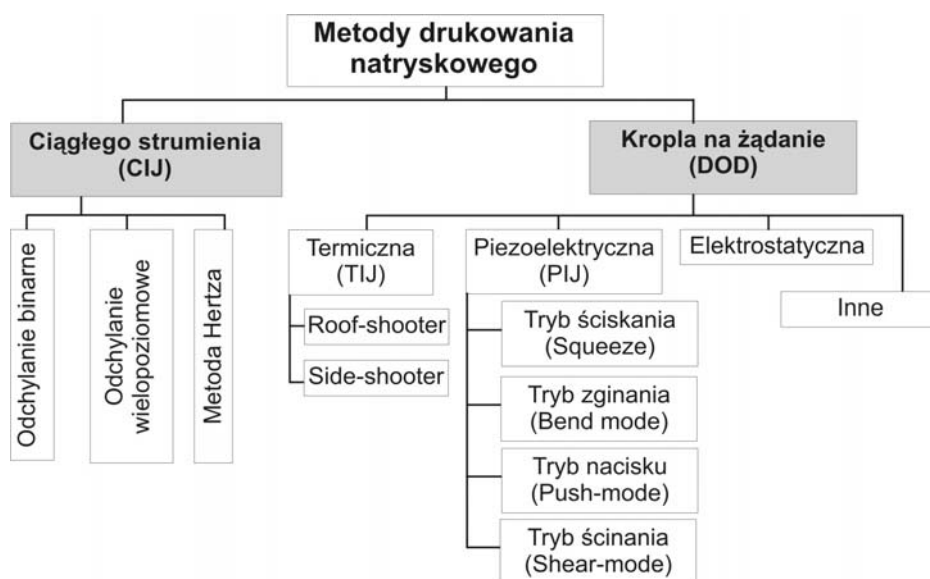
Oprócz typowo poligraficznych zastosowań drukowanie natryskowe jest stosowane w produkcji elektroniki drukowanej, drukowaniu obiektów 3D, w tzw. drukowaniu przemysłowym dla potrzeb innych dziedzin np. medycyny, farmacji, budownictwa oraz innych.

4.1.2. Mechanizm powstawania obrazu

Drukowanie natryskowe jest realizowane za pomocą cyfrowych urządzeń drukujących, które są wyposażone w specjalne głowice natryskowe z dyszami, z których w odpowiednim momencie (zgodnie z obrazem oryginału cyfrowego) wyrzuca się krople specjalnej farby, zwyczajowo w Polsce nazywanej atramentem. Praca głowic drukujących jest sterowana komputerem, a kropla powstaje w momencie,

kiedy elektroniczny układ sterujący wysyła do głowicy sygnał w postaci impulsu elektrycznego. Istnieje kilka rodzajów głowic drukujących (rys. 4.1). Zasadniczo wyróżnia się dwie podstawowe technologie drukowania natryskowego:

- technologia ciągłego strumienia kropeł (ang. *continuous flow lub contiuous ink jet* – CIJ), gdzie wytwarza się ciągły strumień kropeł atramentu i część z nich pada na zadrukowywany materiał – w miejscu przewidzianym do zadrukowania, natomiast pozostałe kropele zostają wychwycone przez urządzenie elektrostatyczne i wracają do kałamarza farbowego,
- metodę pojedynczych kropeł (ang. *drop on demand* – DOD), gdzie kropla wytwarza się według zapotrzebowania w momencie, kiedy powinna trafić na podłoże – w miejscu przewidzianym do zadrukowania.



Rys. 4.1. Podstawowe technologie w drukowaniu natryskowym

Źródło: własne.

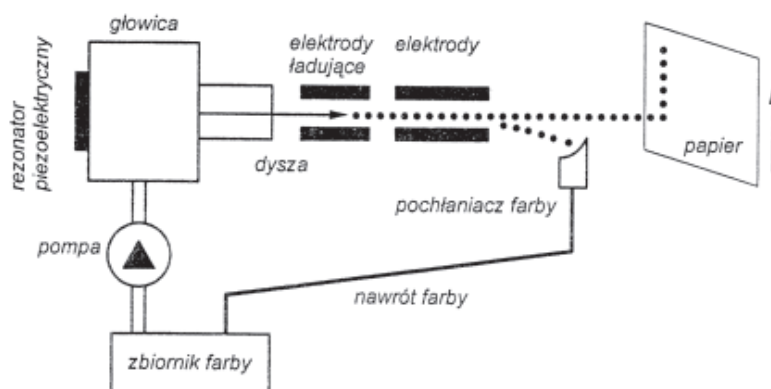
Niezależnie od zastosowanej technologii kluczowe znaczenie dla jakości nadruku w technologii drukowania natryskowego mają:

- prędkość ruchu kropeł – im szybciej porusza się kropla, tym szybciej dotrze do zadrukowywanego podłoża, a co za tym idzie mniejsze jest prawdopodobieństwo wystąpienia niekorzystnych oddziaływań na odcinku głowica-podłoże, co przełoży się bezpośrednio na jakość wydruku,
- objętość kropeł – zwykle zawierająca się w przedziale 2 do 32 pl,

- stabilność dwóch wyżej wymienionych parametrów – jest konieczna dla pewnej kontroli procesu drukowania,
- kształt kropli – jest związany pośrednio z pojawianiem się satelit, niepożądanych na wydruku,
- prostoliniowość ruchu strumienia – ułożenie padających kropli w prostej linii ma znaczenie dla ich precyzyjnego umieszczenia na zadrukowywanym podłożu [1, 2].

4.1.3. Technologia ciągłego strumienia (CIJ)

W technologii ciągłego strumienia atrament jest podawany za pomocą pompy ciśnieniowej do głowicy drukującej, a z dysz wypływa ciągły strumień kropli. W głowicy znajduje się kryształ piezoelektryczny, który, wibrując w rezonatorze, tworzy falę dźwiękową powodującą podział strumienia cieczy na krople w regularnych odstępach czasu. Można w ten sposób uzyskać od 64 000 do 165 000 kropli z jednego otworu w ciągu sekundy. W technologii CIJ atramenty powinny być przewodnikami, aby można było je naładować. Powstające krople atramentu przechodzą przez dwa pola elektromagnetyczne (uzyskane za pomocą dwóch par elektrod, do których jest przyłożone napięcie) (rys. 4.2). Pierwsza nadaje ładunek elektryczny tylko pewnej części kropli. To, która kropla zostaje naładowana wynika z zaprogramowanego obrazu. W drugim polu odchylane są od pionowego toru krople naładowane. Istnieją dwa warianty tej metody druku. Pierwsza to metoda z binarnym odchyleniem (rys. 4.3a) i metoda z odchyleniem wielopoziomowym (wielokrotnym) (rys. 4.3b).



Rys. 4.2. Schemat działania metody natryskiwania z ciągłym strumieniem kropli

Źródło: Czichon H., Czichon M.: *Reprografia i drukowanie cyfrowe*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003, s. 109.

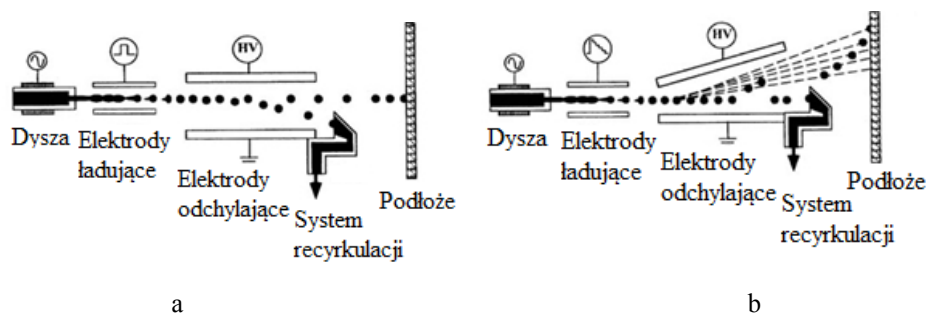
W metodzie **binarnego odchylenia** powierzchnię drukowaną osiągają tylko nienaładowane kropel, tworząc zaprogramowany obraz. Naładowane zostają odchyłone od pionowego toru i trafiają do rynienki zbiorczej i dalej poprzez układ recyrkulacji do zbiornika (rys. 4.3a).

W metodzie **wielopoziomowego odchylenia** to nienaładowane kropel spadają pionowo trafiają do rynienki zbiorczej i dalej do zbiornika „atramentu”. Naładowane zaś zostają odchyłone od pionowego toru i padają na drukowany materiał. Ponieważ można sterować wielkością generowanego na kroplach atramentu ładunku, a co za tym idzie odchyleniem toru kropli od kierunku pionowego, otrzymujemy jednoczesny nadruk kropli w kilku liniach (rys. 4.3b). Zmieniając natężenie pola elektrycznego, można wpływać na zmianę kierunku ruchu kropli. Rezultatem jest kontrolowany, zmienny ładunek elektrostatyczny każdej kropli. Nienaładowane kropel trafiają do elementu przechwytyjącego i spływają z powrotem do układu. Naładowane kropel są umieszczane na podłożu, tworząc obraz [3, 4, 5, 6].

Tabela 4.1. Zalety i wady technologii CIJ

Zalety	Wady
<ul style="list-style-type: none"> – niski koszt atramentu, – wysokie szybkości/wydajności druku, – możliwość stosowania atramentów wodnych i solwentowych, – szeroki wybór konfiguracji mocowania głowic, – możliwość nieprzerwanej pracy przez wiele zmian 	<ul style="list-style-type: none"> – wyższe koszty od drukarek DOD, – nie można stosować atramentów utrwalanych promieniowaniem UV

Źródło: własne.



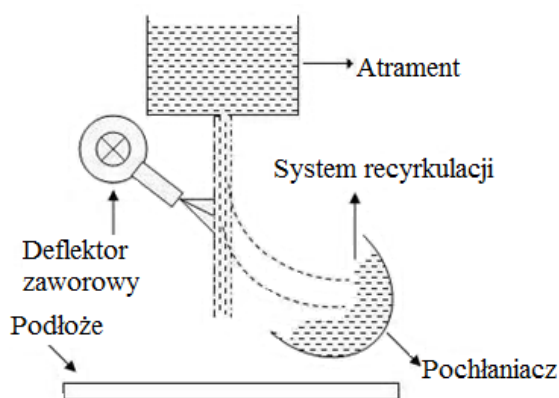
Rys. 4.3. Schemat działania głowicy typu CIJ: a – z binarnym odchyleniem, b – z odchyleniem wielopoziomowym

Źródło: Le H.P.: *Progress and Trends in Ink-jet Printing Technology. Journal of Imaging Science and Technology – Volume 42, Number 1, January/February 1998*
<http://www.imaging.org/ist/resources/tutorials/inkjet.cfm> (10.08.2015).

Drukowanie metodą ciągłego strumienia to jedna z najstarszych obecnie stosowanych technologii atramentowych i jest to już dość dojrzałe rozwiązanie. Jego zaletą jest brak zapychania dysz, ponieważ strumień atramentu wypływa w sposób ciągły na możliwość drukowania z prędkościami znacznie wyższymi niż w metodzie DOD.

Inne systemy CIJ. Do odrębnej grupy CIJ są zaliczane metody druku opracowana przez C.H. Hertza oraz technologie stosujące deflektor zaworowy (ang. *deflection valve*). Technologia Hertza jest modyfikacją systemu binarnego odchylenia kropeł. W tej metodzie jeden punkt na podłożu może być zadrukowany kroplą o różnej objętości, co uzyskuje się poprzez łączenie różnej ilości podstawowych kropeł jednakowej objętości (technologia Greyscale). Pozwala to zwiększyć skalę odwzorowanych półtonów i uzyskać szerszą gamę barw w druku wielobarwnym. Takie rozwiązanie było zrealizowane w cyfrowych systemach odbitek próbnych firm Dupont i Iris.

W metodzie, stosującej deflektor, usuwanie ze strumienia kropeł, które nie powinny trafić na podłoże, odbywa się za pomocą nadmuchu powietrza, który włącza się w odpowiednim momencie za pomocą zaworu (rys. 4.4). W tej metodzie wytwarza się krople dużej objętości i stosuje się farby o wysokiej lepkości (0,1-0,4 Pa·s) [7].



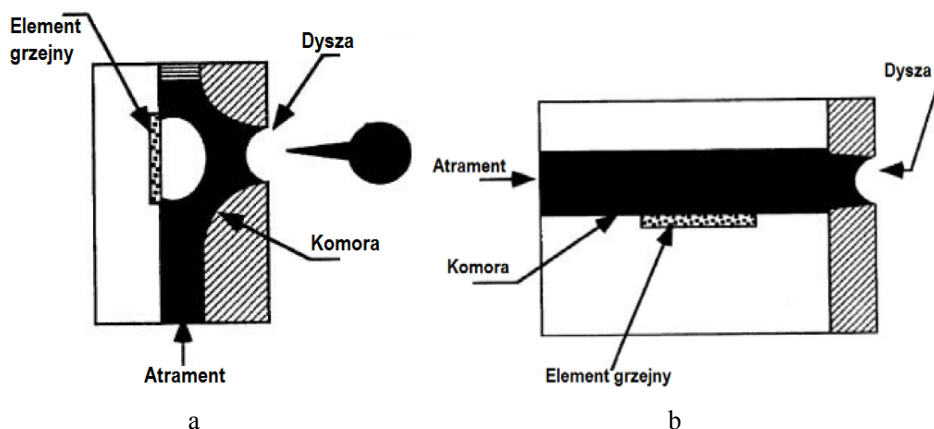
Rys. 4.4. Schemat działania głowicy natryskowej z zastosowaniem deflektorów zaworowych

Źródło: Momin N.H: Chitosan and Improved Pigment Ink Jet Printing on Textiles. A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. Textile Technology School of Fashion and Textiles Design and Social Context, RMIT University, March 2008, s. 19.

4.1.4. Technologia kropli na żądanie (DOD)

W głowicach pracujących w systemie DOD kropla atramentu jest wyrzucana pod wpływem impulsu elektrycznego w momencie, kiedy ma się znaleźć na podłożu zadrukowywanym. Istnieje kilka typów głowic DOD różniących się sposobem wyrzeliwania kropeł. Dwa główne typy głowic, które znalazły największe zastosowanie w urządzeniach przemysłowych to: termiczne i piezoelektryczne.

Termiczna technologia drukowania natryskowego (ang. *thermal ink jet* – TIJ) była najczęściej używana w drukarkach biurowych, ale ostatnio nastąpił postęp w zastosowaniach przemysłowych. W tej technologii krople są formowane przez szybko nagrzewający się element oporowy, który znajduje się w małej komorze zawierającej atrament. Temperatura elementu rezystancyjnego szybko wzrasta do 350-400°C, co powoduje gwałtowne odparowanie cienkiej warstewki atramentu znajdującej w bezpośrednim kontakcie z elementem grzejnym i powstanie pęcherzyka pary. Powstający pęcherzyk pary rozszerza się i powoduje wyrzut kropli atramentu przez dyszę. Stąd pochodzenie, zastrzeżonej przez firmę Canon, nazwy handlowej jej drukarek opartej na technologii TIJ – Bubblejet. Wyrzucenie kropli atramentu pozostawia próżnię w komorze, która jest wyrównywana zasysaniem kolejnej porcji atramentu, i cykl powtarza się. W zależności od konfiguracji wyróżnia się dwa typy głowic termicznych: roof-shooter z elementem grzejnym znajdującym się naprzeciwko dyszy (rys. 4.5a) oraz side-shooter z elementem grzejnym umieszczonym w dolnej lub górnej części wewnętrznego pojemnika głowicy (rys. 4.5b).



Rys. 4.5. Termiczna głowica drukująca: a – roof-shooter, b – side-shooter

Źródło: Le H.P.: *Progress and Trends in Ink-jet Printing Technology*. IS&T The Society for Imaging Science and Technology, 1998 <http://www.imaging.org/ist/resources/tutorials/inkjet.cfm> (12.09.2015).

Konstrukcja roof-shooter jest stosowana w głowicach termicznych firm Hewlett-Packard, Lexmark, i Olivetti, a konstrukcja side-shooter – w głowicach drukujących Canon i Xerox [5, 8].

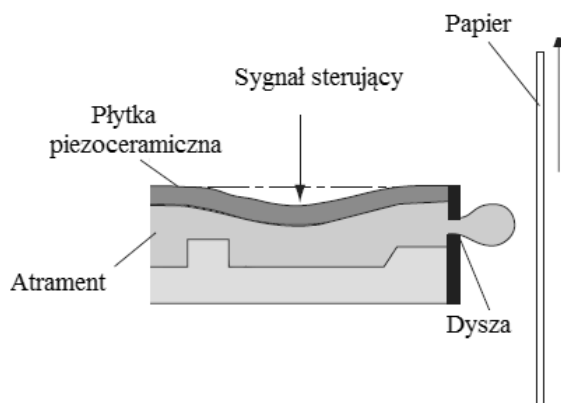
Zaletą termicznej technologii atramentowej jest możliwość generowania kropeł o bardzo małych rozmiarach oraz wysoka gęstość dysz. Wysoka gęstość dysz umożliwia produkcję urządzeń kompaktowych, niższe koszty głowicy i potencjalnie wysokie rozdzielczości wydruku. Wady tej technologii są głównie związane z ograniczeniami rodzajów atramentów, które mogą być stosowane. Zwykle są to atramenty wodorozcieńczalne, odporne na działanie bardzo wysokich temperatur. Wysokie temperatury mogą spowodować utworzenie twardej powłoki atramentu na elemencie rezystancyjnym, w następstwie czego zmniejsza się skuteczność i ostatecznie żywotność głowicy drukującej. Ponadto wysokie temperatury mogą spowodować zmianę właściwości atramentów [5, 6, 9].

Tabela 4.2. Zalety i wady technologii TIJ

Zalety	Wady
<ul style="list-style-type: none"> – niski koszt sprzętu 	<ul style="list-style-type: none"> – wymaga korzystania z podłoża chłonnych, – ograniczona wydajność – głowice są podatne na zapychanie, umożliwiają drukowanie wyłącznie z niską lub średnią prędkością, – wysokie koszty atramentu, – ograniczona możliwość mocowania głowic w różnych pozycjach, – głowice muszą być bardzo blisko podłoża, – ograniczona liczba rodzajów atramentów

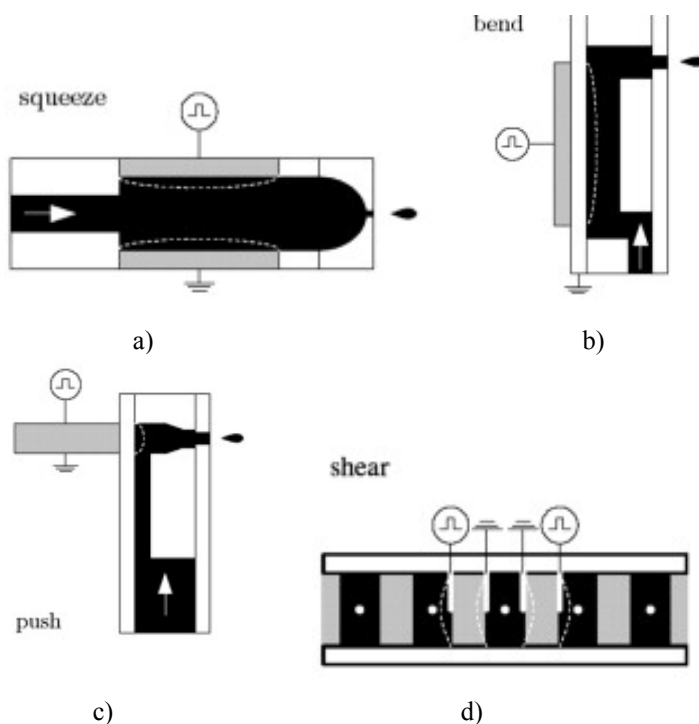
Zródło: własne.

Piezoelektryczna technologia wytwarzania kropeł (ang. *Piezo Ink Jet* – PIJ) pozwala wyrzucić kroplę atramentu na skutek deformacji kryształu piezoelektrycznego umieszczonego w wypełnionej atramentem komorze za każdą dyszą. To odkształcenie jest używane do wytworzenia impulsu ciśnienia w komorze „atramentu”, co powoduje wyrzut kropli atramentu z dyszy w kierunku zadrukowanego podłoża (rys. 4.6). Po przyłożeniu napięcia materiał piezoelektryczny zmienia kształt lub rozmiar, co powoduje powstanie impulsu ciśnieniowego w cieczy, wypychając kroplę atramentu przez dyszę.



Rys. 4.6. Schemat wytwarzania kropeł farby w metodzie piezoelektrycznej
 Źródło: Kipphan H.: *Handbuch der Printmedien*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2001, s. 712.

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: squeeze-tube, bend-mode, push-mode, shear-mode (rys. 4.7).

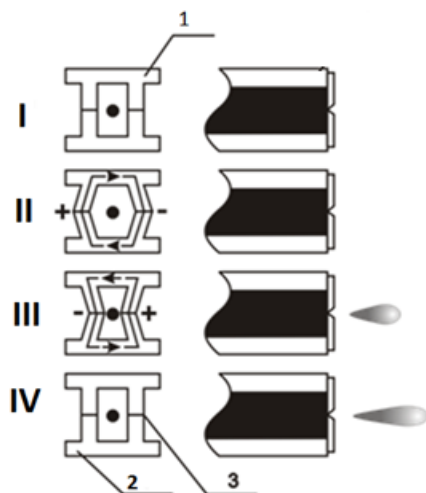


Rys. 4.7. Konstrukcje piezoelektrycznych głowic drukujących: a – squeeze-tube, b – bend-mode, c – push-mode, d – shear-mode

Źródło: *Structure- and Fluid-Dynamics In Piezo Inkjet Printheads*. Herman Wijshoff, Venlo, The Netherlands, 2008, s. 5. http://doc.utwente.nl/58366/1/thesis_Wijshoff.pdf (12.09.2015).

W głowicach działających na zasadzie wyciskania (squeeze) dwa elementy piezoelektryczne, zbliżając się do siebie, powodują zmniejszenie pojemności komory atramentowej, a tym samym zwiększenie ciśnienia i wyciśnięcie porcji atramentu przez dyszę (rys. 4.7a). Drugim sposobem jest uginanie się pojedynczego elementu piezo (rys. 4.7b), powodujące podobny efekt (bend-mode). Kolejnym sposobem wyrzucania atramentu z głowicy jest pewien rodzaj „tłoka” (push-mode), który tworzy element piezo wbudowany przed otworem dyszy (rys. 4.7c). Rozwiązania zastosowane w głowicach typu squeeze-tube, bend-mode i push-mode są oparte na liniowej deformacji elementów piezoelektrycznych. W takich głowicach jest konieczność izolacji tych elementów od cieczy – atramentu, a dodatkowo konieczność połączenia ich z korpusem i membraną, co w efekcie komplikuje proces produkcji głowic [10].

W odróżnieniu od nich, głowice typu shear-mode/sheared wall działają w oparciu o deformację ścinającą elementu piezo i posiadają prostszą konstrukcję. Oprócz dwóch płyt, które są wykonane z elementów piezoelektrycznych i które tworzą ściany komór, posiadają jeszcze przednią płytę z otworami dysz i system zasilania atramentem.

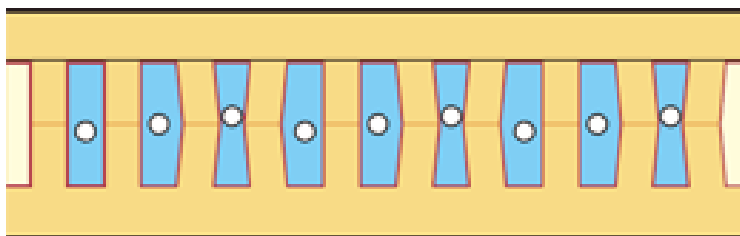


Rys. 4.8. Cykl pracy głowicy typu shear-mode. Etapy pracy: I – gotowość do pracy, II – przyłożenie napięcia sterującego – rozsuwanie się ścian i pobór atramentu, III – zmiana polarności napięcia – wyrzucenie kropli. Zmieniając wielkość napięcia na etapie II i III, można sterować wielkością kropli, IV – powrót do pozycji początkowej. 1 – górna płyta piezoceramiczna, 2 – dolna płyta piezoceramiczna, 3 – miejsce podawania sygnału sterującego

Źródło: Yoshimura K., Kishimoto M., Suemune T.: *Inkjet Printing Technology. OKI Technical Review*, Vol. 64, 1998 <http://www.oki.com/en/otr/downloads/otr-161-10.pdf> (19.10.2015).

Taka konstrukcja pozwala uprościć proces produkcji głowic. Proces wyrzucenia kropli atramentu jest spowodowany przez cykliczne ruchy ścian sąsiednich komór

(rys. 4.8). Kolejne dysze są przesunięte względem siebie w grupach po trzy, tak aby cykliczne ruchy ścian komór i związane z nimi wyrzuty kropeł dawały na wydruku równą linię (rys. 4.9).



Rys. 4.9. Głowice typu shear-mode

Źródło: *Technology overview*. <http://www.konicaminolta.com/inkjet/technology/technology.html> (19.10.2015).

Zaletą piezoelektrycznej technologii kropli na żądanie jest możliwość stosowania bardzo szerokiej gamy atramentów oraz niezawodność i długotrwała żywotność głowic. Główną wadą jest stosunkowo wysoki koszt głowic drukujących, wynikający z ceny kryształów piezoelektrycznych (najczęściej jest tytanian cyrkonu).

Tabela 4.3. Zalety i wady technologii PIJ

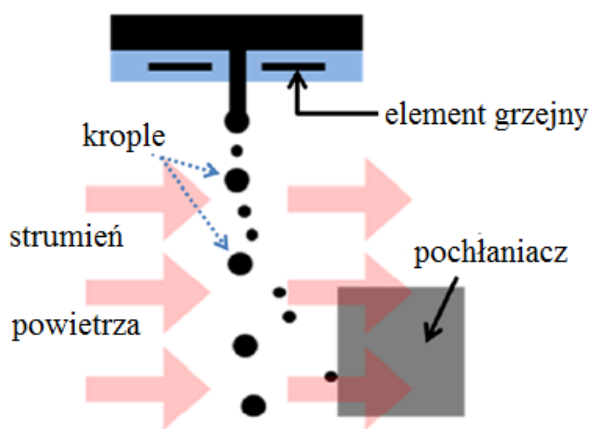
Zalety	Wady
<ul style="list-style-type: none"> – możliwość stosowania atramentów rozpuszczalnych i utrwalanych promieniowaniem UV pozwala na drukowanie na praktycznie każdym podłożu, – wyższe prędkości / większa wydajność w porównaniu do drukarek z głowicami TIJ, – możliwość wielogodzinnej, ciągłej pracy 	<ul style="list-style-type: none"> – wyższe koszty zakupu od drukarek TIJ

Źródło: *własne*.

4.1.5. Technologia drukowania natryskowego Kodak Stream

Technologię tę generalnie można sklasyfikować jako hybrydową lub jako CIJ, ale z zaznaczeniem pewnych istotnych różnic w porównaniu z konwencjonalnymi systemami CIJ. W głowicach drukujących opartych na technologii Kodak Stream wokół każdej z dysz znajduje się element grzejny. Pod wpływem sygnału sterującego zwiększa się temperatura elementu, co powoduje zmianę napięcia powierzchniowego atramentu w okolicach dyszy, skutkiem czego tworzy się kropla. Częstotliwość impulsu termicznego wynosi 480 KHz. Wielkość kropli zależy od czasu trwania impulsu cieplnego. Głowica tworzy krople o dwóch wymiarach – większe

tworzą elementy obrazu drukowanego, a mniejsze tworzą się w miejscu niezadrukowanym. Następnie duże i małe krople są rozdzielane za pomocą strumienia powietrza. Małe są zdmuchiwane strumieniem powietrza i trafiają do odbiornika, a stamtąd przez filtr do systemu recyrkulacji farby, a duże trafiają na podłoże (rys. 4.10). System dysz z elementami grzejnymi jest wykonany przy użyciu technologii MEMS. Technologia ta posiada zaletę technologii CIJ – potencjalnie umożliwia drukowanie przy bardzo wysokich prędkościach, większych niż w technologii DOD. Technologia ta jest zastosowana w serii maszyn firmy Kodak Prosper [11].



Rys. 4.10. Zasada drukowania w technologii Kodak Stream

Źródło: Castrejón-Pita J.R., Baxter W.R.S., Morgan J., Temple S., Martin G.D., Hutchings I.M.: *Future, Opportunities and Challenges of Inkjet Technologies*.
<https://www.repository.cam.ac.uk/bitstream/handle/1810/244791/Castrejon-circulation.pdf?sequence=1> (02.03.2014).

4.2. Głowice drukujące

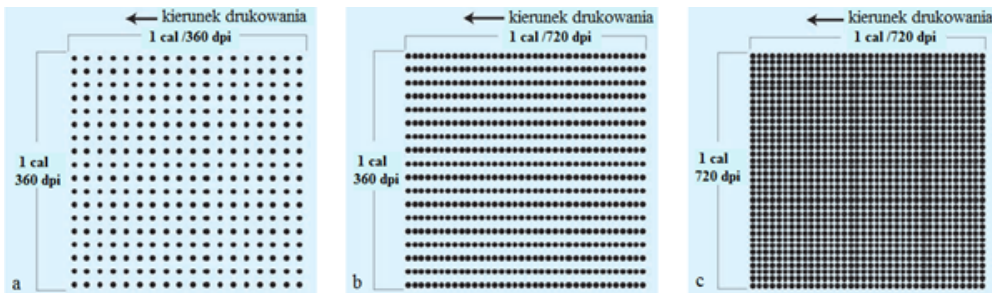
4.2.1. Podstawowe charakterystyki głowic drukujących

Podstawowe parametry natryskowych głowic drukujących to takie parametry, jak: rozdzielczość, wielkość kropli oraz szybkość drukowania.

Rozdzielczość

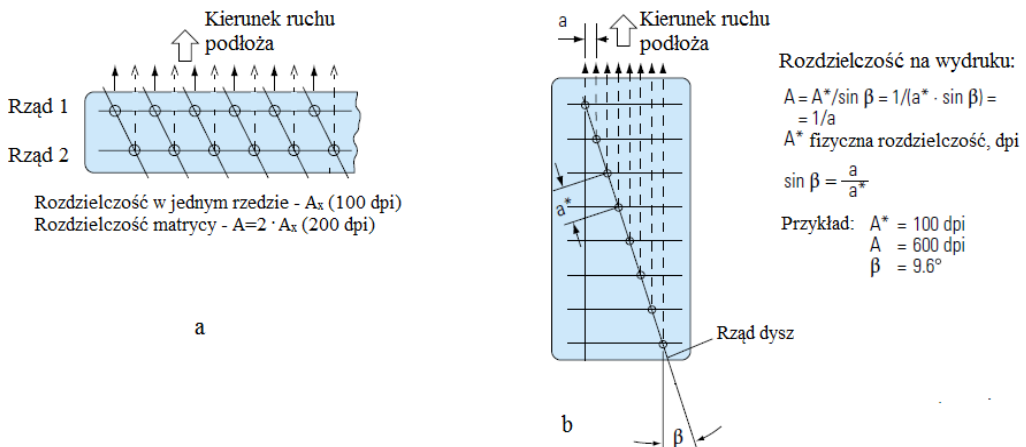
Rozdzielczość fizyczna głowic drukujących (ang. *native resolution*) charakteryzuje ile dysz wykonano na jednostkę długości głowicy i określa się w jednostkach dpi – liczba punktów na cal.

W momencie kiedy głowice drukujące osiągnęły fizyczną rozdzielczość na poziomie 600-720 dpi, przed producentami powstał problem: zmniejszyć rozmiar nadruku kropli nie dało się, a dokładność pozycjonowania kropli była kilkakrotnie większa.



Rys. 4.11. Zwiększenie rozdzielczości nadruku: a – głowica drukująca Xaar 1002 z fizyczną rozdzielczością 360 dpi, b – głowica Xaar 1002 oraz dwukrotnie zwiększona rozdzielczość w kierunku drukowania, dzięki pozycjonowaniu kropli na podłożu daje na wydruku rozdzielczość 360x720 dpi, c – zwiększenie rozdzielczości na wydruku do 720x720 dpi dzięki zastosowaniu matrycy na bazie głowic Xaar 1002 lub za pomocą montażu głowicy Xaar 1002 pod kątem w stosunku do kierunku ruchu podłoża

Źródło: Ritchie M.: *Print Quality Requirements for Single-Pass Inkjet Printing – the Whole Picture. Xaar, 4.01.2015. <http://www.xaar.com/en/MediaDocuments/Print-quality-white-paper.pdf> (04.02.2016).*



Rys. 4.12. Sposoby zwiększenia rozdzielczości w głowicach drukujących: a – matryca składająca się z dwóch rzędów dysz, które są przesunięte względem siebie o połowę odległości między dyszami, b – rozmieszczenie głowicy pod kątem względem kierunku ruchu podłoża

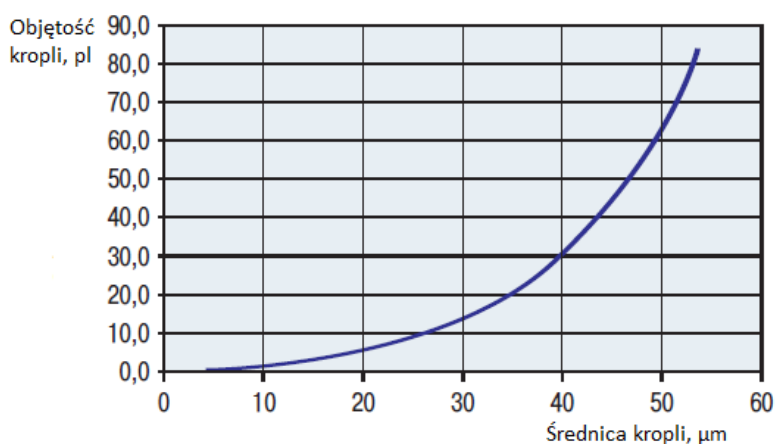
Źródło: Kipphan H.: *Handbuch der Printmedien. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2001, s. 25.*

Ten fakt producenci urządzeń wykorzystali i, dzięki precyzyjnemu sterowaniu procesem pozycjonowania kropli na podłożu, udało się zwiększyć rozdzielczość nadruku (rys. 4.11b). Innym rozwiązaniem jest tworzenie matryc na bazie pojedynczych głowic drukujących lub rozmieszczenie głowic pod kątem do ruchu podłoża, w ten sposób na wydruku również uzyskuje się rozdzielczość wyższą od fizycznej (rys. 4.11c, 4.12). Taka rozdzielczość nazywa się optymalizowaną lub adaptowaną [12]. Obecnie osiągnięto rozdzielczości (adaptowane) na poziomie 4800x1200 dpi

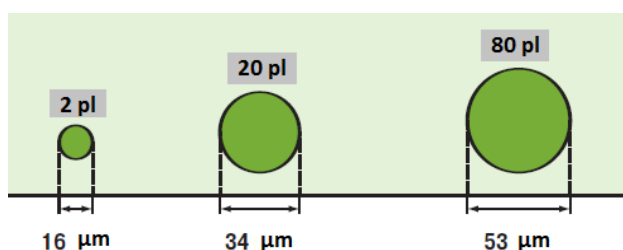
(HP, Canon) i 5760x1440 dpi (Epson). Największa fizyczna rozdzielczość głowic wynosi 1200 dpi, taką rozdzielczością charakteryzuje się na przykład głowica drukująca Fujifim Dimatix Samba.

Wielkość kropli

Wielkość nadrukowanej kropli (średnica) zależy od objętości kropli, która została wygenerowana przez głowicę drukującą, jak, również, od właściwości atramentu i materiału podłoża. Mniejsza objętość kropli daje mniejszą średnicę nadrukowanego punktu. Objętość kropli w drukowaniu natryskowym określa się w pikolitrach (pl, 1 pl = 10^{-12} l), a wielkość nadrukowanej kropli – średnica – w mikrometrach (μm). Zależność pomiędzy średnicą nadrukowanej kropli a jej objętością nie jest liniowa i jest zilustrowana na rys. 4.13.



a



b

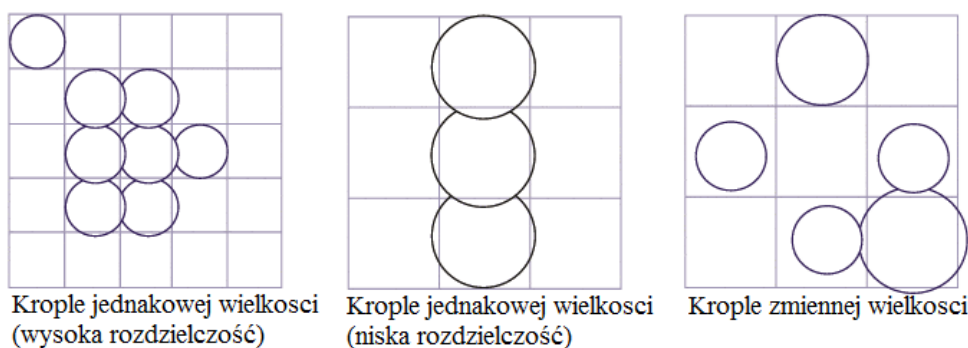
Rys. 4.13. Zależność pomiędzy objętością a średnicą nadrukowanej kropli

Źródło: Dietlew S.: *Strujna technologia pieczęci dostigajet zriestost. Pieczętnyj montaż, nr 8, 2006* http://www.circuitry.ru/files/article_pdf/2/article_2439_173.pdf (03.03. 2015).

W praktyce nie oznacza, że najmniejsza objętość kropli daje w druku najlepsze wyniki. W przypadku niektórych prac jest wymagana minimalna objętość kropli (na przykład mikrotekst lub druk elektroniczny drukowanej), a w przypadku druków wielkoformatowych większa objętość kropli pozwoli zapewnić druk nasyconych obszarów obrazu w połączeniu z wysoką wydajnością procesu drukowania [9].

Tryb Greyscale

W zależności od tego, czy głowica generuje krople jednakowej czy różnej wielkości można wyróżnić trzy rozwiązania: głowice binarne, które generują krople stałej wielkości, głowice typu Greyscale, pracujące jak binarne: mogą generować krople o kilku wielkościach, ale każda z prac może być drukowana tylko ze stałą wielkością kropli, głowice Greyscale, drukujące ze zmienną wielkością kropli (rys. 4.14). Każde z takich rozwiązań ma swoje zalety i wady, i trzeba je rozpatrywać w połączeniu z innym elementami całego systemu drukującego, takimi jak rodzaj stosowanego atramentu czy przeznaczenie urządzenia [13].



Rys. 4.14. Nadruk z kroplą jednakowej i zmiennej wielkości

Źródło: Burton J.: *Foundations of Inkjet Head Technology*. The SGIA Journal, nr 3-4, 2013, ss. 31-34. http://www.nxtbook.com/sgia/Journal/J_v17i2_2/index.php?startid=31#/34 (10.10.2015).

Z kolei druk ze zmienną wielkością kropli (tryb Greyscale) może być realizowany w dwóch wariantach. W pierwszym z nich różną wielkość kropli uzyskuje poprzez łączenie kilku kropeł podstawowej wielkości. Taka technologia przy drukowaniu zmienną wielkością kropli będzie mniej wydajna w stosunku do trybu binarnego, ponieważ potrzebuje więcej czasu na generację większych kropeł. W drugim wariantcie – tzw. tryb True Greyscale – w zależności od impulsu sterującego uzyskuje się różną deformację elementu piezoelektrycznego, efektem czego jest wyrzucenie większej lub mniejszej objętościowo kropli z głowicy.

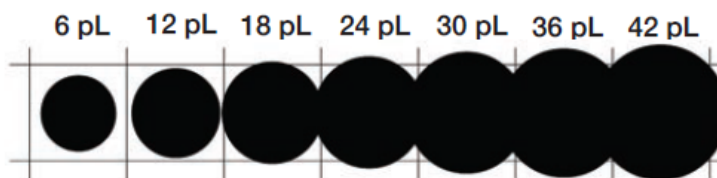
Druk ze zmienną wielkością kropli zapewnia wysoką jakość. W przypadku technologii drukowania ze zmienną wielkością kropli głowice drukujące mogą

generować krople różnej objętości dostosowane do potrzeb konkretnego obszaru obrazu drukowanego. Dzięki temu oprogramowanie RIP może określać odpowiednią wielkość kropli, w zależności od charakterystyki drukowanego obrazu. Gdy odwzorowywane są drobne szczegóły w tonach, drobny tekst lub cienkie linie, wykorzystywane są krople o bardzo małej objętości (rys. 4.15). Natomiast podczas drukowania obszarów, które mają wyróżniać się dużym nasyceniem, jak np. aple, są stosowane krople o dużej wielkości. Wielkość punktu oraz ilość atramentu przypadająca na poszczególne punkty różnią się u poszczególnych producentów. Na przykład w serii ploterów Océ Arizona wykorzystuje się technologię zmiennej wielkości kropli – Océ VariaDot – która daje możliwość generacji siedmiu wielkości kropli, co daje osiem poziomów odcieni w nadruku (siedem poziomów objętości kropli plus poziom/odcień niezadrukowanego podłoża). Głowice Xaar 1002 GS6 również umożliwiają drukowanie z ośmioma poziomami – siedem wielkości objętości kropli w granicach od 6 do 42 pL plus poziom/odcień niezadrukowanego podłoża (rys. 4.16) [14, 15].



Rys. 4.15. Wpływ trybu Greyscale na jakość tekstu

Źródło: Mark R.: *Print quality requirements for single-pass inkjet printing – the whole picture*. Xaar, 4.01.2015. <http://www.xaar.com/en/MediaDocuments/Print-quality-white-paper.pdf> (04.02.2016).



Rys. 4.16. Siedem poziomów wielkości kropli w druku Greyscale

Źródło: Mark R.: *Print quality requirements for single-pass inkjet printing – the whole picture*. Xaar, 4.01.2015. <http://www.xaar.com/en/MediaDocuments/Print-quality-white-paper.pdf> (04.02.2016).

Rezultatem drukowania ze zmienną wielkością kropli jest niemal fotograficzna jakość obrazu. W efekcie obraz nadrukowany jest postrzegany jako obraz o wyższej rozdzielczości w stosunku do fizycznej rozdzielczości głowicy drukującej. Zależność pomiędzy fizyczną rozdzielczością głowicy drukującej w trybie Greyscale a efektywną rozdzielczością postrzeganego obrazu wyraża wzór:

$$R_{ef} = A\sqrt{g} \quad (4.1)$$

gdzie: R_{ef} – efektywna (postrzegana) rozdzielczość obrazu;

A – fizyczna rozdzielczość głowicy drukującej;

g – poziomy szarości (liczba generowanych wielkości kropel plus jeden (poziom/odcień niezadrukowanego podłoża) [12].

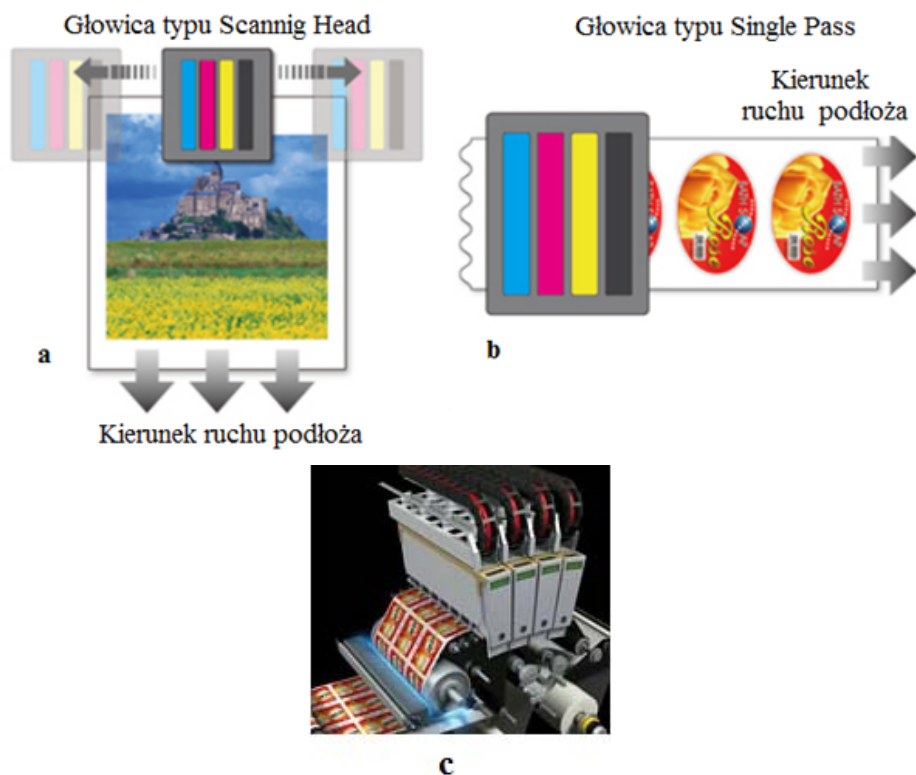
Tabela 4.4. Zależność pomiędzy rozdzielczością głowicy drukującej a efektywną rozdzielczością nadruku uzyskanego w technologii Greyscale

Rozdzielczość głowicy drukującej [dpi]	Poziomy szarości	Efektywna rozdzielczość [dpi]
360	8	1018
600	5	1341
600	2	848
720	4	1440

Źródło: [12].

4.2.2. Głowice typu i Scannig Head i Single Pass

W urządzeniach drukujących natryskowych są stosowane dwa rodzaje głowic drukujących – SinglePass oraz Scanning Head. Stosowane od początku mechanizmy drukujące z przesuującą się głowicą – Scanning Head (znane np. z drukarek biurowych) obecnie charakteryzują się wydajnością rzędu 150 m²/godz. Tego typu głowice znajdują zastosowanie zwykle w urządzeniach wielkoformatowych i tam gdzie wydajność nie jest najważniejsza. Tam, gdzie konieczne jest uzyskanie najwyższych wydajności, stosuje się głowice stałe typu Single Pass. Szerokość takiej głowicy jest równa szerokości podłoża zadrukowywanego, a głowica w trakcie drukowania jest nieruchoma, przemieszcza się tylko materiał zadrukowywany. Maszyny drukujące w tej technologii uzyskują wydajność drukowania zbliżoną do wydajności maszyn konwencjonalnych. Głowice tego typu są stosowane w urządzeniach do drukowania nakładowego książek, gazet, etykiet i opakowań giętkich, materiałów reklamowych, druków transpromocyjnych i in. [16].



Rys. 4.17. Głowica typu Scanning Head (a) oraz Single Pass (b, c)

Źródło: a, b – Inkjet Dictionary. <http://www.konicaminolta.com/inkjet/technology/term.html>, c – Baur M.: Zastosowanie najnowszych osiągnięć technologii druku cyfrowego w przemyśle opakowaniowym. Druk cyfrowy i okolice – nowe technologie, rozwiązania i możliwości. Konferencja Poligraficzna, 07.10. 2008, Warszawa, Polska Izba Druku, ss. 17-20.

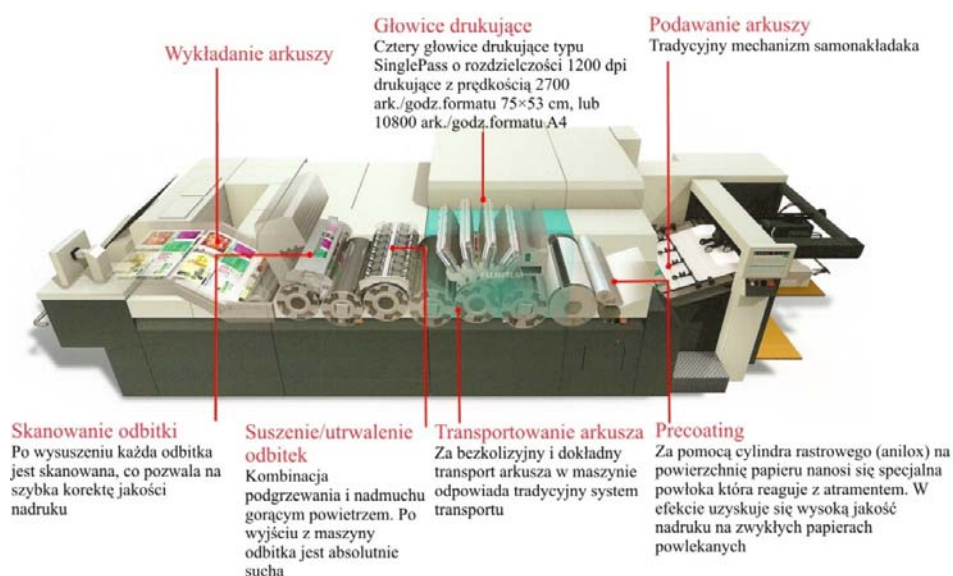
4.3. Urządzenia do drukowania natryskowego

4.3.1. Arkuszowe i zwojowe maszyny natryskowe do drukowania nakładowego

Maszyny do komercyjnego druku nakładowego można podzielić na arkuszowe i zwojowe. Poniżej przedstawiono wybrane modele maszyn natryskowych przeznaczonych do druku nakładowego firm Fujifilm, HP, Landa Corporation, KBA, Kodak i Xerox. Większość omówionych maszyn pozwala na zadruk podłoży formatu B2 lub większym. Maszyny takie charakteryzują się wysoką wydajnością i są przeznaczone do dużych obciążeń miesięcznych. Wyposażone są w głowice drukujące typu Single Pass.

Fujifilm JetPress 720 – jest to arkuszowa maszyna formatu B2, jej premiera odbyła się na targach Drupa 2008. Oficjalna sprzedaż maszyny rozpoczęła się

w 2011 r., a obecnie firma Fujifilm posiada kilkadziesiąt instalacji tych maszyn na świecie. W 2012 r. na targach Drupa 2012 zaprezentowano prototyp kolejnych modeli maszyn – maszyny zwojowej JetPressW oraz prototyp maszyny arkuszowej do druku opakowań JetPress F. Wszystkie modele maszyn drukują atramentami nowej serii Fujifilm Vividia. W maszynie JetPressW realizowano druk zwojowy dwustronny za pomocą jednej sekcji drukującej, co pozwoliło na znaczne zmniejszenie gabarytów. Maszyna drukuje za pomocą atramentów Fujifilm Vividia na bazie pigmentów lub barwników. Przeznaczona jest do druku komercyjnego i do druku na materiałach opakowaniowych z prędkością 127 m/min. Jet PressF arkuszowa maszyna przeznaczona do zadruku tektury. Grubość zadrukowanych podłoży może wynosić do 1,4 mm. Maszyna drukuje atramentami utrwalanymi promieniowaniem UV. W modelach JetPress zastosowano nowe głowice drukujące Dimatix Samba z minimalną objętością 1,6 pl. oparte na technologii piezoelektrycznej Sputter PZT [17].



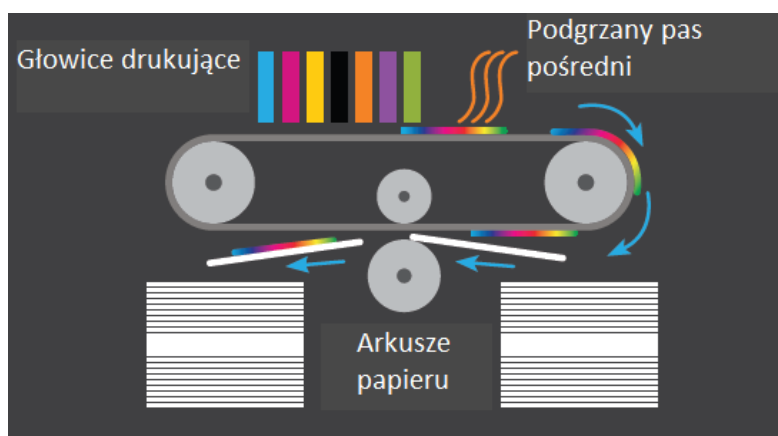
Rys. 4.18. Fujifilm JetPress 720

Źródło: własne.

Firma HP – jedyna firma, która rozwija cyfrowy druk nakładowy na bazie technologii termicznej. Według danych firmy (stan na marzec 2012 r.) na świecie zainstalowano już około 60 maszyn natryskowych HP Inkjet Web Press, na których wydrukowano ponad 10 mld stron. Najnowsze modele maszyn zwojowych HP T360 i HP T410 charakteryzują się zwiększoną wydajnością i są przeznaczone do druków transpromocyjnych i książek. W tych modelach zastosowano zmodyfiko-

wane głowice drukujące, pozwalające na lepszą jakość nadruku oraz atramenty pozwalające uzyskać zwiększony gamut barw i lepszą odporność nadruku na działanie światła. Firma posiada również system do wdrukowywania danych zmiennych – HP Print Module Solutions pozwalający drukować z wydajnością do 244 m/min z rozdzielczością 600 dpi.

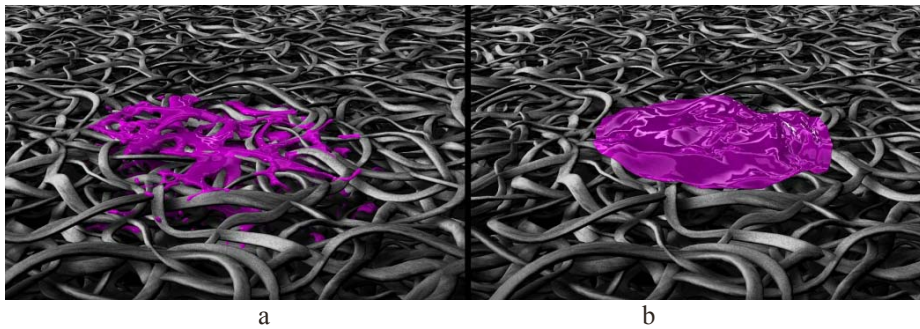
Firma Landa Corporation opracowała nową technologię pośredniego druku natryskowego – nanografię, która po raz pierwszy była prezentowana na targach Drupa 2012. Nanografia – jest to technologia druku natryskowego, w której zastosowano pośrednie przenoszenie obrazu na podłoże za pomocą pośredniego pasa podgrzanego do temperatury ok. 120°C. W druku zastosowano farbę na bazie wody NanoInk. W trakcie drukowania, na podgrzany pas pośrednim z farby odparowuje woda i wytwarza się cienka warstwa polimerowa o grubości ok. 500 nm, która następnie przenosi się (przylepia się) na podłoże i osiąga wysoką jakość nadruku niezależnie od podłoża (rys. 4.19, 4.20). Uzyskuje się nadruk odporny na ścieranie, a dzięki temu, że w momencie przenoszenia obrazu na podłoże następuje utrwalenie nadruku, z procesu wyeliminowano jakiegokolwiek dodatkowe operacje utrwalania czy suszenia [17]. Według ostatnich danych [18] beta testy maszyn nanograficznych są zaplanowane na drugą połowę 2016 r.



Rys. 4.19. Schemat procesu drukowania w maszynie Landa Nanographic Printing Press

Źródło: Landa S10 Nanographic Printing™ Press. 01.03.2014.

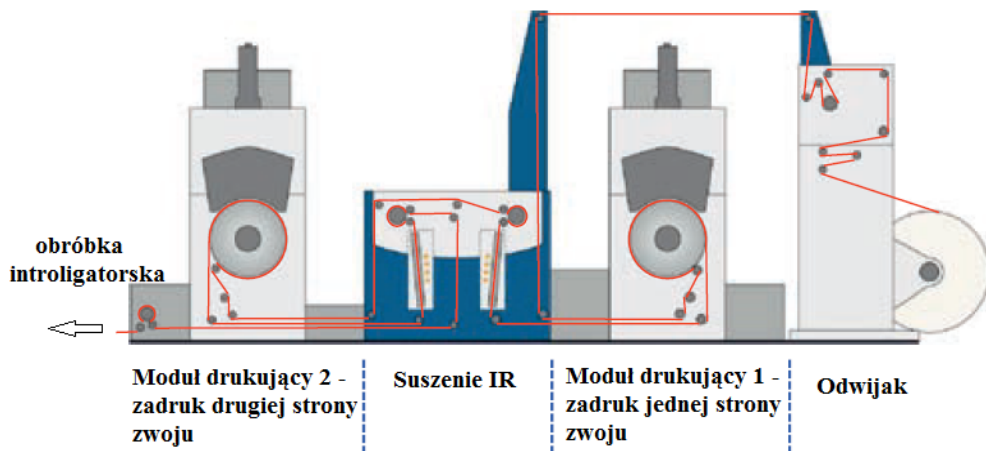
http://www.landanano.com/images/banners/s10-download/pdf/Landa_S10_brochure_US_WEB2.pdf
(04.02 2016).



Rys. 4.20. Nadruk wykonany w drukowaniu natryskowym zwykłym a) oraz w nanografii b)

Źródło: <http://www.landanano.com/news-events/gallery#> (04.02 2016).

W ofercie firmy KBA jest zwojowa natryskowa maszyna RotaJet 76 pozwalająca na zadruk dwustronny zwoju w jednym przebiegu z prędkością 150 m/min. Szerokość zadrukowywanego zwoju – 782 mm. W maszynie zastosowano piezoelektryczne głowice drukujące Kyocera pozwalające na uzyskanie rozdzielczości 600x600 dpi. Osobliwością maszyny jest pomysłowe rozwiązanie prowadzenia wstęgi papieru bez prętów obrotowych, które zazwyczaj są stosowane w cyfrowych maszynach zwojowych do druku dwustronnego i służą do odwracania wstęgi przed zadrukiem jej drugiej strony. Pozwoliło to uzyskać większą kompaktowość maszyny. Maszyna jest przeznaczona do drukowania personalizowanej produkcji kolorowych książek, broszur, akcydensów, mailingów i magazynów. W maszynie zastosowano wodne atramenty pigmentowe [17, 19].

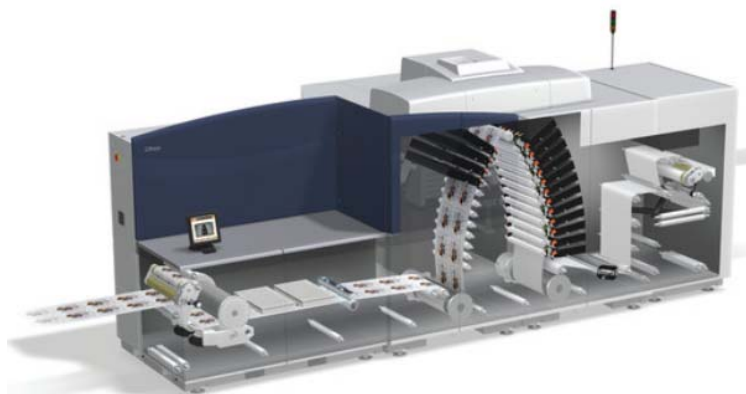


Rys. 4.21. KBA RotaJet 76

Źródło: Wandelt P.: *Wielkie premiery KBA przed Drupą. Przegląd Papierniczy*, nr 4, 2012, s. 191.

Firma Kodak już od ponad 10 lat ma w swojej ofercie zwojowe natryskowe maszyny z serii VERSAMARK, a do najnowszych rozwiązań należy linia maszyn Prosper opartych na technologii Kodak Stream. Są to zwojowe maszyny monochromatyczne Prosper 1000 oraz maszyny wielobarwne – Prosper 6000: Kodak Prosper 6000C dedykowana jest do zastosowań akcydensowych, wymagających relatywnie dużej ilości aplikowanego atramentu oraz Kodak Prosper 6000P dedykowana do zastosowań wydawniczych (druk książek i gazet), gdzie zazwyczaj są stosowane papiery o niższej gramaturze, wymagające małej lub średniej ilości nanoszonego atramentu. W maszynach zastosowano wodne atramenty pigmentowe, zapewniające wysoką odporność i jakość nadruku. W oparciu o technologię Kodak Stream zostały opracowane również systemy/moduły do personalizacji (wdrukowywania danych zmiennych) – Prosper S30, S20 i S10, które można instalować na przykład w maszynach offsetowych.

Firma Xerox opracowała technologię natryskowego druku za pomocą atramentów termotopliwych, która została zrealizowana w zwojowych maszynach CiPress 500 (rozdzielczość 600x400 dpi) oraz CiPress 325 (rozdzielczość 600x600 dpi). Są to wysokowydajne maszyny drukujące zorientowane na produkcję druków transpromocyjnych, marketingowych druków personalizowanych i innych. Dzięki zastosowaniu atramentów termotopliwych uzyskuje się wysoką jakość nadruku na zwykłych rodzajach papierów, bez właściwych dla drukowania atramentowego wad typu rozciekania czy przebijania atramentu. Miesięczne obciążenie maszyn wynosi dziesiątki milionów egzemplarzy.



Rys. 4.22. Xerox CiPress

*Źródło: Xerox CiPress 500 and 325 Single Engine Duplex Production Inkjet Systems.
<http://www.myprintresource.com/product/10877523/xerox-corporation-xerox-cipress-500-and-325-single-engine-duplex-production-inkjet-systems> (10.10.2016).*

Rynek maszyn natryskowych do drukowania nakładowego jest dość duży i wciąż pojawiają się nowi producenci i nowe modele maszyn. Do prezentacji na

targach Drupa 2016 firma Heidelberg opracowuje maszynę do druku natryskowego w formacie B1 skonstruowaną na platformie offsetowej maszyny Speedmaster z głowicami drukującymi Fujifilm Samba o rozdzielczości 1200x1200 dpi.

Oprócz omówionych maszyn podobnej klasy urządzenia posiadają w swojej ofercie firmy Komori, Konica Minolta, Agfa, Océ, Screen, Delphax i inne. Wybrane parametry techniczne niektórych maszyn przedstawiono w tabeli 4.5.

Tabela 4.5. Parametry techniczne wybranych arkuszowych maszyn natryskowych

Parametry techniczne	Producent, model maszyny					
	Fujifilm JetPress 720	Screen Truepress Jet SX	Konica Minolta KM-1	MGI Alpha-Jet	Landa S7 Nanographic Painting Press	Delphax elan 500
Rozdzielczość [dpi]	1200x1200 (4 bit na kolor)	1440x1440/1400x720	1200x1200	1200x1200	600x600/1200x600	1600x1600
Prędkość druku	2700 ark./godz.	1620 ark./godz. druk jednostronny lub 810 ark./godz. druk dwustronny	3300 ark./godz. druk jednostronny lub 1650 ark./godz. druk dwustronny	3000 ark./godz.	12000 ark./godz.	500 A4/ min
Rodzaj atramentu	Na bazie wody	Na bazie wody	UV	UV	Na bazie wody	Na bazie wody
Liczba kolorów	CMYK	CMYK	CMYK	CMYK+2 dodatkowe	CMYK+ 4 dodatkowe	CMYK+2 dodatkowe
Objętość kropli	2 pl.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	1,1 pl.
Max. format podłoża zadrukowywanych	B2	B2	B2	B2	B2	450x640 mm (SRA2)
Możliwość druku dwustronnego	nie	tak	tak	w planach	tak	tak

Źródło: [17].

4.3.2. Urządzenia natryskowe do drukowania etykiet i opakowań giętkich

Natryskowe urządzenia do drukowania etykiet i opakowań giętkich to przede wszystkim wąskostęgowe wysokowydajne systemy, które oferują wysoką jakość nadruku. Takie urządzenia są oferowane na rynku przez liczną grupę producentów. Należą do nich m.in. Domino, Durst, EFI, Epson. W większym formacie drukują systemy na bazie maszyn Screen Truepress Jet oraz Agfa Dotrix. Wybrane parametry techniczne niektórych maszyn zwojowych przedstawiono w tabeli 4.6.

Tabela 4.6. Wybrane parametry natryskowych maszyn do druku etykiet i opakowań giętkich

Producent	Model	Kolor / rodzaj atramentu	Maksymalna rozdzielczość, [dpi]	Objętość kropli [pl]	Maksymalna szerokość zadruku/zwoju [mm]	Maksymalna prędkość druku [m/min]
Domino Printing Sciences	Domino N600i	CMYK+W+2 dodatkowe/UV	600x600	4-16 (4 poziomy)	333/340	75
Durst	Tau 330.220	CMYK OV+W/UV	720x360	6-42 (8 poziomów)	330/350	48
EFI	Jetrion 4950 LX LED	CMYK	720x720	b.d.	330/340	48
Epson	SurePress L-6034VW/V	CMYK+W/U V	600x600	b.d.	330/340	15
Miyakoshi	MJP 13LX-2000	CMYK+4 dodatkowe/wodny	1200x1200	2	318/343	50
Screen	Truepress Jet L350 UV	CMYK+W	600x600	3	322/350	50

Źródło: własne.

4.3.3. Natryskowe urządzenia wielkoformatowe

W większości drukujących urządzeń wielkoformatowych (urządzeń szerokoformatowych, ploterów) wykorzystuje się natryskowe metody drukowania. Wielkoformatowe nadruki są drukowane zarówno na dużych arkuszach lub zwojach papierowych, lub na podłożach z tworzyw sztucznych, jak i na innych podłożach, takich jak na przykład płyty szklane, panele podłogowe i meblowe oraz tkaniny.

Najważniejszą zaletą tego drukowania jest możliwość uzyskania bardzo dużych formatów zadruku. Ponadto, ogromny wybór mediów, pozwalający nanosić wydruki na niemal dowolne podłoża oraz obiekty i umożliwiające zastosowanie identycznej grafiki w najróżniejszych okolicznościach stanowi istotną zaletę tej technologii druku. Wydruki takie nie mają wysokich wymagań co do rozdzielczości, jak w przypadku innych druków (biurowych, nakładowych), ale ze względu na to, że część produkcji stanowi reklama zewnętrzna, wymaga to od wydruków dużej światłotrwałości, odporności na działanie wilgoci oraz zmienne warunki temperaturowe. Reklama zewnętrzna (*outdoor*) przybiera różne formy, takie jak: plakaty, afisze, billboardy, citylights (podświetlona tablica na przystankach), diapazony (nieoświetlona tablica reklamowa umocowana w betonowej donicy, umieszczona w miejscu publicznym), mobile (dwustronna tablica reklamowa umieszczona na przyczepie ciągniętej przez taksówkę),

wielkoformatowe nośniki reklam, plansze, słupy ogłoszeniowe, a także backlight scrolle (tablice z przewijanymi powierzchniami reklamowymi) i inne.

Ze względu na format zadruku urządzenia do drukowania natryskowego można podzielić na trzy kategorie: urządzenia wielofunkcyjne w tym drukarki biurowe tzw. SOHO (ang. *small office home office*), urządzenia wielkoformatowe (*wide or large format printing*) oraz urządzenia wielkoformatowe określane jako super wielkoformatowe (*superwide or grand format printing*).

Tabela 4.7. Klasyfikacja urządzeń druku cyfrowego

Kategoria urządzeń	Szerokość zadruku
Urządzenia wielofunkcyjne i drukarki SOHO	< 60 cm
Urządzenia wielkoformatowe (<i>Wide or large format printing</i>)	60-250 cm
Urządzenia wielkoformatowe określane jako super wielkoformatowe (<i>Superwide or grand format printing</i>)	> 250 cm

Źródło: [20].

Klasyfikacja urządzeń ze względu na szerokość zadruku nie jest do końca wyczerpująca, sprawia ona trudności z zakwalifikowaniem urządzeń druku natryskowego wysokowydajnego (produkcyjnego). Z tego powodu, klasyfikacja na bazie parametru wydajności ($\text{m}^2/\text{godzinę}$) pozwala uwzględnić szerszy zakres wielkoformatowych cyfrowych maszyn drukujących (tabela 4.8).

Tabela 4.8. Klasyfikacja urządzeń cyfrowego druku wielkoformatowego

Kategoria urządzeń	Wydajność	Dominujący rodzaj atramentu
Urządzenia wielofunkcyjne i drukarki SOHO	< 5 $\text{m}^2/\text{godzinę}$	wodny
Klasyczne urządzenia wielkoformatowe (<i>Classical wide format printing</i>)	5-20 $\text{m}^2/\text{godzinę}$	wodny i solwentowy
Produkcyjne urządzenia wielkoformatowe (<i>Industrial wide format</i>)	20-100 $\text{m}^2/\text{godzinę}$	solwentowy i UV
Produkcyjne maszyny natryskowe (<i>Industrial ink jet</i>)	> 100 $\text{m}^2/\text{godzinę}$	UV

Źródło: [20].

Z kolei, ze względu na sposób poruszania się głowicy i podłoża w urządzeniach rozróżniamy trzy różne rodzaje ploterów natryskowych:

- rotacyjne (bębnowe, zwojowe) – ruch głowicy odbywa się wzdłuż osi x , a podłoże (w postaci zwoju) porusza się w kierunku prostopadłym do ruchu głowicy,
- płaskie – ruch głowicy odbywa się wzdłuż dwóch osi – x i y , względem nieruchomego podłoża w postaci płaskiej lub głowica porusza się w kierunku x , a podłoże w kierunku $-y$,
- kombinowane, które umożliwiają zadruk podłoża zarówno w postaci zwoju i podłoża płaskich. Często do kombinowanych zalicza się również plotery z funkcją drukowania i wykrawania (ang. *cutter*).

Charakterystyczne dla drukowania wielkoformatowego jest to, że w celu uzyskania wysokiej jakości nadruku stosuje się wielokrotne przechodzenie układu drukującego nad daną powierzchnią. Najwydajniejsze tryby pracy zakładają minimalną liczbę przejść (liczbę PASS), która pozwoli wypełnić kroplami całość drukowanego obszaru, jednak uzyskana grubość warstwy może ograniczyć nasycenie barw oraz rozpiętość (gamut) barw. Osiągnięcie wyższych nasycień wymaga zwykle zastosowania co najmniej czterech przejść nad daną powierzchnią. Zwiększenie liczby przejść głowicy poprawia do pewnego poziomu gamut barw i minimalizuje niebezpieczeństwo pojawiania się niepożądanych efektów, takich jak na przykład paskowanie (ang. *banding*). Wiąże się to niestety z ograniczeniem wydajności całego systemu.

Oto przykładowe tryby pracy plotera Agfa Anapurna 2540 FB: Express Mode – najszybszy tryb drukowania, zalecany do wykonywania szkiców i prostszych grafik, głównie kreskowych, gdzie nie ma dużych nasycień oraz apli. Production Mode – wydajny tryb produkcyjny dla druków wielkoformatowych przeznaczonych do oglądania z odległości ponad 5 metrów. W takich warunkach nie powinny być widoczne żadne wady obrazu. Poster Mode – tryb kompromisowy między wydajnością a jakością. Druki o formacie B1 lub większym, które są oglądane z odległości co najmniej 1,5 m, nie powinny wykazywać żadnych wad obrazu. Photo Mode – najmniej wydajny tryb dla najbardziej wymagających druków, zawierających trudne ilustracje oraz dużo szczegółów. Charakter prac wymaga, aby były oglądane z odległości poniżej 0,5 m [21].

Urządzenia natryskowe wielkoformatowe mają różne zastosowania i drukują na różnych rodzajach podłoży z zastosowaniem największej gamy atramentów. Oprócz różnego rodzaju reklamy wielkoformatowej (wewnętrznej i zewnętrznej),

plotery pozwalają na zadruk paneli podłogowych i meblowych, tapet, tkanin (termosublmacja i bezpośredni zadruk tkanin), szkła i ceramiki. Odrębną grupę stanowią plotery przeznaczone dla cyfrowych systemów odbitek próbnych tak kontraktowych, jak i impozycyjnych. W ograniczonym stopniu są stosowane w technologii wykonania form drukowych. Niektóre rozwiązania druku wielkoformatowego omówiono w rozdziale poświęconym atramentom (rozdział 4.4).

4.3.4. Drukowanie natryskowe na kształtkach

Od niedawna technologia drukowania natryskowego znalazła zastosowanie przy bezpośrednim zadrukowywaniu opakowań w postaci kształtek (ang. *direct-to-shape*): metalowych (pojemników w postaci cylindrycznej, zamknięć koronowych (kapsli) i innych) oraz z tworzyw sztucznych (tub i butelek). Zastosowanie cyfrowego drukowania natryskowego przy zadrukowywaniu opakowań w porównaniu do klasycznych metod drukowania (przede wszystkim typoffsetu) ma szereg zalet. Należą do nich:

- skrócenie czasu produkcji opakowań (tzw. druk na żądanie),
- zwiększenie efektywności sprzedaży próbnych partii opakowań,
- możliwość testowania nowych towarów na rynku,
- możliwość personalizacji nadruku,
- zmniejszenie powierzchni magazynowych.

Na współczesnym rynku można znaleźć kilka rozwiązań technologicznych, na bazie drukowania natryskowego stosowanych do zadruku kształtek. Mogą być wykonane w postaci odrębnego urządzenia lub modułu drukującego. Urządzenia te, pozwalają drukować na puszkach metalowych, na butelkach i tubach z tworzyw sztucznych, tubach tekturowych, a głowice drukujące mogą być dostosowane do zadruku zupełnie innych podłoży, takich jak na przykład tektura falista czy folia. Poniżej przedstawiono kilka takich rozwiązań.

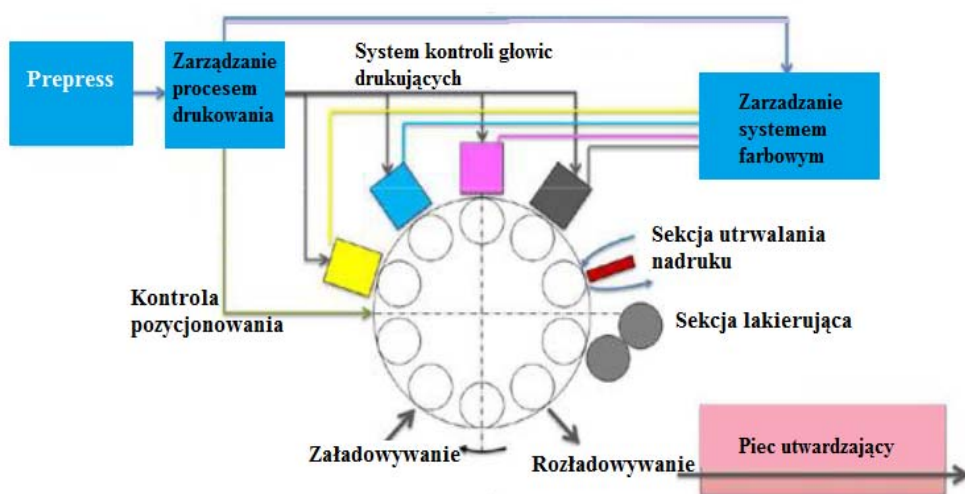
Firma Tonejet Limited posiada w swojej ofercie maszyny do drukowania natryskowego, pozwalające na drukowanie puszek stalowych i aluminiowych do napojów (rys. 4.23), jak również zamknięć (stalowych i aluminiowych) oraz pojemników aluminiowych do aerozoli. Najnowsza maszyna to Tonejet's 2-Piece Can & Tube Digital Decorator jest wyposażona w osiem głowic CMYK (dwa zestawy głowic CMYK), drukujących w technologii kropli na żądanie (drop-on-demand) ze zmienną wielkością kropli (Greyscale) – wielkość kropli zmienia się od 0,4 pl do 2,0 pl bez zmniejszenia prędkości druku. Nadruk uzyskuje się w postaci

ciennej warstwy farby o grubości $< 0,5 \mu\text{m}$, co jest ważne w szczególności w produkcji opakowań do żywności, a dodatkowo zapewnia wyjątkowo niski koszt wydruku. Tonejet Digital Dekorator pozwala na uzyskanie zupełnie różnych nadruków na każdej puszcze, bez konieczności zatrzymywania linii produkcyjnej.

Podstawowe etapy procesu drukowania to:

- załadowywanie maszyny drukującej/sekcji drukującej puszkami, na powierzchni których wstępnie naniesiono lakier podkładowy,
- wykonanie nadruku czterokolorowego metodą druku natryskowego (CMYK),
- utrwalenie termiczne nadruku,
- naniesienie na całą powierzchnię lakieru ochronnego „overprint varnish”,
- utwardzanie nadruku z lakierem ochronnym w piecu utwardzającym.

Maszyna pozwala wykonać nadruk o szerokości do 200 mm. Rozdzielczość nadruku wynosi 600x600 dpi (4 bit na kolor). Prędkość druku wynosi 120-200 puszek na minutę (zależy od średnicy puszek).

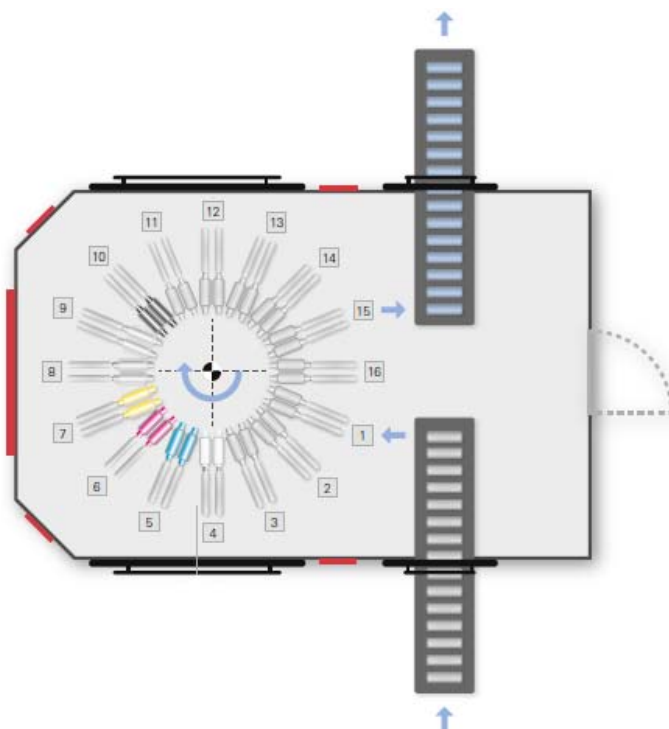


Rys. 4.23. Schemat zespołu drukującego maszyny Tonejet znajdującej się w firmie Packaging Europe

Źródło: Tonejet Today: An Update. InfoTrends 2012. http://www.tonejet.com/wp-content/uploads/2013/01/Tonejet_Update_InfoTrends_Jan2012.pdf (12.07.2015).

W ofercie niemieckiej firmy Hinterkopf też jest zupełnie nowa maszyna do druku natryskowego D 240 (Digialdruckmaschine D 240) przeznaczona do drukowania na metalowych cylindrycznych kształtkach (stal, aluminium), tj. puszkach, pojemnikach aerozolowych, tubach, butelkach metalowych. Drukowane mogą być także kształtki z tworzyw sztucznych (PE, PP, PET). Maszyna drukuje za pomocą atramentów utwalanych promieniowaniem UV. Można stosować do 8 kolorów

atramentów np. CMYK + dwie farby specjalne (lub sześć farb Hexachrome) oraz farbę podkładową i lakier ozdobny (rys. 4.24). Uzyskuje się wysoko jakościowy nadruk wielobarwny o rozdzielczości do 1200 dpi. Szybkość drukowania jest uzależniona od kształtu i wynosi od 80 do 240 opakowań na minutę [22]. Maszyna była zaprezentowana na targach Metpack 2014, a latem 2014 została wyróżniona nagrodą InterTech Technology Award 2014 PIA jako rozwiązanie prawdziwie innowacyjne i zapewniające postęp w sektorze poligraficznym [23].



Rys. 4.24. Kolejność operacji w maszynie drukującej D240 (wygląd z góry): 1 – załadowywanie opakowań, 2 – kontrola pozycjonowania, 3 – sekcja czyszczenia, ew. obróbka wstępna (np. koronowanie powierzchni tworzyw sztucznych), 4-12 – sekcje drukujące, np. CMYK+dwa kolory specjalne (lub Heksachrome), farba podkładowa i lakier ozdobny, 13 – sekcja utwardzania, 14 – sekcja kontroli nadruku, 15 – rozładowywanie

Źródło: Tonejet Today: An Update. InfoTrends 2012. http://www.tonejet.com/wp-content/uploads/2013/01/Tonejet_Update_InfoTrends_Jan2012.pdf (12.07.2015).

Kolejny przykład, to maszyna natryskowa CP100 firmy INX Intl. Ink Co., która już od 2010 r. działa na rynku komercyjnym. Przeznaczona jest do zadruku opakowań metalowych o kształcie cylindrycznym. Dedykowana do krótkich serii opakowań, drukuje z wydajnością 5 opakowań na minutę, co pozwala drukować wersje prototypowe opakowań, próbne serie i krótkie serie nakładowe. Maszyna wyposażona

jest w głowice drukujące firmy Xaar (posiada od czterech do ośmiu głowic) i drukuje za pomocą specjalnie opracowanych przez firmę INX Intl. Ink Co. atramentów utrwalanych promieniowaniem UV LED. Druk odbywa się z rozdzielczością do 720×1000 dpi, ze zmienną wielkością kropli (technologia Greyscale): wielkość kropli zmienia się od 6 do 42 pl, co pozwala osiągać wysoką jakość nadruku [24, 25].

Niemiecka firma KHS Innoprint należąca do holdingu KHS, który specjalizuje się w produkcji butelek PET, rozlewaniu, etykietowaniu posiada maszynę dla bezpośredniego druku na butelkach PET. Maszyna drukuje z prędkością do 36 tys. butelek/godzinę (CMYK+ W) z rozdzielczością 1080×1080 dpi (głowice Xaar) za pomocą atramentów utrwalanych promieniowaniem UV LED o niskiej migracji. Po zużyciu butelki można poddawać recyklingowi, farba łatwo oddziela się w procesie recyklingu [26, 27].

Firma Heidelberg na targach InPrint 2015 zaprezentowała maszynę Jetmaster Dimension do druku natryskowego na kształtkach. Na razie maszyna zadrukowuje kształtki symetryczne (puszki, butelki, piłki) w trybie obrotowym, a w perspektywie firma planuje zamocowanie modułu drukującego na ramieniu robota z kilkoma stopniami swobody ruchu, co pozwoli zadrukowywać przedmioty o dowolnych kształtach.

4.3.5. Inne systemy drukowania natryskowego

Urządzenia do zadruku TF. W ostatnim czasie zostały opracowane wysoko-wydajne systemy do zadruku tektury falistej. Swoje rozwiązania dla tego sektora rynku oferują firmy Bobst, HP, Durst i in. Systemy takie pozwalają na zadruk indywidualnej grafiki nakładem od jednego egzemplarza do kilku tysięcy arkuszy.

Maszyna firmy Bobst charakteryzuje się największą wydajnością w tym sektorze druku – drukuje do 200 m/min, przy szerokości zadruku 1,3 m. W maszynie zastosowano technologie drukowania natryskowego Kodak Stream z wodnymi atramentami.

Firma HP posiada ofertę w postaci serii maszyn HP Scitex 17000 Corrugated Press i HP Scitex 15000 Corrugated Press. Model HP Scitex 17000 drukuje z największą wydajnością do 1000 m²/godz., a HP Scitex 15000 – 600-500 m²/godz. Maszyny drukują za pomocą atramentów utrwalanych promieniowaniem UV – HP HDR240 o niskim zapachu, posiadających certyfikat GREENGUARD GOLD.

Propozycja od firmy Durst – to maszyna Rho 1300 Corrugated Postprint System, która drukuje z wydajnością do 1250 m²/godz.

Systemy iCTP są to systemy przeznaczone do wykonywania offsetowych form drukowych metodą drukowania natryskowego. Na początku swojego rozwoju systemy takie zakładały wykorzystanie tradycyjnych płyt sensybilizowanych offsetowych, na powierzchni których nadrukowywano, metodą druku natryskowego, obraz, który spełniał rolę formy kopiowej. Następnie taka płyta była tradycyjnie naświetlana i wywoływana. Obecnie w systemach iCTP wyeliminowano proces naświetlania i „mokre” procesy obróbki płyt. Proces wykonania polega jedynie na nadrukowywaniu na powierzchni płyty aluminiowej obrazu za pomocą specjalnego atramentu o właściwościach oleofilowych, wysuszeniu nadruku, a następnie tak wykonana forma podlega gumowaniu i jest przygotowana do drukowania. Takie rozwiązanie posiada w swojej ofercie firma Glunz&Jensen w postaci serii urządzeń PlateWriter. Urządzenie (ploter) jest wyposażone w piezoelektryczne głowice drukujące firmy Epson. Pozwala osiągać dobrą jakość nadrukowanego obrazu – rozdzielczość drukowania wynosi od 1440 x 1440 dpi do 2880 x 2880 dpi, co pozwala na tworzenie na płycie offsetowej obrazu posiadającego liniaturę 70 l/cm (175 lpi). W druku stosowane są specjalne atramenty na bazie wody. Z tak wykonanych form offsetowych można wydrukować nakład do 50 tys. odbitek. Zaletą systemów iCTP jest znacznie niższy koszt sprzętu. W 2012 r. udział systemów iCTP wśród wszystkich instalacji systemów CTP wynosił ok. 3,7%.



Rys. 4.25. Schemat procesu wykonania form offsetowych w technologii iCTP

Źródło: własne.

Maszyny hybrydowe. Drukujące maszyny hybrydowe łączą kilka technologii druku. Systemy drukujące natryskowe już od dawna są stosowane w maszynach offsetowych, na przykład na bazie modułów z serii Kodak Prosper S, a w ostatnim czasie pojawiły się maszyny hybrydowe na bazie druku fleksograficznego i natryskowego przeznaczone do zadruku etykiet i opakowań giętkich. Oferują je m.in., Mark Andy (Digital Series) Gallus (DCS 340), FFEI (Graphium) i inne.

Firma Mark Andy zaprezentowała w 2015 r. system druku cyfrowego natryskowego Digital Series, w pełni zintegrowany z platformą maszyn fleksograficz-

nych serii Performance. Digital Series to system druku natryskowego z atramentami UV (CMYKOV+W), pracujący z prędkością 76 m/min. Nowa hybrydowa maszyna Gallus DCS 340 (prezentacja miała miejsce w 2014 r.) jest wyposażona w głowice natryskowe Fujifilm Dimatix (rozdzielczość 1200x1200 dpi) drukujące atramentem utrwalanym UV (CMYK +VOG+W). Maszyna posiada szerokość zadruku 340 mm i drukuje z prędkością 50 m/min. Maszyna FFEI Graphium (premiera maszyny odbyła się w 2013 r.) posiada sześć drukujących modułów natryskowych (na bazie głowic drukujących Xaar 1001 i atramentów UV Uvijet Graphium) i sześć flekso-graficznych. Szerokość zadruku wynosi 410 mm, a wydajność – do 50 m/min. Oprócz drukowania, maszyny tego typu umożliwiają proces nanoszenia primera oraz opcjonalnie wybrane operacje uszlachetniania. Dzięki technologii hybrydowej możliwe jest wytworzenie spersonalizowanego gotowego produktu w jednym przejściu przez maszynę.

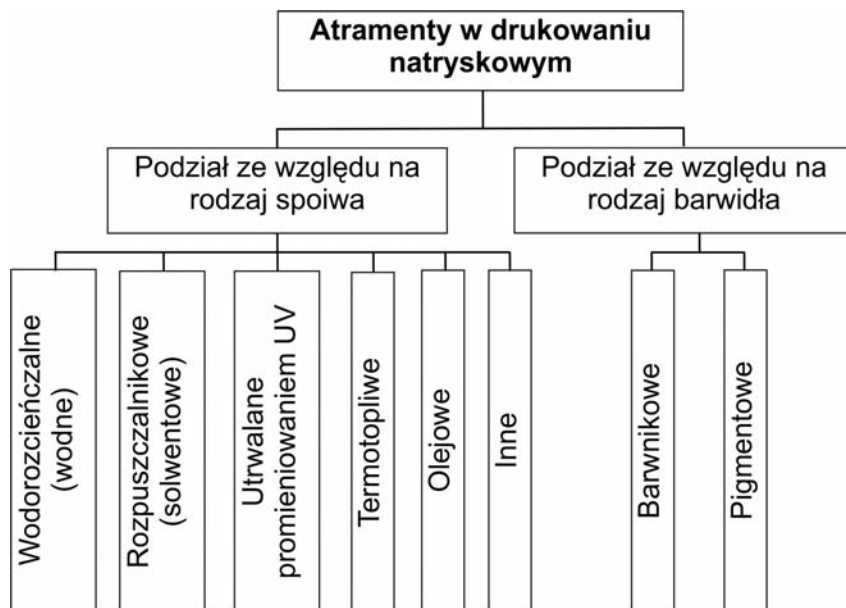
Oprócz powyższych zastosowań, moduły na bazie głowic natryskowych (DOD i CIJ) znalazły szerokie zastosowanie przy znakowaniu i kodowaniu produktów przemysłowych. Przeznaczone są do różnej szerokości nanoszonego obrazu i drukują za pomocą różnych rodzajów atramentów. Nadają się do zadrukowywania powierzchni chłonnych i niechłonnych, płaskich i o zróżnicowanej geometrii powierzchni.

4.4. Atramenty w drukowaniu natryskowym

4.4.1. Rodzaje atramentów

W druku natryskowym stosowane są różne rodzaje farb natryskowych. Ze względu na rodzaj stosowanego barwidła atramenty dzielą się na pigmentowe (ang. *pigment*) lub barwnikowe (ang. *dye*). Ze względu na rodzaj stosowanego spoiwa stosowane są atramenty wodorozcieńczalne (zwane popularnie w Polsce wodne), na bazie rozpuszczalników organicznych (solwentowe lub ekosolwentowe), olejowe, atramenty utrwalane promieniowaniem UV (atramenty UV) i atramenty termotopliwe (stosowane są w drukowaniu stałotratmentowym) [8, 28]. Receptura atramentów jest złożona. Pomimo zapewnienia typowych wymagań, które są standardowo stawiane farbom drukowym, na przykład takich jak barwa czy termin ważności, atramenty powinny posiadać specyficzne właściwości fizyko-chemiczne, które będą różne w przypadku różnych typów głowic drukujących. Na przykład każda głowica drukująca posiada swoje wymagania co do napięcia powierzchni-

wego i lepkości atramentów. Głowice piezoelektryczne funkcjonują z atramentem o lepkości w granicach około 0,015 Pa·s, a głowice termiczne – poniżej 0,003 Pa·s. Rodzaj stosowanego atramentu będzie zależeć również od rodzaju i właściwości podłoża zadrukowywanego. 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 będzie 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. [28]. Dlatego, przy opracowaniu receptury atramentu, powinno się uwzględniać nie tylko wymagania ze względu na głowicę drukującą, ale również współdziałanie atramentu z podłożem, jego wpływ na zdrowie personelu obsługującego maszynę drukującą, wpływ na środowisko naturalne, a w niektórych przypadkach i specyficzne właściwości, takie jak na przykład przewodnictwo elektryczne w przypadku atramentów stosowanych dla drukowania elektroniki drukowanej.



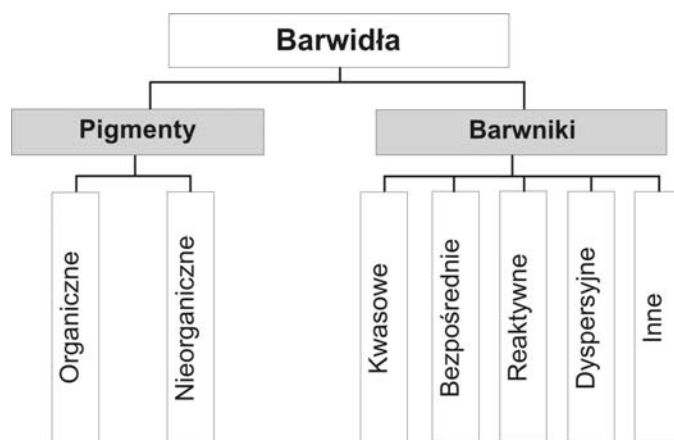
Rys. 4.26. Klasyfikacja atramentów natryskowych

Źródło: własne.

4.4.2. Pigment czy barwnik?

W postaci barwidła w atramentach do druku natryskowego stosowane są pigmenty i barwniki.

Barwniki są substancjami barwiącymi rozpuszczalnymi w wodzie, olejach i rozpuszczalnikach organicznych. Barwniki posiadają cząsteczki o bardzo małych wymiarach (rzędu kilku nanometrów). Dostępne są w szerokiej gamie kolorystycznej, ale charakteryzują się niską światłotrwałością, niską odpornością na wodę i inne rozpuszczalniki. W zależności od rodzaju zadrukowywanego podłoża oraz technologii drukowania stosowane są różne rodzaje barwników w atramentach: bezpośrednie, kwasowe, reaktywne, barwniki dyspersyjne (zwane zawiesinowe, a będące dyspersją laki powstałej przez strącanie barwnika) i in.



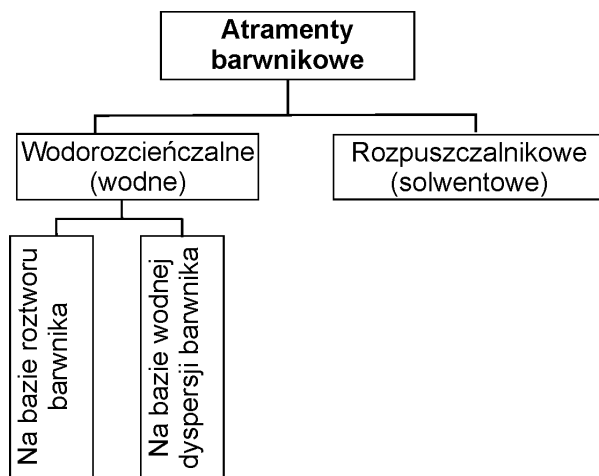
Rys. 4.27. Barwidła stosowane w drukowaniu natryskowym

Źródło: własne.

Atramenty na bazie barwnika mogą być wodorozpuszczalne (wodne) lub rozpuszczalnikowe (solwentowe). W większości wodne atramenty są roztworem barwnika za wyjątkiem atramentów termosublimacyjnych, które produkują się na bazie lak, które w języku polskim nazywa się barwnikami zawiesinowymi¹ (dyspersyjnymi). Barwniki stosowane w produkcji atramentów wodnych do zadruku podłoży papierowych w początkowym okresie należały do grupy barwników kwasowych i bezpośrednich. Kolejnym rozwiązaniem było wprowadzenie do użytku barwników reaktywnych, które rozpuszczalność w wodzie zawdzięczały zwiększonej obecności grup karboksylowych. Grupy te, przechodząc na kwaśnym podłożu w słabo rozpuszczalną

¹ Strącany z roztworu barwnik w postaci stałej lub osadzany na stałym nośniku.

postać niejonizowaną, sprawiały, że wydruki charakteryzowały się dobrą odpornością na działanie wody. W atramentach wodnych, rozpuszczalnikowych i termotopliwych stosuje się barwniki metalokompleksowe. W produkcji atramentów rozpuszczalnikowych i termotopliwych stosowano również barwniki antrachinonowe (z grupy tzw. barwników rozpuszczalnikowych, w polskiej nomenklaturze określane dawniej jako barwniki tłuszczowe) [29, 30].



Rys. 4.28. Atramenty barwnikowe w drukowaniu natryskowym

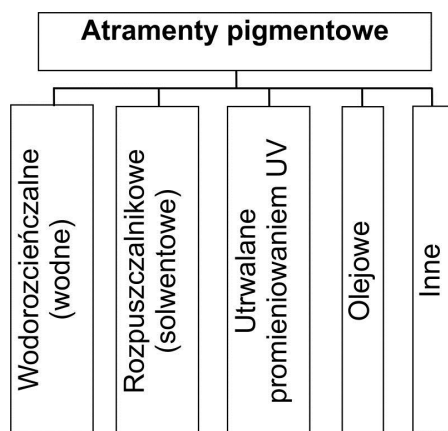
Źródło: własne.

Szeroką gamę barwników używa się w atramentach stosowanych w drukowaniu natryskowym do zadruku wyrobów włókienniczych. W przypadku włókien celulozowych, wełny i poliamidu preferowane są barwniki reaktywne przy mniejszym udziale barwników bezpośrednich i kwasowych (te ostatnie są stosowane do wełny i poliamidu). W przypadku wyrobów z włókien poliestrowych stosowane są barwniki zawieszinowe, a włókien poliakrylowych – barwniki kationowe [29].

Pigmenty są to organiczne lub nieorganiczne substancje barwiące, praktycznie nierozpuszczalne w wodzie, rozpuszczalnikach organicznych, olejach schnących i żywicach. Wykazują one zdolność barwienia w stanie stałym. W trakcie produkcji atramentów uzyskuje się dyspersję, która polega na rozproszeniu małych (około 50-200 nm) cząstek stałych (pigmentów) w płynie (wodzie, rozpuszczalniku organicznym). Cząstki te nie rozpuszczają się w cieczy, a jedynie tworzą stabilną, dwufazową mieszaninę, zwykle koloidalną. Obecnie do produkcji typowych atramentów stosowane są tylko pigmenty nieorganiczne syntetyczne, organiczne

syntetyczne oraz sadza. Charakteryzują się wysoką światłotrwałością oraz wysoką odpornością na działanie wody i innych rozpuszczalników.

Pigmenty stosowane są w produkcji atramentów natryskowych wodnych, solwentowych, utrwalanych promieniowaniem UV, olejowych i innych.



Rys. 4.29. Atramenty pigmentowe w drukowaniu natryskowym

Źródło: własne.

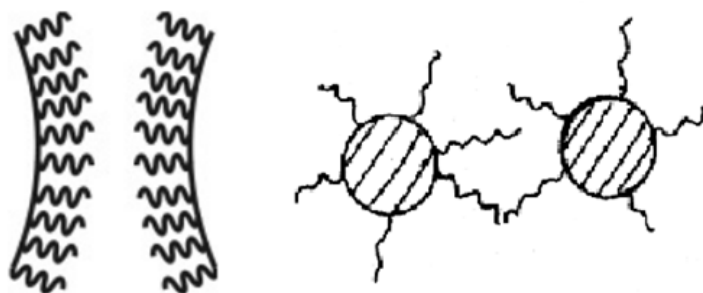
Przy produkcji i eksploatacji atramentów pigmentowych problemem jest uzyskanie stabilnej dyspersji. Osadzanie się (sedymentacja) i łączenie się (aglomeracja) cząsteczek pigmentu może doprowadzić do zmiany właściwości fizycznych atramentu (lepkość i in.), co może skutkować zmianą parametrów jakościowych nadruku (barwa, połysk), a w ostateczności może spowodować zapychanie się dysz. Rozwiązaniem tego problemu jest między innymi stosowanie proszku pigmentu o bardzo małych wymiarach – poniżej 100 nm. Oprócz tego dyspersje pigmentów są stabilizowane za pomocą specjalnych środków dyspergujących (stabilizatorów). Środek dyspergujący jest to substancja, która sprzyja tworzeniu dyspersji lub ją stabilizuje.

W postaci środków dyspergujących stosowane są polimery lub substancje powierzchniowo czynne o strukturze anionowej, kationowej lub niejonowej. Są one dodawane w procesie produkcji pigmentu lub dodawane w procesie produkcji atramentu. Molekuły takiego środka są adsorbowane na powierzchni pigmentu, co powoduje stabilizowanie cząsteczek i zapobiega ich agregacji. Na przykład, taki pigment hydrofobowy jak sadza, posiada tendencję do tworzenia dużych agregatów w wodzie. W celu zapobiegania agregacji można wykorzystać środek powierzchniowo czynny, na przykład dodecylosiarczan sodu (SDS), którego aniony,

po adsorbowaniu na powierzchni pigmentu, nadają mu ładunek ujemny. W efekcie, naładowane cząsteczki pigmentu będą się odpychać za pomocą sił elektrostatycznych. Znane są trzy mechanizmy stabilizacji dyspersji: stabilizacja ładunkowa (elektrostatyczna), stabilizacja steryczna oraz stabilizacja ładunkowo-steryczna [7, 31, 32].

Ładunkowy mechanizm stabilizacji jest wykorzystywany w systemach posiadających wysoką stałą dielektryczną i dlatego jest stosowany przede wszystkim w atramentach wodnych. W przypadku atramentów pigmentowych wodnych jest wykorzystywany również i steryczny mechanizm stabilizacji dyspersji. Dodawane są takie polimerowe stabilizatory, które posiadają hydrofobowe grupy wykazujące wysokie powinowactwo do powierzchni pigmentu i hydrofilowe łańcuchy polimerowe, stabilizujące te pigmenty w wodnym środowisku dyspersji. Cząsteczki pigmentu z zaadsorbowanymi w taki sposób molekułami stabilizatora nabywają właściwości hydrofilowych i dobrze się rozpraszają w środowisku wodnym, tworząc stabilną dyspersję, przykładem takich atramentów mogą być atramenty firmy Epson, Carbot Corp i in.

Steryczny mechanizm stabilizacji jest bardzo skuteczny, zarówno w wodnych jak i niewodnych układach atramentów, a na współczesnym rynku jest duża różnorodność dostępnych polimerowych środków dyspergujących, takich jak Efka, TEGO, Solspers, Disperbyk, Sokalan[®] [33].

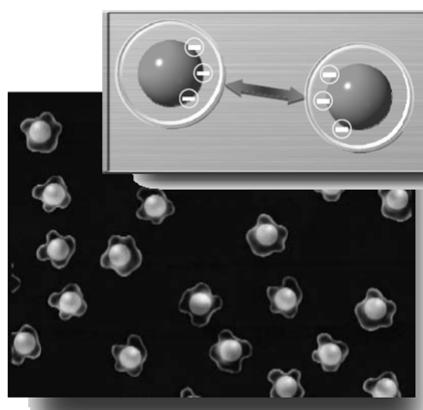


Rys. 4.30. Stabilizacja steryczna – kontakt cząsteczek koloidalnych jest utrudniony przez łańcuchy grup bocznych

Źródło: Luźny W.: *Fizyka Miękkiej Materii. Notatki z wykładu. WFiIS AGH Kraków, 2007.*
<http://www.ftj.agh.edu.pl/doc/pl/dyd/fmmwyklad.pdf> (09.08.2015).

Jeszcze jedno rozwiązanie w zakresie uzyskania stabilnych dyspersji pigmentów – proces enkapsulacji (kapsułkowania) pigmentów, w efekcie którego na powierzchni cząsteczki pigmentu wytwarza się otoczkę polimerową, która dodatkowo zawiera anionowy środek powierzchniowo-czynny, który stabilizuje dyspersję.

Atramenty na bazie pigmentów kapsułkowanych charakteryzują się zwiększoną, w porównaniu do zwykłych atramentów pigmentowych, odpornością na ścieranie, na działanie światła, wody, tłuszczów i in. czynników. Oprócz tego, że polimerowa otoczka pigmentu zwiększa odporność nadruku, to jeszcze polepsza walory optyczne (uzyskuje się fotograficzny połysk, lepszą gęstość i jednolitość nadruku). Badania nad atramentami na bazie pigmentów kapsułkowanych firmy Epson Archival i UltraChrome wykazały, że gama barw odbitek wydrukowanych tymi atramentami jest bardzo szeroka i zbliża się do gamy barw odbitek wydrukowanych atramentami barwnikowymi [7, 34].



Rys. 4.31. Cząsteczki pigmentu w technologii EpsonMicrocrystal Encapsulation™ Technology

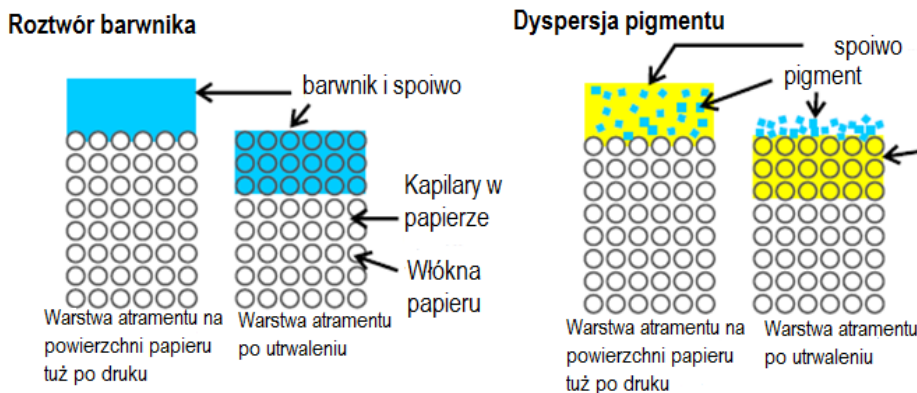
Źródło: Aksienionek Sz.: *Epson – ekologia w druku wielkoformatowym. Prezentacja PPT.*

Niektóre atramenty mogą w swoim składzie zawierać tak pigmenty, jak i barwniki. Porównanie właściwości atramentów na bazie barwników i pigmentów przedstawiono w tabeli 4.9, a różnice współdziałania tych atramentów z podłożem rys. 4.32.

Tabela 4.9. Porównanie właściwości atramentów na bazie pigmentów i barwników

Właściwości	Atrament na bazie	
	Pigmentu	Barwnika
Światłotrwałość	Bardzo dobra	Niedostateczna
Stabilność barwy	Bardzo wysoka	Słaba
Gama barw	Ograniczona	Duża
Jakość obrazu	Dobra	Możliwe rozmycie obrazu

Źródło: własne.



Rys. 4.32. Współdziałanie atramentów barwnikowych i pigmentowych z papierem

Źródło: Le H.P.: *Progress and Trends in Ink-jet Printing Technology*. IS&T The Society for Imaging Science and Technology, Volume 42, Number 1, January/February 1998.

<http://www.imaging.org/ist/resources/tutorials/inkjet.cfm> (12.10.2015).

Zawartość barwidła w atramentach dedykowanych do typowo poligraficznych zastosowań wynosi zwyczaj do 10%, a w kompozycjach atramentów specyficznych – wartość ta przekracza 50%.

4.4.3. Atramenty wodorozcieńczalne (ang. *waterbased*)

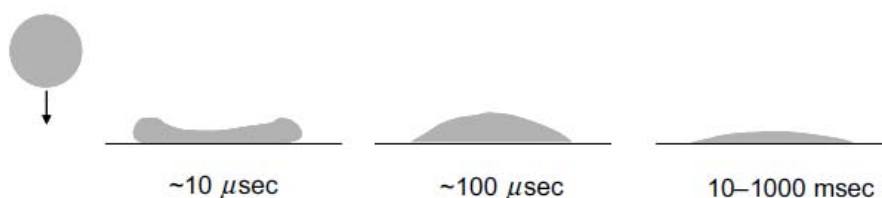
Atramenty wodorozcieńczalne (ang. *waterbased*), zwane popularnie w Polsce wodne, zawierają zazwyczaj około 80% wody. Poza nią zawierają barwniki i/lub pigmenty, rozpuszczalniki organiczne, środki higroskopijne, stabilizatory pH, środki konserwujące oraz środki poprawiające odporność na działanie światła. Przykładowy skład atramentu wodnego podano w tabeli 4.10. Rozpuszczalniki organiczne zapobiegają krystalizacji barwnika w dyszach, podnoszą jego rozpuszczalność i poprawiają odporność na magazynowanie w niskich temperaturach. Dodatkowo wywierają korzystny wpływ na napięcie powierzchniowe atramentu i jego lepkość. Powszechnie stosowanymi rozpuszczalnikami organicznymi są: glikol dietylenowy, glikol propylenowy-1,2, gliceryna i N-metylopirolidon-2. W atramentach pracujących w technologii ciągłego strumienia jest stosowany dodatek octanu litu lub cyjanianu potasu, które poprawiają przewodnictwo elektryczne. Uzyskanie dobrej jakości nadruku za pomocą atramentów wodnych (pigmentowych 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.

Tabela 4.10. Skład atramentu wodnego

Składnik	Przeznaczenie
Woda	Podstawowy rozpuszczalnik
Barwidło: barwnik, pigment (0,5-10%)	Nadaje kolor
Rozpuszczalnik organiczny (5-50%)	Zapobiega zatykaniu dysz, sprzyja płaskiemu leżeniu arkusza po druku, polepsza właściwości błonotwórcze
Środki powierzchniowo czynne (0-2%)	Polepsza zwilżalność atramentu zapobiega procesowi osadzania się atramentu na elemencie grzejnym w głowicy drukującej
Spoivo polimerowe (0-10%)	Polepsza trwałość/odporność nadruku, poprawia połysk nadruku
Dodatki konserwujące	Zapobiega rozwojowi mikroorganizmów
Substancja chelatująca ²	Reagują z niektórymi kationami metali
Dodatki antykorozyjne	Zapobiega korozji

Źródło: [33].

Typowe zachowanie się kropli atramentu wodnego na podłożu przedstawiono na rys. 4.33. Podczas pierwszych $\sim 10 \mu\text{s}$ od zetknięcia kropli z podłożem, początkowo kulisty kształt kropli zmienia się, rozciąga się i wybrzusza na krawędziach. Przez następne $\sim 20\text{-}80 \mu\text{s}$, nadrukowana kropla osiąga statyczny kształt, posiadający w przybliżeniu taką samą średnicę jak końcowy rozmiar plamki nadruku, a następnie zaczyna się kurczyć, penetrując do podłoża, oraz następnie parując.



Rys. 4.33. Zachowanie się kropli atramentu wodnego na podłożu

Źródło: Magdassi S.: *The chemistry of inkjet inks*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2010, s. 132.

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

² Substancja chelatująca to organiczny związek mający zdolność do chemicznego wiązania się z innymi substancjami czy jonami np. metali i tworzenia z nimi nowych związków.

tonalnej. Badania wykazały, że przyrost punktu wzrasta wraz ze wzrostem liczby Reynoldsa³ i liczby Webera⁴ i zmniejszeniem kąta związania kropli atramentu [33].

Woda jest tanim i najkorzystniejszym, nietoksycznym rozpuszczalnikiem, a więc atramenty te są tanie i odpowiadają wymaganiom ochrony środowiska naturalnego. Atramenty wodne są stosowane w różnych typach głowic drukujących (ciągłego strumienia, termicznych, piezoelektrycznych), ale trzeba zaznaczyć, że nie wszystkie typy głowic piezoelektrycznych mogą pracować z atramentami wodnymi. Drukować nimi można tylko na podłożach chłonnych, a uzyskanie jakościowego nadruku wymaga stosowania specjalnej powłoki na podłożu, która będzie zapobiegać nadmiernemu rozciekaniu się czy wchłanianiu atramentów przez papier, a tym samym zapobiegnie utracie nasycenia nadruku czy pofalowaniu podłoża. Czas suszenia jest stosunkowo długi.

4.4.4. Atramenty rozpuszczalnikowe (solwentowe)

Zawierają w swoim składzie rozpuszczalniki organiczne. Atramenty solwentowe są odporne na wiele czynników, łącznie z promieniowaniem ultrafioletowym. W atramentach solwentowych starszej generacji (Hard Solvent) najczęściej w postaci rozpuszczalnika stosowano cykloheksanon lub keton metylowo-etylowy (MEK). Takim atramentem można drukować na bardzo szerokiej gamie podłoży, bo w trakcie drukowania rozpuszczalnik reaguje z podłożem, co pozwala na trwałe fiksovanie pigmentu w warstwie wierzchniej podłoża (tworzywa sztucznego). Z tego względu, w odróżnieniu od atramentów wodnych, olejowych lub stałych, nadruk wykonany atramentem solwentowym jest bardzo odporny na działanie czynników zewnętrznych (wody, światła i in.). Taki nadruk bez żadnych zabezpieczeń dodatkowych (bez lakierowania lub foliowania) zachowuje swoje właściwości optyczne bardzo długo – trzy lata, a w niektórych przypadkach i więcej, z tego powodu stosuje się go głównie do drukowania reklamy zewnętrznej. Ale atramenty solwentowe posiadają i szereg wad, z których główną jest przede wszystkim negatywne oddziaływanie na środowisko. Z tego powodu z czasem pojawiły się atramenty solwentowe o obniżonej zawartości szkodliwych substancji (Soft Solvent, Mild Solvent, Light Solvent), w których zminimalizowano zawartość cykloheksanonu (do 5-7% i mniej). Takie atramenty też stosowano do zadruku grafiki zewnętrznej. Kolejnym

³ Liczba Reynoldsa pozwalająca oszacować występujący podczas ruchu płynu stosunek sił bezwładności do sił lepkości.

⁴ Liczba Webera wyraża stosunek sił inercjalnych do sił napięcia powierzchniowego.

etapem w rozwoju atramentów solwentowych były atramenty ekosolwentowe (ECO Solvent), które w ogóle nie zawierają szkodliwych rozpuszczalników. Nadruk uzyskany za pomocą atramentów z obniżoną zawartością cykloheksanonu czy ekosolwentowych posiada zalety druku solwentowego – wysoką odporność i trwałość. Ostatnio pojawiły się atramenty biosolwentowe, w których rozpuszczalnikiem są produkty pochodzenia roślinnego.

Atramenty solwentowe mogą być stosowane w technologii CIJ oraz piezoelektrycznej technologii DOD (DOD PIJ). Nie stosuje się tego rodzaju atramentu w głowicach drukujących opartych na technologii DOD TIJ. Każda z tych technologii (CIJ i DOD PIJ) stawia przed atramentami nieco odmienne wymagania, stąd duża różnorodność receptur stosowanych atramentów.

W technologii CIJ atramenty solwentowe są stosowane przede wszystkim do znakowania opakowań i różnego rodzaju produktów, w tym i produktów żywnościowych. Na rynku istnieje dużo różnych głowic drukujących, każda ma swoje wymagania względem wykorzystywanego atramentu. Generalnie takie atramenty mają niską lepkość (0,002 Pa·s do 0,01 Pa·s), napięcie powierzchniowe w zakresie od 20 do 35 mN/m oraz wysoki poziom przewodności elektrycznej (700-2000 mS). Typowy skład takich atramentów to: barwidło (przeważnie barwnik) – 5%, polimer – 8%, sól przewodząca (której roztwór charakteryzuje się wysokim przewodnictwem (jeśli barwnik nie wykazuje zdolności do przewodnictwa)) – 1%, środki powierzchniowo czynne – 0,5%, rozpuszczalnik organiczny lub mieszanina rozpuszczalników organicznych – 85,5%. Typowe rozpuszczalniki to aceton, metyloetyloketon (MEK), octan etylu, metanol, etanol, octan metylu i in [33].

Wiele współczesnych głowic piezoelektrycznych (na przykład Xaar, Fujidimatix) wymaga od atramentów solwentowych lepkości w zakresie 0,01-0,014 Pa·s w temperaturze natryskiwania, która jest często wyższa od temperatury pokojowej oraz napięcia powierzchniowego w zakresie 22-36 mN/m. Typowymi rozpuszczalnikami w takich atramentach są: etery glikolu etylenowego, eter glikolu propylenowego oraz ich estry. Powszechnie stosowane są ketony, zwłaszcza cykloheksanon i izoformn. Mleczany alkilowe coraz bardziej zastępują konwencjonalne rozpuszczalniki ze względu na przepisy związane z ochroną środowiska i zdrowia. W postaci barwidła w atramentach dla technologii DOD PIJ występują dyspersje pigmentów. Typowe stosowane polimery to – kopolimery chlorku winylu, kopolimery octanu winylu oraz żywice akrylowe [33]. Zastosowania takich atramentów solwentowych

to przede wszystkim druk reklamy wielkoformatowej, charakteryzujący się wysoką odpornością na czynniki zewnętrzne w dłuższym czasie (do kilku lat).

Mechanizm utrwalania atramentów solwentowych polega na odparowaniu rozpuszczalnika. W aplikacjach, gdzie jest wymagana wysoka odporność nadruku, dobiera się taki rozpuszczalnik, który po naniesieniu na podłoże z tworzywa sztucznego (na przykład PCV) dodatkowo reaguje z jego wierzchnią warstwą (rozpuszcza ją) i w ten sposób uzyskuje się bardzo trwałe nadruki.

Do zalet farb solwentowych należą: wysoka trwałość nadruku, dobra przyczepność do różnorodnych podłoży (z tworzywa sztucznego, szkła i in.), bardzo szybki czas schnięcia (często wspomagany poprzez podgrzewanie). Farby te posiadają jednak wady, do których zalicza się wydzielanie rozpuszczalników, towarzyszące procesowi drukowania oraz suszenia odbitek. W wyniku czego konieczne jest stosowanie odpowiedniej wentylacji. Dodatkowo, przy stosowaniu rozpuszczalników szkodliwych dla środowiska niezbędna jest ich odpowiednia utylizacja. Jako kolejną wadę można podać skłonność farby do zasychania i zapychania dysz natryskowych, co zmusza do częstego czyszczenia urządzeń [35].

Trzeba zaznaczyć, że atramenty wodne i solwentowe były pierwszymi atramentami stosowanymi w druku natryskowym, a wady, które posiadały, były powodem pojawienia się nowych generacji atramentów solwentowych oraz innych zupełnie nowych rodzajów atramentów, na przykład takich jak atramenty UV.

4.4.5. Atramenty utrwalane promieniowaniem UV

Składają 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. Sprawia to, że technologia UV jest jedną z najczystszych technologii z punktu widzenia ochrony środowiska. Farby natryskowe utrwalane promieniowaniem UV utrwalają się według dwóch odmiennych mechanizmów. Produkowane są farby utrwalane promieniowaniem UV według rodnikowego i kationowego mechanizmu reakcji polimeryzacji. Udział atramentów polimeryzujących według mechanizmu rodnikowego na rynku jest największy. Atramenty kationowe zostały opracowane przez firmy Toyo i Konica Minolta, prace nad nimi prowadzi Sun Chemical. W sektorze druku wielkoformatowego technologia ta jest dostępna w serii urządzeń Solara ion firmy Gerber Scientific.

Technologia druku UV jest jedną z nowszych technologii w dziedzinie druku natryskowego i najczęściej jest stosowana w wielkoformatowym drukowaniu natryskowym oraz drukowaniu etykiet i opakowań giętkich. Technologia ta pozwala uzyskać nadruk bardzo odporny na działanie światła, wody i innych czynników. Do głównych zalet technologii druku natryskowego za pomocą atramentów utrwalanych promieniowaniem UV trzeba zaliczyć:

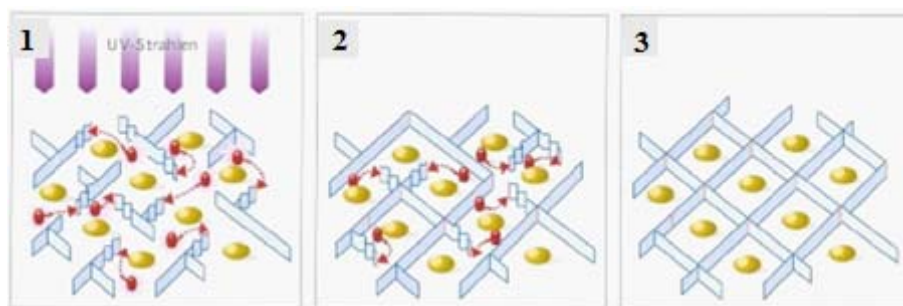
- po pierwsze, jest ona bardzo przyjazna dla środowiska naturalnego,
- po drugie, atramenty w tym systemie zapewniają adhezję do różnorodnych materiałów i dużą odporność mechaniczną,
- po trzecie, a jest to istotne dla przyszłości tego przemysłu, druk UV zapewnia natychmiastowe sieciowanie, co oznacza, że wydruk jest suchy (utrwalony) natychmiast po wydrukowaniu; przy dużej skali produkcji urządzenia natryskowe muszą pracować coraz szybciej i nie ma czasu na suszenie,
- po czwarte, wydruki na bazie atramentów UV mogą być natychmiast wysyłane do wykańczania. Przyspiesza to cały proces produkcji poligraficznej i pozwala na szybsze zakończenie pracy.

Atramenty utrwalane promieniowaniem UV ze względu na wymagania głowic drukujących DOD PIJ powinny posiadać dość niską lepkość – 0,008-0,012 Pa·s w temperaturze natryskiwania (większość głowic posiada grzejniki, które podgrzewają atrament w wielu przypadkach do temperatury 70°C). Napięcie powierzchniowe atramentów zależy od typu głowicy drukującej i wynosi średnio około 20-30 mN/m [33].

Proces polimeryzacji rodnikowej atramentów UV. Promieniowanie ultrafioletowe jest wykorzystane do zapoczątkowania i przebiegu procesu fotochemicznego, zwanego utrwalaniem UV atramentów. Atramenty utrwalane promieniowaniem UV zawierają nienasycone niskocząsteczkowe żywice z estrów akrylowych (oligomery) rozpuszczone w monomerach akrylowych, fotoinicjatory, pigmenty i/lub barwniki oraz dodatki (rys. 4.34). Monomery mają do spełnienia dwa zadania: są nielotnym rozpuszczalnikiem żywicy i współdziałają w procesie sieciowania składników spoiwa. Wszystkie składniki farb fotoutwardzalnych tworzą ciekłą kompozycję fotopolimerową, która pod wpływem promieniowania ulega zestaleniu.

Proces polimeryzacji obejmuje trzy etapy: inicjację – zapoczątkowanie, wzrost łańcucha (propagacja) oraz zakończenie. W procesie opartym na mechanizmie rodnikowym fotoinicjatory (na rys. 4.34 zaznaczone kolorem czerwonym), absorbując energię promieniowania UV, tworzą wolne rodniki (rys. 4.34, etap 1) podczas fazy zwanej inicjacją. Następnie wolne rodniki reagują z podwójnymi wiązaniami obec-

nymi w akrylowych grupach funkcyjnych oligomerów i monomerów (rys. 4.34 – kolor niebieski) – etap ten jest znany jako faza propagacji (rys. 4.34, etap 2). Następnie cząsteczki monomerów i oligomerów łączą się ze sobą, tworząc sieć z długich połączonych ze sobą łańcuchów. Uzyskuje się przestrzennie usieciowana struktura (rys. 4.34, etap 3), wewnątrz której zostają zamknięte cząsteczki pigmentu – zaznaczone kolorem żółtym [35, 36, 37]. Farby UV rodnikowe ze względu na obecność w nadmiarze fotoinicjatorów nie mogą być stosowane do drukowania opakowań mających bezpośredni kontakt ze środkami spożywczymi.



Rys. 4.34. Schemat procesu polimeryzacji atramentów

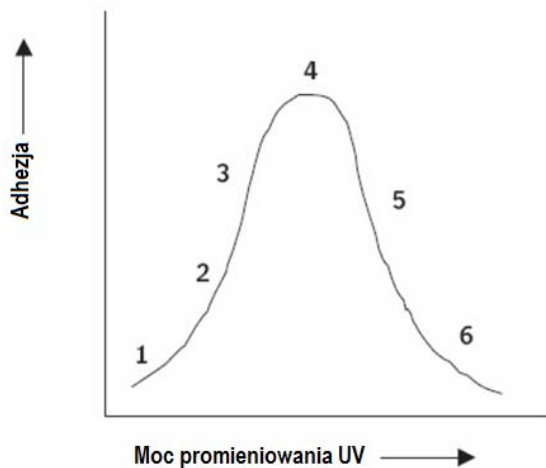
Źródło: *UV-curable Inks. The Future of Industrial InkJet Printing*

https://shop.ndgraphics.com/Products/Media/Docs/UVinks_info.pdf?__hstc=108337501.514756f51aa.d28a6d480b0896ec071ba.1407456000052.1407456000053.1407456000054.1&__hssc=108337501.1.1407456000055&__hsfp=1314462730 (12.10.2015).

W urządzeniach, w których używane są farby fotoutwardzalne, stosowane są lampy ręciovowe z lustrami parabolicznymi, które powodują skupienie promieniowania na zadrukowywanym podłożu. Lampy te powinny być zamontowane za dyszami w taki sposób, aby ich promieniowanie nie padało na głowice z dyszami, gdyż mogłoby to powodować ich zapchanie poprzez zainicjowanie procesu polimeryzacji. W celu przyspieszenia procesu utrwalaania farby często przeprowadza się go w atmosferze gazowego azotu, który powoduje wypieranie tlenu z nad warstwy farby. Jest to ważne, ponieważ tlen jest inhibitorem procesu polimeryzacji i opóźnia fotoutwardzanie.

Moc promieniowania UV ma wpływ na adhezję utrwalonej warstwy atramentu do podłoża. Przy braku ekspozycji promieniowania UV lub przy małej ekspozycji atrament nie utrwali się i pozostanie ciekły (rys. 4.35 etap 1). Na etapie 2 (rys. 4.35) następuje częściowa polimeryzacja, zwykle warstwy zewnętrznej. Skutkiem tego może być „skożuszenie się warstwy nadruku”, co skutkuje słabą przychepnością do podłoża. Na etapie 3 – warstwa atramentu pod wierzchnią utrwaloną

nadal jest lepka. Etap 4 – charakteryzuje się dobrze utrwaloną warstwą atramentu, bez oznak kleistości o słabym zapachu, z elastyczną warstwą nadruku i dobrą przyczepnością do podłoża. Na etapie 5 – zwiększa się twardość utrwalonej powłoki nadruku, co powoduje jej kruchość. Etap 6 charakteryzuje się bardzo słabą adhezją i niską elastycznością nadrukowanej warstwy atramentu [38].



Rys. 4.35. Wpływ mocy promieniowania UV na przyczepność warstwy nadruku do podłoża

Źródło: *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 (03.03.2015).

Ze względu na elastyczność nadrukowanej powłoki atramentu rozróżnia się dwa rodzaje atramentów UV, utrwalanych według mechanizmu rodnikowego:

- pierwszy, przeznaczony do druku na podłożach elastycznych i miękkich, zachowuje elastyczność po utrwaleniu, a wydruk wykonany nim na banerze lub innym miękkim podłożu nie pęka przy zginaniu i składaniu materiału,
- drugi, przeznaczony do druku na podłożach sztywnych, tworzy na podłożu twardą warstwę dobrze związaną z podłożem.

Proces polimeryzacji kationowej atramentów UV. Podobnie jak w przypadku farb utrwalanych według systemu rodnikowego, tak i w przypadku utrwalania kationowego spoiwo farb składa się z nienasyconej żywicy. W charakterze żywic nienasyconych w tym przypadku najczęściej są stosowane cykloalifatyczne żywice epoksydowe – reaktywne oligomery zawierające dwa lub więcej trójczłonowych pierścieni oksiranowych (grup epoksydowych) w cząsteczce. W wyniku reakcji ze związkami zdolnymi do otwarcia pierścienia oksiranowego, tworzą one produkty usieciowane, charakteryzujące się bardzo pożądanymi właściwościami użytkowymi.

Stosowane fotoinicjatory mają zupełnie inną budowę. Fotoinicjator pod wpływem promieniowania wytwarza kwas (kation) Lewisa lub kwas Brönsteda, który inicjuje proces polimeryzacji. Promieniowanie UV jest wykorzystywane tylko podczas pierwszej fazy polimeryzacji – inicjacji. Proces polimeryzacji według mechanizmu kationowego (w odróżnieniu od mechanizmu radicalnego) po zainicjowaniu reakcji polimeryzacji promieniowaniem UV, nie potrzebuje promieniowania UV na etapie propagacji, a trwa do końca (100% spolimeryzowanych składników) bez udziału promieniowania UV. Z tego powodu farby kationowe utrwalane UV są dopuszczalne do drukowania opakowań mających bezpośredni kontakt ze środkami spożywczymi. Ale szybkość procesu polimeryzacji (łącznie z etapem „ciemniowym”) jest mniejsza w stosunku do mechanizmu rodnikowego. Inhibitorem procesu polimeryzacji według mechanizmu kationowego jest woda oraz środowisko zasadowe. Stąd ograniczenia co do stosowanych w składzie atramentów pigmentów oraz dodatków, ich pH nie może przekraczać 7. Atramenty kationowe charakteryzują się znacznie mniejszym, w porównaniu do atramentów rodnikowych, skurczem utwalonej warstwy. Skurcz wynosi około 3-5%, co z kolei zapewnia większą przyczepność do różnego rodzaju podłoża (tworzywa sztuczne, szkło, blacha i in.). Oprócz tego farby te charakteryzują się wysoką elastycznością, odpornością na ścieranie i na działanie różnych czynników chemicznych. Zalety i wady atramentów utrwalanych według mechanizmu kationowego zestawiono w tabeli 4.11.

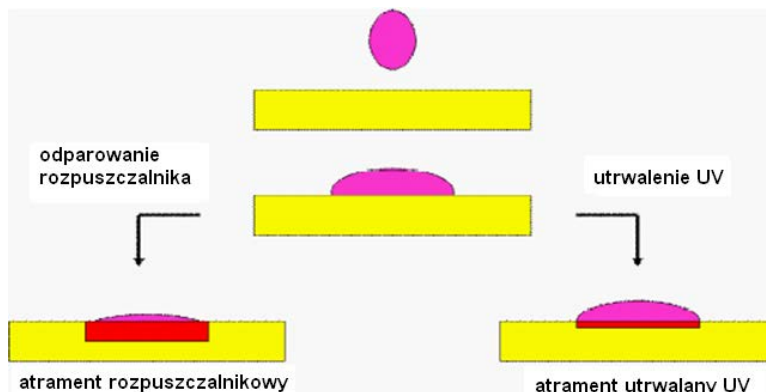
Tabela 4.11. Zalety i wady atramentów kationowych

Zalety	Wady
– brak inhibicji tlenowej procesu polimeryzacji	– inhibitorami procesu polimeryzacji są woda i środowisko zasadowe
– doskonała adhezja do szerokiej gamy podłoża	– wybór pigmentów i innych surowców jest ograniczony
– fizyczne i funkcjonalne właściwości nadrukowanej warstwy farby (odporność na działanie różnych czynników mechanicznych) są lepsze w stosunku do atramentów rodnikowych	– są droższe w stosunku do atramentów rodnikowych

Źródło: [39].

Porównanie właściwości atramentów solwentowych i utrwalanych UV. Ze względu na mechanizm utrwalania czas utrwalania atramentów solwentowych jest dłuższy od czasu utrwalania atramentów UV. W przypadku atramentów solwentowych, rozpuszczalnik reaguje z PCV (rozpuszcza go) oraz niektórymi innymi podłożami polimerowymi. W efekcie tej reakcji, barwniki, znajdujące się w atramencie,

wnikają w głąb nośnika razem z rozpuszczalnikiem, a nie leżą na jego powierzchni. W przeciwieństwie do atramentów rozpuszczalnikowych, atramenty UV są utwardzane tak szybko, że kropla atramentu pozostaje wypukła na powierzchni podłoża (rys. 4.35). Pozwala to na zmniejszenie zużycia atramentu do zadruku takiej samej powierzchni [38].



Rys. 4.36. Warstwa nadruku uzyskana w technologii druku natryskowego solwentowego i UV

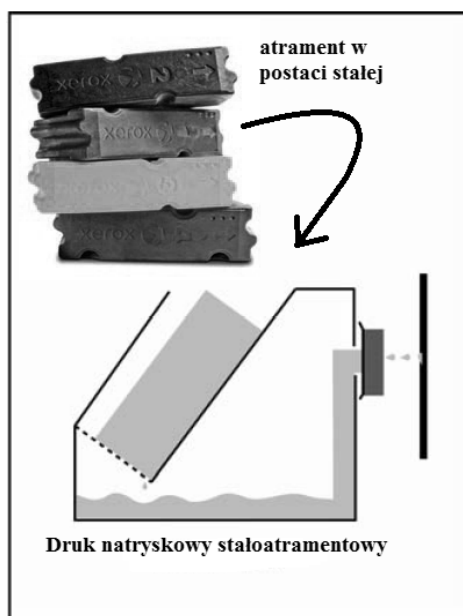
Źródło: *UV-curable Inks. The Future of Industrial InkJet Printing*

https://shop.ndgraphics.com/Products/Media/Docs/UVinks_info.pdf?__hstc=108337501.514756f51aa.d28a6d480b0896ec071ba.1407456000052.1407456000053.1407456000054.1&__hssc=108337501.1.1407456000055&__hsfp=1314462730 (03.03.2015).

4.4.6. Atramenty termotopliwe

W druku natryskowym stałoastramentowym wykorzystuje się atramenty termotopliwe (nazywane jeszcze w języku polskim woskowe, a w języku angielskim – *Hot Melt Ink, Phase Change Ink lub Solid Ink*), które w temperaturze pokojowej są w postaci stałej, a w warunkach podwyższonej temperatury przyjmują postać ciekłą. Technologia takiego druku została opracowana w latach 90. przez firmę Tektronix i została zrealizowana w urządzeniach drukujących firmy Phaser. W urządzeniach zastosowano stały atrament w postaci kolorowych klocków na bazie wosku (rys. 4.37). Stały atrament topi się w temperaturze około 135-140°C, a po stopieniu za pomocą głowicy piezoelektrycznej, nanosi się bezpośrednio (w starszych modelach drukarek) lub pośrednio (w późniejszych modelach drukarek zastosowano pośredni cylinder) na podłożu. Po zetknięciu z podłożem farba ulegała natychmiastowemu krzepnięciu. W 2000 r. technologię druku stałoastramentowego firmy Tektronix przejęła firma Xerox, która oferowała na rynku arkuszowe modele Phasher. Obecnie firma Xerox opracowała nową technologię druku stałoastramen-

towego, która została zrealizowana w serii urządzeń (ploterów) wielofunkcyjnych Xerox ColorQube oraz w serii urządzeń do druku nakładowego Xerox CiPress. Technologia druku w Xerox ColorQube polega na tym, że przed drukowaniem stały atrament topi się w temperaturze 60-70°C i następnie w postaci ciekłej jest nanoszony za pomocą głowic drukujących na podgrzany cylinder pośredni. Obraz z cylindra jest przekazywany na podłoże, na którym atrament schładza się i krzepnie.



Rys. 4.37. Druk natryskowy stałoastramentowy

Źródło: Palmer R.: *Emerging Marking Technologies: A Review and Comparison of Xerographic and Ink-Based Imaging*. 2008 InfoTrends, Inc, s. 8 <http://www.office.xerox.com/latest/OPBWP-05U.PDF> (08.08.2015).

Firma Océ oferuje nieco odmienną od firmy Xerox technologię druku stałoastramentowego – CrystalPoint. Atrament o nazwie handlowej TonerPearl jest podawany w postaci twardych kulek do głowicy drukującej, w której stapia się je w temperaturze 130-140°C do postaci żelu, co pozwala na lepszą kontrolę objętości i kształtu kropli wyrzucanej z dyszy oraz uzyskanie na podłożu lepszego kształtu nadruku punktu. Następnie atrament jest natryskiwany na podłoże, gdzie krzepnie. Technologia CrystalPoint jest zrealizowana w serii ploterów Océ ColorWave 600/300.

Do podstawowych zalet technologii druku stałoastramentowego należy:

- jakość druku jest bardzo dobra i prawie nie zależy od jakości stosowanego podłoża (atrament krzepnie na powierzchni podłoża, a nie jest przez nie wchłaniany),

w druku można stosować papiery niepowlekane, z mas makulaturowych, bądź podłoża syntetyczne (folie),

- nadruk jest odporny na działanie wody,
- bardzo szybki czas utrwalania nadruku,
- proces drukowania jest ekologiczny (nie ma emisji rozpuszczalników oraz minimalna ilość odpadów, bo nie ma pustych pojemników po atramentach).

Problemem starszej generacji atramentów termotopliwych była niedostateczna odporność na ścieranie, słaba przyczepność do podłoża i światłotrwałość. Nowsza generacja atramentów jest pozbawiona powyższych wad [40, 41].



Rys. 4.38. Nadruk uzyskany w drukowaniu stałoastramentowym i za pomocą atramentów wodnych na papierze offsetowym 75 g/m²

Źródło: Xerox® CiPress® 500 Xerox® CiPress® 325 Production Inkjet Systems. Broszura firmy Xerox, s.5 <http://www.xerox.com/digital-printing/latest/XPIBR-01.pdf> (08.08.2015).

Podstawowe składniki atramentu termotopliwego przedstawiono w tabeli 4.12. Spoiwo atramentów termotopliwych tworzą woski, żywice termotopliwe i ewentualnie składniki o małej masie cząsteczkowej, takie jak na przykład kwasy tłuszczowe i alkohole kwasów tłuszczowych o długości łańcucha węglowego w zakresie 18-21. Oprócz spoiwa w skład atramentów wchodzi barwidło (pigment lub barwnik) i różnego rodzaju dodatki (zwiększające przyczepność nadruku do podłoża, mody-

fikatory lepkości, środki bakteriobójcze i in). Atramenty w temperaturze podwyższonej (roboczej) posiadają lepkość około 0,011-0,030 Pa·s [40, 41, 43].

Tabela 4.12. Podstawowe składniki atramentu termotopliwego

Składnik	Przeznaczenie
Żywice (5-60%): żywice: poliamidowe, polietylenowe, poliestrowe i in.	Zabezpiecza przyczepność do podłoża
Woski (5-60%): Woski parafinowe, wosk polietylenowy, wosk polietylenowy oksydowany, woski na bazie amidów kwasów tłuszczowych, wosk montanowy, wosk Fishera-Tropscha, wosk pszczeli, wosk karnauba, wosk kandelila i in.	Spoiwo
Plastyfikator (1-15%)	Zapewnia elastyczność
Modyfikator lepkości (5-20%)	Obniża lepkość
Niskomolekularne komponenty (5-60%): nasycone i nienasycone kwasy tłuszczowe, ketony i in.	Spoiwo
Alkohole (0,5-49%) alkohole alifatyczne, alkohole alifatyczne cykliczne, alkohole aromatyczne i in.	Spoiwo
Antyoksydanty (1-10%)	Zapobiega utlenianiu
Barwidło (0,1-20%): pigment, barwnik	Nadaje kolor

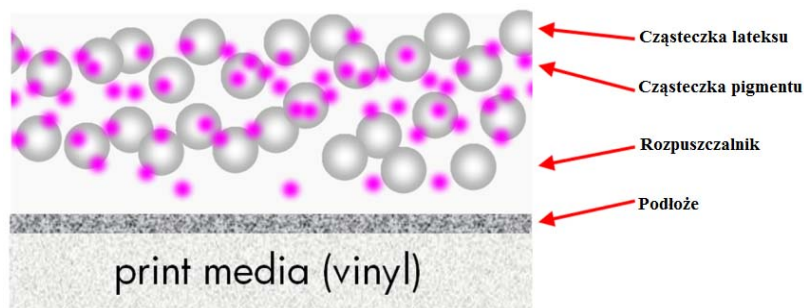
Źródło: [43].

4.4.7. Atramenty lateksowe

Atramenty lateksowe i nową technologię druku natryskowego za pomocą takich atramentów opracowała firma HP (**HPLatex**). W technologii HPLatex zastosowano atramenty wytwarzane na bazie lateksu, pełniące rolę spoiwa. Technologia ta powstała jako ekologiczna alternatywa drukowania solwentowego. Umożliwia uzyskiwanie na bardzo szerokiej gamie podłoży (również niewsiąkliwych) nadruków odpornych na działanie czynników atmosferycznych. Charakteryzują się one wysoką odpornością na działanie światła i odpornością na ścieranie. Bardzo istotną cechą tej technologii jest jej minimalny wpływ na środowisko naturalne. Farby lateksowe są szczególnym rodzajem farb wodorozcieńczalnych uzyskiwanych na bazie dyspersji żywic tworzyw sztucznych. Atrament lateksowy stosowany w technologii HPLatex zawiera do 70% wody i poniżej 30% rozpuszczalnika organicznego. Pozostałe składniki to: cząsteczki żywic syntetycznych, pigment i ok. 1% – domieszek specjalnych, których celem jest zmniejszenie

napięcia powierzchniowego i możliwość samooczyszczania się głowic drukujących. Wcześniej, pod pojęciem farb lateksowych rozumiano farby otrzymywane na bazie kauczuku syntetycznego lub dyspersji styrenowo-butadienowych. Obecnie stosuje się rozmaite spoiwa, które zapewniają osiągnięcie wysokich parametrów jakości powłok [35].

Po odparowaniu wody pod wpływem temperatury spoiwo tworzy błonę, która zabezpiecza nadruk przed działaniem różnych czynników mechanicznych i atmosferycznych. Mechanizm uzyskania nadruku na podłożu polega na tym, że na początku kropla atramentu trafia na podłoże i zwilża je. Następnie rozpuszczalnik atramentu częściowo rozpuszcza wierzchnią warstwę podłoża, jest to etap „zmiękczenia”, w wyniku którego zwiększa się przyczepność atramentu do podłoża. Dwuetapowe podgrzewanie (w strefie drukowania i utrwalania) powoduje, że woda i rozpuszczalnik szybko odparowują z podłoża, na którym tworzy się cienka błonka. Pod wpływem temperatury wiąże się ona na stałe z podłożem (rys. 4.39). W taki sposób uzyskuje się suchy i gotowy do natychmiastowego użycia wydruk.



Rys. 4.39. Struktura warstwy nadruku uzyskanego za pomocą atramentu lateksowego

Źródło: HP Latex Printing Technologies. Materiały informacyjne firmy HP

*http://www.hp.com/hpinfo/newsroom/press_kits/2011/HPLatexSummit/LatexTechnology.pdf
(08.08.2015).*

Zalety druku lateksowego należy:

- możliwość zadrukowywania bardzo szerokiej gamy podłoży, zarówno niechłonnych, jak i chłonnych niepowlekanych, w tym również podłoża dotychczas stosowanych wyłącznie w druku solwentowym, UV; do druku nadają się niemal wszystkie media, które są podawane w formie zwoju, np. papier, folia, baner, tapeta, canvas, flaga backlit oraz takie rodzaje podłoża, jak np. papier offsetowy, tapeta winylowa, podłoża poliestrowe itd.,

- odporność uzyskiwanych nadruków na działanie czynników mechanicznych (warstwa utrwalonej farby jest elastyczna, rozciągliwa i trudna do zarysowania), atmosferycznych i ew. zabrudzenia,
- duża intensywność barwy nadruków (duża objętość bryły barw odtwarzalnych) i odporność na promienie słoneczne (3 lata przy ekspozycji zewnętrznej – bez laminowania, do 10 lat przy ekspozycji wewnętrznej – z laminowaniem),
- możliwość wykonywania druków ekspozycyjnych zarówno wewnątrz (nadruki bezwonne), jak i na zewnątrz pomieszczeń, zredukowany do minimum wpływ procesu drukowania na środowisko.

Technologia druku natryskowego za pomocą atramentów lateksowych jest zrealizowana w urządzeniach do druku wielkoformatowego firmy HP. Obecnie w trzeciej generacji ploterów HPLatex znacząco została obniżona temperatura utrwalenia nadruku. Zwiększyła się również jakość i odporność nadruku.

4.4.8. Atramenty olejowe

Są atramentami pigmentowymi i dlatego cechują się bardzo dobrą odpornością na działanie światła i wody (w okresie ok. 1 roku). Atramenty olejowe schną bardzo szybko i nie mają tendencji do rozlewania się, co pozwala na uzyskanie odbitek o wysokim kontraście i dokładnym odwzorowaniu barw. Tego rodzaju atramenty wymagają również zastosowania specjalnego pokrycia (primer) na podłożach. Atramenty olejowe nie są bardzo szeroko rozpowszechnione w druku atramentowym. Najczęstsze zastosowania to znakowania i kodowania i drukowania opakowań [4].

4.4.9. Atramenty termosublimacyjne

Atramenty termosublimacyjne są stosowane w drukowaniu natryskowym pośrednim lub bezpośrednim. Na przykład, tkaniny z włókien syntetycznych (takich jak poliester, poliamid, trójoctany i materiały mieszane zawierające co najmniej 50% domieszki takich włókien) są zadrukowywane metodą drukowania natryskowego bezpośredniego lub pośrednio – za pomocą sublimacyjnego druku termotransferowego (najpierw uzyskuje się nadruk na papierze przedrukowym lub folii, a następnie w maszynie transferowej (kalander, prasa) w podwyższonej temperaturze nadruk w procesie sublimacji zostaje przeniesiony na tkaninę). Za pomocą drukowania termotransferowego można uzyskać nadruki na wyrobach wykonanych z materiałów polimerowych odpornych na działanie ciepła lub ceramicznych, metalowych i szklanych, zawierających specjalną powłokę polimerową, na przykład na kubkach.

Przykładowy skład atramentu termosublimacyjnego podano w tabeli 4.13. W postaci barwidła atramenty termosublimacyjne zawierają barwniki dyspersyjne (zwane zawiesinowe, a będące dyspersją laki powstałej przez strącanie barwnika) [30]. W procesie sublimacji następuje odparowanie barwnika z suchej warstwy nadruku, a następnie – dyfuzja par barwnika w głąb włókna lub specjalnej powłoki.

Tabela 4.13. Skład atramentu termosublimacyjnego

Składnik	Zawartość
Woda (podstawowy rozpuszczalnik)	30-95%
Barwnik zawiesinowy (cząsteczki o wymiarach 50-1000 nm)	1-10%
Dodatkowy rozpuszczalnik organiczny	4-40%
Środki powierzchniowo-czynne	0,01-5%
Środki bakteriobójcze	0,01-5%

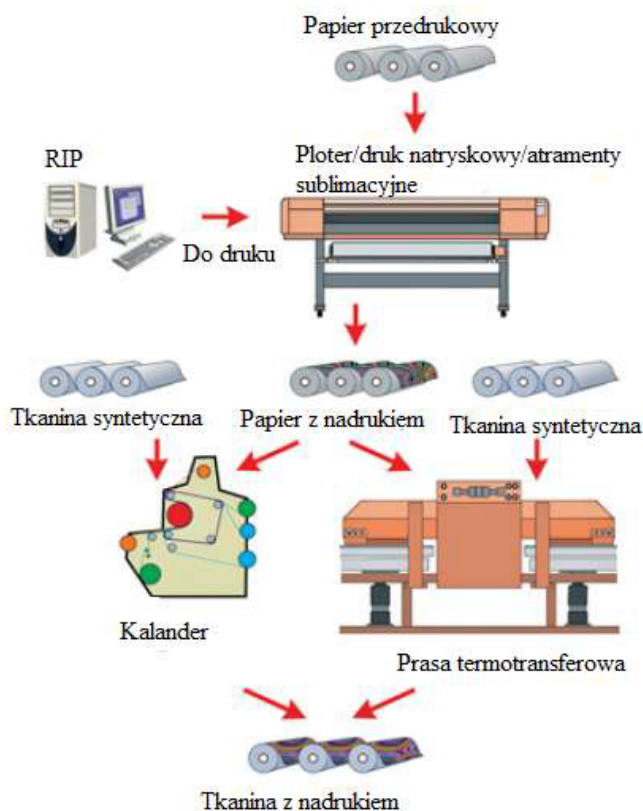
Źródło: [44].

Atramenty termosublimacyjne stosuje się w głowicach piezoelektrycznych. Oprócz odpowiednich właściwości reologicznych, których spełnienia wymaga głowica drukująca, posiadają następujące parametry: temperatura sublimacji: 170-200°C, współczynnik dyfuzji w temperaturze transferu rzędu 10^{-7} m²/s, prężność pary w temperaturze transferu rzędu 10^{-3} hPa. Właściwości poszczególnych barwników CMYK powinny być jak najbardziej zbliżone. Ma to istotny wpływ na ostrość przeniesionego obrazu nadruku [45].

Do zalet atramentów termosublimacyjnych można zaliczyć:

- uzyskanie ciągłych przejść tonalnych bez widocznych pojedynczych punktów, ponieważ nadrukowany atrament w warunkach podwyższonej temperatury zmienia swoją postać w gazową, w efekcie czego zostają rozmyte granice nadrukowanych punktów,
- dobra odporność na działanie czynników zewnętrznych (dobra światłotrwałość, odporność na ścieranie i in.).

Do wad należy zaliczyć większe koszty procesu drukowania takimi atramentami związane z koniecznością operacji obróbki termicznej (lub transferu w warunkach podwyższonej temperatury) i, ewentualnie, z dodatkowym kosztem papieru przedrukowego w procesie drukowania termotransferowego.



Rys. 4.40. Termosublacyjny druk transferowy na tkaninach

Źródło: Czajkin A.: *Strujnaja szirokoformatnaja pieczat po tkani* 2008. Naruzka.

Źródło: https://st.fl.ru/users/alexchaykin/upload/f_49411722975f5.pdf (03.03.2015).

4.4.10. Właściwości atramentów

Farby natryskowe powinny posiadać odpowiednie właściwości fizyczne, funkcjonalne i drukowe (tabela 4.14), 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 pojawienie się kropel-satelit. Wynikiem będzie pogorszenie się jakości nadruku. Różnice w wielkości kropli będą miały wpływ na zmianę nasycenia (gęstości optycznej), co będzie skutkowało zmianą barwy nadruku. W związku z tym, właściwości fizyczne farb natryskowych powinny być kontrolowane w celu zapewnienia stabilnego procesu drukowania i dobrej jakości nadruku.

Tabela 4.14. Zestawienie właściwości atramentu

Właściwości fizyczne	Właściwości drukowe	Właściwości funkcjonalne
Lepkość	Gęstość optyczna i barwa nadruku	Kompatybilność z głowica drukującą
Napięcie powierzchniowe	Stabilność nadruku barwy	Stabilność procesu wytwarzania kropeł
Wymiary cząsteczek	Jakość nadruku linii (rozmycie, strzępiastość)	Czystość mikrobiologiczna
Masa właściwa	Czas schnięcia /utrwalania	Brak zatykania dysz
Barwa	Światłotrwałość	Brak korodującego wpływu na elementy drukarki
Czystość chemiczna	Odporność na działanie wody	Długa żywotność
Przewodnictwo właściwe	Odporność na ścieranie	Niska toksyczność
pH	Kompatybilność z podłożem zadrukowywanym	

Źródło: [7, 30].

Tabela 4.15. Właściwości fizyczne atramentów w różnych technologiach druku natryskowego

Właściwości atramentu	Technologia ciągłego strumienia (CIJ) – jednokrotne odchylenie kropeł	Technologia ciągłego strumienia (CIJ) – wielokrotne odchylenie kropeł	Technologia kropli na żądanie – piezoelektryczna	Technologia Valve-Jet	Drukarki biurowe piezoelektryczne	Drukarki biurowe termiczne (TIJ)
Lepkość Pa·s	~ 0,0015	0,001-0,01	0,005-0,03	0,1	~ 0,0015	0,001-0,003
Napięcie powierzchniowe, [mN/m]	> 35	25-40	>32	> 24	>35	>35
Maksymalny wymiar cząsteczek [μm]	1	3	1	5	1	0.2
Przewodnictwo właściwe [mS]	Tak >500	Tak >1000	Nie	Nie	Nie	Nie

Źródło: [7].

Lepkość atramentów natryskowych powinna mieścić się w granicach do 0,02 Pa·s (oprócz technologii Valve-Jet), ale w niektórych rozwiązaniach dopuszcza się górną granicę lepkości do 0,03 Pa·s. Najlepszym zakresem napięcia powierzchniowego dla atramentów natryskowych jest zakres 25-60 mN/m. W przypadku atramentów pigmentowych pożądana wielkość cząsteczek pigmentu jest poniżej 0,5 μm , gdyż pozwala to uzyskać lepszą stabilność dyspersji oraz lepsze parametry jakościowe nadruku. W tabeli 4.15 przedstawiono wymagania stawiane atramentom w różnych technologiach druku natryskowego.

4.4.11. Inne rodzaje atramentów

Oprócz typowo poligraficznych zastosowań proces drukowania natryskowego jest bardzo rozpowszechniony w innych gałęziach przemysłu, m.in.: w procesach dekorowania szkła i wyrobów ceramicznych; w produkcji elektronicznych obwodów drukowanych; w procesach druku włókienniczego; w procesach druku 3D (prototypowanie i in.). W tak różnorodnych zastosowaniach stosowane są różne rodzaje atramentów o bardzo specyficznych właściwościach. Poniżej zostaną krótko omówione takie atramenty jak: ceramiczne, atramenty do drukowania elektroniki drukowanej, atramenty do drukowania na wyrobach włókienniczych.

Atramenty do drukowania wyrobów ceramicznych powszechnie zwane atramentami ceramicznymi stosuje się do dekorowania metodą druku natryskowego szkła i płytek ceramicznych. Atramenty takie zawierają w swoim składzie nieorganiczne pigmenty ceramiczne, frytę szklaną, rozpuszczalnik (organiczny lub wodę) lub mieszaninę rozpuszczalników, środki dyspergujące i dodatki. Atrament bez podkładu jest drukowany bezpośrednio na szkłe lub na szklawie płytek ceramicznych, łączy się z nim trwale podczas wypalania w piecu w wysokiej temperaturze (680-700°C w przypadku szkła i około 900-1200°C w przypadku płytek ceramicznych). W procesie wypalania atrament stapia się i staje się częścią szklawa lub szkła (rys. 4.41 i 4.42).

Atramenty ceramiczne stosowane w drukowaniu natryskowym powinny spełniać wymagania stawiane przez głowice drukujące – posiadać odpowiednią lepkość, napięcie powierzchniowe, minimalne wymiary cząsteczek i in. Z drugiej strony, żeby móc uzyskać intensywne barwy nadruku, pigmenty nieorganiczne muszą posiadać pewne uziarnienie. Uziarnienie charakteryzowane jest jako ściśle określony zakres średnicy zastępczej d_{50} . Uziarnienie jest charakterystyczną cechą fizyczną danego pigmentu i decyduje o intensywności barwy.

Pigmenty stosowane w atramentach ceramicznych charakteryzują się większym wymiarem cząsteczek, a zawartość składników stałych (pigmentów, fryty) też jest większa w porównaniu do zwykłych atramentów pigmentowych. Z tego powodu atramenty takie mogą wykazywać tendencję do osadzania się i sedymentacji. Problem ten producenci urządzeń natryskowych rozwiązali, tworząc głowicę drukującą specjalnej konstrukcji, która zapobiega osadzaniu się cząsteczek pigmentu wewnątrz głowicy, stosując inteligentne technologie filtrowania i wysysania powietrza oraz stosując system recyrkulacji atramentu. Na przykład, w urządzeniach firmy Durst system recyrkulacji Circular-Flow został tak zaprojektowany, że atrament cyrkuluje bezpośrednio za płytą z dyszami. Przy takim rozwiązaniu atrament nigdy nie skondensuje, nie wyparuje i nie będzie się osadzał, ponieważ zawsze przez dysze będzie pompowany świeży atrament pozbawiony mikropęcherzyków powietrza [46, 47].

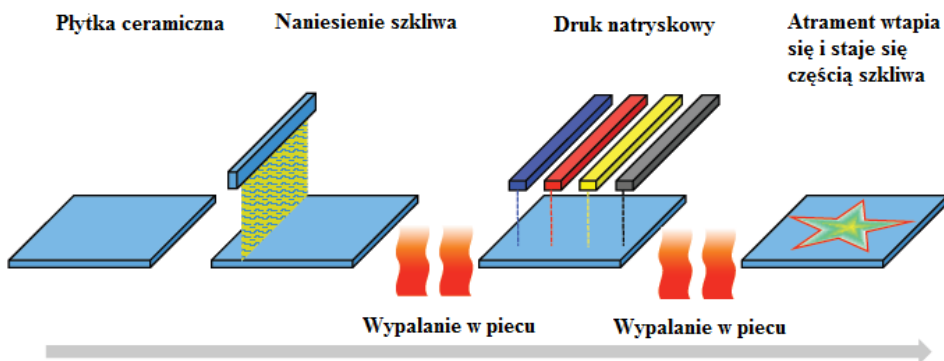
Oprócz tego właściwości atramentów powinny być stabilne w czasie. Zmiana dowolnego parametru może wpłynąć na zmianę barwy nadruku. Stabilność takich kluczowych parametrów, jak gęstość, lepkość i napięcie powierzchniowe atramentu uzyskuje się dzięki utrzymaniu atramentu w stałej temperaturze. Jest to konieczne we wszystkich kompozycjach atramentu tak na bazie zawiesziny cząstek stałych jak i związków metaloorganicznych w rozpuszczalnikach organicznych lub wodzie. W niektórych maszynach całe zbiorniki z atramentem są termostatowane, a w innych – tylko komory dysz lub tylko same dysze [46, 47].

W tabeli 4.16 przedstawiono producentów urządzeń drukujących do zadruku płytek ceramicznych.

Tabela 4.16. Producenci urządzeń drukujących do zadruku płytek ceramicznych

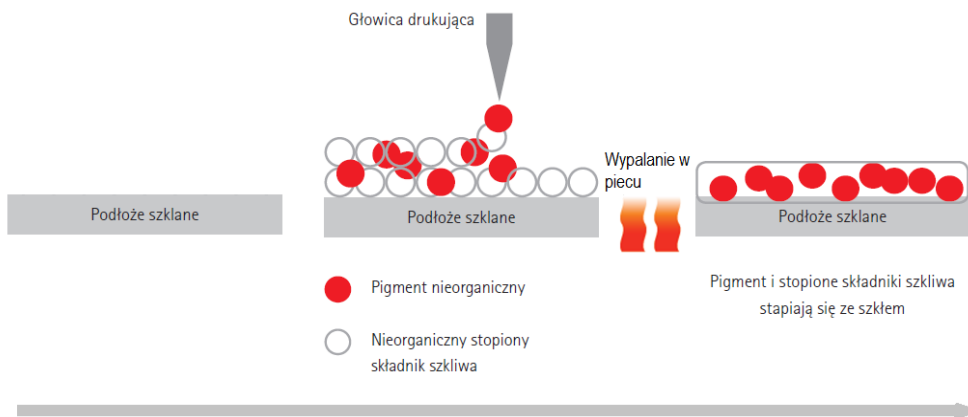
Producent	Głowica drukująca
Cretaprint (EFI) (Hiszpania/USA)	XAAR, TTEC
Cretaprint (EFI) (Hiszpania/USA)	XAAR, TTEC
Durst (Włochy)	Dimatix
Flora Runtianzhi (Chiny)	Dimatix
Hope (Chiny)	XAAR
Jetable (IL)	Dimatix
Kerajet (Hiszpania)	SII, XAAR, Dimatix
Meijia (Chiny)	Dimatix
New King (Chiny)	Dimatix
Projecta (Włochy)	XAAR
SACMI (Intesa) (Włochy)	XAAR
System (Włochy)	Dimatix
Teckwin (Chiny)	Dimatix
TecnoFerrari (Włochy)	XAAR
TSC (Włochy)	XAAR

Źródło: [48].



Rys. 4.41. Schemat procesu dekorowania płytek ceramicznych metodą druku natryskowego i atramentów ceramicznych

Źródło: *Ink Jet Ceramic Tile Printing Analysis – 2013. I.T. Strategies, June 2013*
http://www.proximusllc.com/uploads/2/8/5/8/2858892/ink_jet_ceramic_tile_printing_analysis_-_2013.pdf (08.08.2015).



Rys. 4.42. Schemat procesu dekorowania szkła metodą druku natryskowego i atramentów ceramicznych

Źródło: *opracowanie własne na podstawie: Rho Vetrocer 250. Cyfrowe systemy drukowania do dekoracji szkła i fasad. Broszura firmy Durst. http://www.durst.it/media/Rho_Vetrocer_250-IX201PL.pdf* (08.08.2015).

W atramentach ceramicznych w postaci barwidła mogą być stosowane:

- pigmenty mikronizowane – konwencjonalne pigmenty ceramiczne, ale w odróżnieniu od nich zmielone do wymiarów submikronowych (średnia średnica pomiędzy 0,2-0,6 μm , czyli od 200 do 600 nm),
- barwniki metalokompleksowe (tak zwane „sole rozpuszczalne”) oraz ulepszone „sole rozpuszczalne” zdolne do tworzenia w czasie wypalania drobnych cząsteczek pigmentu,
- zole metali szlachetnych o wymiarach cząsteczek zwykle poniżej 50 nm,

- nanopigmenty (o wymiarach 10-50 nm) syntezowane na bazie tlenków metali i metali koloidalnych.

Obecnie prawie cała produkcja atramentów natryskowych ceramicznych do dekoracji płytek ceramicznych opiera się na pigmentach mikronizowanych. Zawartość pigmentów w kompozycji atramentów ceramicznych wynosi około 5-25%, rozpuszczalnika około 60-70%, fryty – 20-35%, dodatków – 0,1-1% [49, 50].

W postaci rozpuszczalnika atramenty ceramiczne mogą zawierać wodę, alkohole, glikole, etery glikolu, estry, ketony, kwasy i węglowodory. Właściwości atramentu (tabela 4.17) w dużej mierze zależą od właściwości rozpuszczalnika i jako rozpuszczalniki najlepiej nadają się alkohole i etery glikolu [49].

Tabela 4.17. Właściwości atramentów ceramicznych stosowanych w urządzeniach natryskowych DOD

Zjawisko	Właściwości atramentu	Wymagania
Zatykanie dysz	wymiary cząsteczek pigmentu	średnica < 1 μm
Proces wytwarzania kropeł	napięcie powierzchniowe	20-45 mN/m
Zabrudzenie dysz		
Rozlewanie się atramentu na podłożu (płytkę ceramiczną)		
Wielkość i kształt kropli	lepkość	4-30 mPa·s
Penetracja atramentu w podłoże (płytkę ceramiczną)		
Dokładność pozycjonowania kropli na podłożu	gęstość	1.1-1.5 g·cm ⁻³
Działanie korodujące na elementy głowicy drukującej	pH	5 < pH < 10
Sedymentacja pigmentu	potencjał Zeta	±20 mV (atramenty na bazie wody)

Źródło: [49, 50, 51].

Atramenty do bezpośredniego druku materiałów włókienniczych. W bezpośrednim druku natryskowym na materiałach włókienniczych mogą być stosowane atramenty pigmentowe oraz barwnikowe – dyspersyjne, reaktywne i kwasowe. Każdy rodzaj atramentu jest stosowany do określonych rodzajów materiałów włókienniczych i oczywiście powinien spełniać wymagania głowic drukujących (posiadać odpowiednią lepkość, napięcie powierzchniowe i inne parametry). Oprócz tego, że uzyskany nadruk powinien charakteryzować się odpowiednią kolorystyką i stabilnością barwy nadruku, atramenty do zadruku tekstyliów powinny sprostać dodatkowym wymaganiom, takim jak: posiadać bardzo dobrą światłotrwałość,

odporność na działanie wody i dobrą przyczepność do podłoża, jak również wykazywać się nietoksycznością i stabilnością termiczną [52].

Tabela 4.18. Charakterystyka procesów bezpośredniego zadrukowania tekstyliów

Rodzaj atramentu	Rodzaj zadrukowanych włókien	Obróbka wstępna	Obróbka po druku
na bazie barwników reaktywnych	bawełniane, wiskozowe, wełniane i jedwabne	tak	obróbka parą i pranie
na bazie barwników kwasowych	jedwabne, wełniane, poliamidowe	tak	obróbka parą i pranie
dyspersyjne (do druku termotransferowego)	papier przedrukowy/ poliestrowe	nie	podwyższona temperatura
dyspersyjne (do druku bezpośredniego)	poliestrowe	tak	obróbka parą i pranie
na bazie pigmentów	większość włókien	nie	krótkotrwała obróbka ciepłem lub utrwalanie UV

Źródło: [52].

W metodzie drukowania bezpośredniego materiały syntetyczne i tkaniny mieszane są zadrukowywane za pomocą sublimacyjnych farb dyspersyjnych na ploterach natryskowych. Przed zadrukiem tkanina podlega obróbce – nanosi się specjalną warstwę, która odpowiada za lepsze zwilżanie tkaniny farbą (atramentem), a po zadruku – obróbce termicznej. Atramenty termosublimacyjne zostały opisane w rozdziale 4.4.9. Bezpośredni zadruk atramentami sublimacyjnymi w porównaniu do technologii pośredniej (termotransferowej) pozwala osiągać większe nasycenie nadruku, ze względu na to, że w metodzie termotransferowej część atramentu pozostaje po druku na papierze przedrukowym.

Przy bezpośrednim zadruku tkanin z włókien naturalnych używa się odpowiednich atramentów wodnych reakcyjnych lub kwasowych, które najlepiej wiążą się z tekstyliami na bazie włókien naturalnych. W tym przypadku również jest wymagana wstępna obróbka takich tkanin oraz odpowiednia obróbka po zadruku.

Ze względu na to, że atramenty pigmentowe nie wymagają wstępnej obróbki, a obróbka po druku polega na krótkotrwałym działaniu ciepła lub promieniowania UV, jak również i to, że można nimi drukować na szerokiej gamie podłoży, stają się one bardzo popularne. Atramenty pigmentowe są postrzegane jako przyszłościowy produkt, dlatego nadal trwają badania nad opracowaniem receptury pozwalającej na zwiększenie ich niezawodności i trwałości oraz nad zwiększeniem skali ich zastosowania. W tabeli 4.19 podano skład dwóch atramentów firmy Trident.

Tabela 4.19. Skład atramentów pigmentowych firmy Trident Industrial Inkjet

Składnik/parametr	Zawartość (%)	
	Atrament FabricFast™	Atrament FabricFast Ultra™
Pigmenty	1-20	}20-60
Związki organiczne	15-20	
Glikol dietylenowy	10	<20
Glicerol	10	-
Woda	balans	balans
pH	ok. 7	ok. 7
Lepkość	ok. 0,004 Pa·s	ok. 0,004 Pa·s

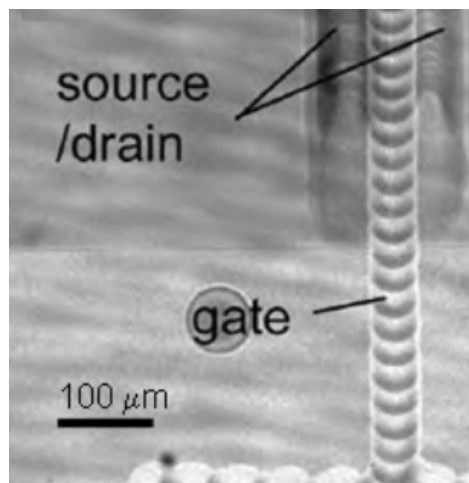
Źródło: [7].

Większość atramentów pigmentowych i barwnikowych jest produkowana jako atramenty wodne, a większość urządzeń drukujących posiada głowicę piezoelektryczną.

Atramenty elektroprzewodzące są stosowane w produkcji tzw. elektroniki drukowanej (Printed Electronics). Drukowanie natryskowe w zakresie produkcji elektronicznych obwodów drukowanych konkuruje z klasycznymi technikami drukowania (fleksografią, rotograwiurą, sitodrukiem). W porównaniu do klasycznych technik drukowania, jak również do technologii półprzewodnikowych (fotolitografii, naporowywania próżniowego itp.) w cyfrowym druku natryskowym osiąga się znaczne korzyści, przede wszystkim w wytwarzaniu produktów dostosowanych do indywidualnych potrzeb, zarówno z elastycznych, jak i wrażliwych materiałów. Znacznie niższy koszt zakupu urządzeń, tańsza eksploatacja i konserwacja oraz oszczędności materiałów (związane z minimalizacją odpadów w procesie drukowania) zwiększają opłacalność natryskowego druku elektroniki. Obecnie za pomocą drukowania natryskowego wytwarza się diody świecące OLED, z których są zbudowane wyświetlacze diodowe, anteny FRID, tranzystory, układy scalone, czujniki.

Rozdzielczość nadruku to problem, z którym mierzy się technika drukowania natryskowego. Wzór nadrukowany dla celów elektroniki drukowanej dla części zastosowań powinien charakteryzować się bardzo wysoką rozdzielczością i równomiernością uzyskanych elementów (na przykład nadrukowanych linii). Szerokość linii uzyskana w procesach fotolitografii wynosi około 50 nm. Współczesne przemysłowe głowice drukujące natryskowe pozwalają na nadruk linii o szerokości 10-20 μm , ale nawet w próbach laboratoryjnych uzyskanie szerokości nadruku 1 μm jest bardzo trudne. Z kolei rozdzielczość nadruku którą uzyskuje się w klasycznych technikach drukowania jest porównywalna – około 20-30 μm [33]. Nakładanie w procesie druku kropli

częściowo na wcześniej naniesioną kroplę powoduje kolejny problem – nierównomierności linii, co pogorsza charakterystyki pracy urządzenia.



Rys. 4.43. Widoczna nierównomierność nadrukowanej linii

Źródło: Magdassi S.: *The chemistry of inkjet inks*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2010, s. 312.

Atramenty elektroprzewodzące powinny spełniać wymagania stawiane przez głowice drukujące (posiadać odpowiednią lepkość, napięcie powierzchniowe i inne parametry), a ponadto powinny zapewniać dobrą przewodność elektryczną nadrukowanego wzoru.

Głównym składnikiem atramentów stosowanych do druku elektroniki jest bez wątpienia materiał przewodzący. Do atramentów dodaje się nanocząsteczki metali przewodzących, polimerów oraz związków węgla (nanorurek węglowych (CNT)). Duże znaczenie ma również spoiwo. Najczęściej jego rolę pełnią rozpuszczalniki organiczne (na bazie octanów, glikoli, itp.) lub woda. Obecnie opracowano i wciąż są opracowywane nowe kompozycje atramentów elektroprzewodzących.

Najbardziej rozpowszechnione są atramenty z zawartością nanoproszków metali, w tym srebra, które jest uważane za jeden z najlepszych metali przewodzących. Minusem jest wysoka cena atramentów na bazie srebra – dość drogie srebro stanowi bowiem od 20% do 80% zawartości. Z tego względu naukowcy prowadzą intensywne badania nad szerszym wykorzystaniem znacznie tańszej miedzi i aluminium. Chociaż substraty zawierające te metale są równie dobrymi przewodnikami jak srebro, ich stosowaniu nadal towarzyszy problem niekontrolowanego utleniania i dyfuzji. Jako rozpuszczalników w atramentach z nanoproszkami srebra stosowano: wodę; alkohole i inne rozpuszczalniki tlenowe, węglowodory, takie jak toluen;

cykloheksan. Jednakże najczęściej stosuje się mieszaniny różnych rozpuszczalników, takich jak woda/alkohole, woda/glikole lub mieszaniny wieloskładnikowe zawierające wodę, tlenowe rozpuszczalniki organiczne i glicerol. Kompozycję atramentów na bazie dyspersji nanocząsteczek metalicznych powinny być stabilne w czasie. W związku z tym, do składu atramentów dodaje się środki dyspergujące (stabilizatory), za zwyczaj polimerowe. Najczęściej stosuje się niejonowy polimer PVP (poliwinylopirolidon). W niektórych przypadkach kompozycje atramentów na podstawie nanocząsteczek metali zawierają różne dodatki, takie jak zwiłzacz, oraz promotor adhezji [53].

Nadruk uzyskany za pomocą atramentów na bazie nanocząsteczek srebra (lub innych metali) podlega termicznej obróbce (post print) – spiekaniu w temperaturze około 150-200°C. W trakcie takiej obróbki z nadruku usuwa się rozpuszczalnik i inne dodatki, zwłaszcza polimerowe środki dyspergujące, które izolują cząsteczki srebra, gdyż warunkiem dobrej przewodności nadrukowanego wzoru jest ścisły kontakt pomiędzy cząsteczkami metalu.

W ciągu ostatnich 10-15 lat, największe zastosowanie znalazły atramenty na bazie związków metaloorganicznych (MC) na bazie srebra. Takie atramenty posiadają tę zaletę, że nie wymagają termicznego utrwalania nadruku, jednocześnie zmniejszając czas utwardzania do kilku sekund.

4.5. Błędy w drukowaniu natryskowym

Mottling

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



Rys. 4.44. Mottling

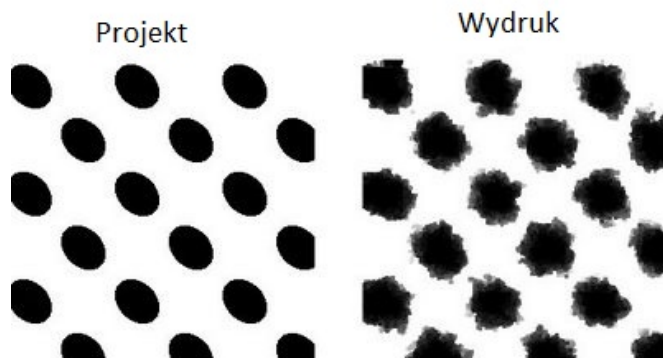
Źródło: Problemlösungskatalog Inkjet.

http://www.sihl.com/downloads/company/download/troubleshooting_guide-inkjet_d.pdf (02.02.2015).

Przyczyn występowania mottlingu można upatrywać w zróżnicowanej wielkości natryskiwanych kropeł atramentu lub w nierównomiernej chłonności podłoża drukowego [2].

Rozlewanie się atramentu (ang. *spreading*)

Termin ten odnosi się do rozprzestrzeniania się nadruku we wszystkich kierunkach poza zadany obszar [2].



Rys. 4.45. 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 Politechniki Łódzkiej, Łódź 2015 s. 14.

Strzępianie się (ang. *wicking, feathering*)

Opisuje rozprzestrzenianie się wydruku poza zamierzone ramy w formie pojedynczych kresiek, dających efekt nierównych, poszarpanych, linii [2].

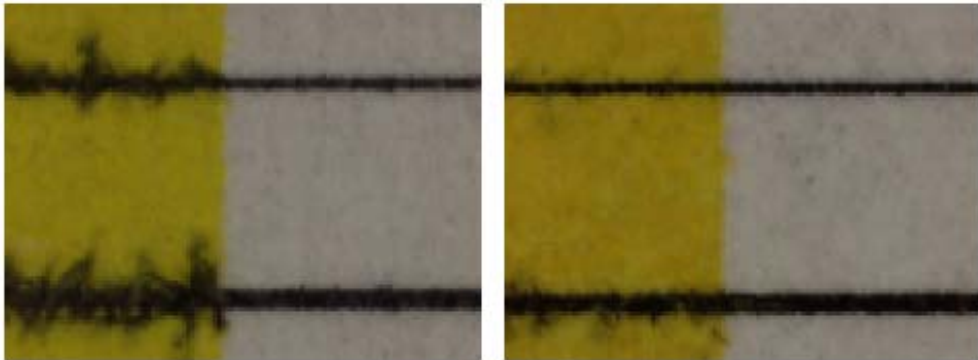


Rys. 4.46. Strzępianie się nadruku

Źródło: Klein R.: *Assessing the print quality of inkjet media*. *Mess- und Prüftechnik*, nr 6, 2007, s. 57.

Krwawienie (ang. *bleeding*)

O krwawieniu druku mówi się w momencie, kiedy na granicy dwóch nadrukowanych atramentów o różnych kolorach następuje ich wzajemne, niepożądane przenikanie. Najczęściej bleeding jest spowodowany mieszaniem się dwóch przylegających kropeł atramentu przed ich utwaleniem na podłożu, źródłem tego problemu może być zbyt niska chłonność podłoża lub niewystarczająca adhezja farby z podłożem [2].



Rys. 4.47. Przykłady 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. 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 nieutralizowanego atramentu przed jego wniknięciem w zadrukowywany materiał [2].

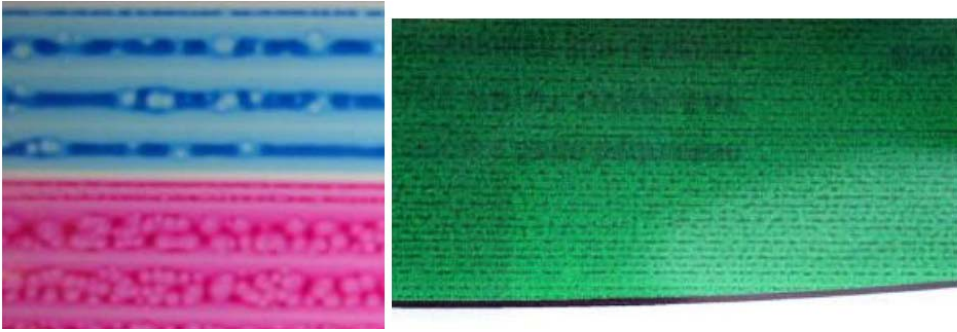


Rys. 4.48. Przykłady bandingu

Źródło: Rychter P.: *Analiza błędów w druku natryskowym na tworzywach sztucznych i sposoby ich eliminacji*, praca dyplomowa magisterska wykonana w Instytucie Papiernictwa i Poligrafii Politechniki Łódzkiej, Łódź 2015 s. 16.

Koalescencja (niejednorodność)

Niejednorodność powierzchni nadruku charakteryzująca się występowaniem zgrupowań kropeł atramentu.



Rys. 4.49. Przykłady koalescencji

Źródło: Problemlösungskatalog Inkjet.

http://www.sihl.com/downloads/company/download/troubleshooting_guide-inkjet_d.pdf (02.02.2015).

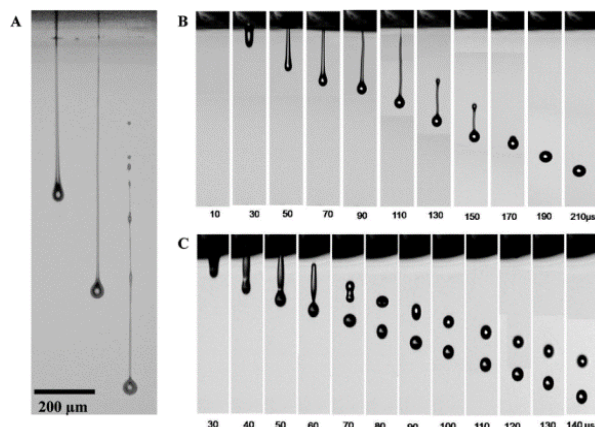
Efekt koalescencji powstaje w momencie kiedy nanoszone krople atramentu nie utrwalają się na czas. W wyniku tego łączą się w skupiska, które mają problem z wniknięciem w strukturę materiału i zostają utrwalone na jego powierzchni. Efekt ten może również potęgować wysoki stopień zaklejenia (niska chłonność) zadrukowywanego materiału [54].

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 [2].

Krople-satelity (ang. *satellite 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 [2].



Rys. 4.50. Mechanizm powstawania satelit

Źródło: Rychter P.: *Analiza błędów w druku natryskowym na tworzywach sztucznych i sposoby ich eliminacji, praca dyplomowa magisterska wykonana w Instytucie Papiernictwa i Poligrafii Politechniki Łódzkiej, Łódź 2015 s. 18.*

4.6. Perspektywy rozwoju w drukowaniu natryskowym

W ciągu ostatnich dwóch dekad postępujący rozwój technologiczny materiałów i głowic drukujących spowodował pojawienie się wielu produktów, które skutecznie przekształciły przemysł tak, by umożliwić masową personalizację druków z wykorzystaniem technologii cyfrowego druku natryskowego. Obecnie w sektorze druku natryskowego obserwuje się takie tendencje, jak:

- wzrost ilości modeli maszyn oraz producentów,
- rozwój i pojawienie się nowych technologii drukowania (np. nanografia),
- zwiększenie formatu zadruku do B2 i B1,
- zwiększenie rodzaju i grubości zadrukowanych podłoży, np. jest możliwy bezpośredni zadruk na kształtkach i tekturze falistej.

Sprzyjają temu również tendencje marketingowe producentów towarów. Marketing docelowy i dążenie do oszczędności w produkcji – to dwie tendencje, które powodują, że właściciele marek będą zamawiać produkty, na przykład etykiety i opakowania częściej, ale w małych nakładach. Dla drukarni oznacza to zwiększenie ilości prac małonakładowych, co techniką cyfrową jest bardziej opłacalne.

Trzeba zaznaczyć, że drukowanie natryskowe jeszcze nie dorównało klasycznym metodom drukowania pod kątem jakości i wydajności. W tabelach 4.20 i 4.21 przedstawiono porównanie techniki drukowania natryskowego z klasycznymi metodami drukowania. To, w jakiej sytuacji będzie się opłacać zastosowanie druku

natryskowego, będzie decydować konkretne rozwiązanie technologiczne dostępne na rynku i takie parametry jak jakość, koszty produkcji i produktywność.

Tabela 4.20. Porównanie metod drukowania natryskowego i klasycznego pod kątem wydajności

Technologia	Prędkość druku [m/s]	Jakość druku	Czas przygotowania do druku [min]	Odpady w postaci makulatury w trakcie narządu maszyny, liczba arkuszy
Drukowanie natryskowe DOD	1-3	+++	0	0
Drukowanie natryskowe CIJ	5	++	0	0
Offset	5	+++++	20	200
Fleksografia	5	+++	40	500
Rotograwiura	8	+++++	60	1000

Źródło: [11].

Tabela 4.21. Porównanie kosztów produkcji w różnych technikach drukowania

Technologia	Koszt farby	Koszt form	Zalety	Wady
Drukowanie natryskowe DOD	40 USD/kg	0	druk zmiennych danych	mała wydajność
Drukowanie natryskowe CIJ	25 USD/kg	0	druk zmiennych danych	ograniczenie rodzajów farb
Offset	10 USD/kg	100 USD	najbardziej rozpowszechniona technologia	zależność jakości nadruku od rodzaju papieru (najlepsza jakość na papierze powlekany)
Fleksografia	5 USD/kg	1000 USD	zadruk różnorodnych podłoży	większe straty zadrukowanego podłoża
Rotograwiura	5 USD/kg	10000 USD	duże nakłady	wysokie koszty produkcji

Źródło: [11].

Literatura

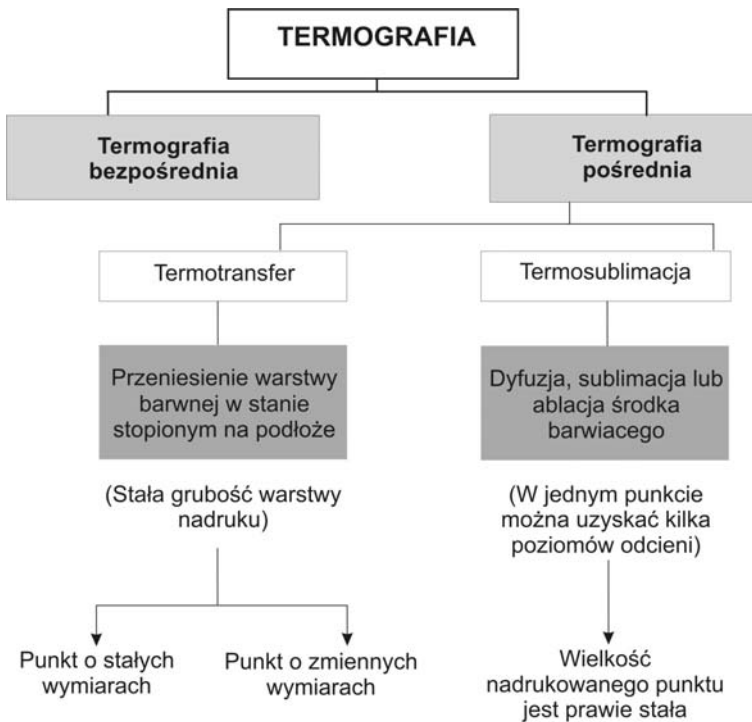
- [1] Wijshoff H.: The dynamics of the piezo inkjet printhead operation. [w:] *Physics Reports* 491 2010, ss. 77-177.
- [2] Rychter P.: Analiza błędów w druku natryskowym na tworzywach sztucznych i sposoby ich eliminacji, praca dyplomowa magisterska wykonana w Instytucie Papiernictwa i Poligrafii Politechniki Łódzkiej, Łódź 2015 ss. 10, 13-18.
- [3] Czichon H., Czichon M.: *Reprografia i drukowanie cyfrowe*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
- [4] Chichon H.: Natryskowe metody drukowania cyfrowego. *Przegląd Papierniczy* nr 7, 2006 ss. 377-381.
- [5] Le H.P.: *Progress and Trends in Ink-jet Printing Technology*. *Journal of Imaging Science and Technology*, Vol. 42, No. 1, January/February 1998.
<http://www.imaging.org/ist/resources/tutorials/inkjet.cfm> (10.08.2015).
- [6] Grabarczyk Z.: Drukarki cyfrowe. Kolejna rewolucja w drukarstwie włókienniczym. XXVIII seminarium polskich kolorystów „Tendencje rozwojowe technologii wykończalnych tekstyliów – rok po ITM-ie 2011”, Szczyrk 2012, ss. 71-90.
- [7] Momin N.H.: *Chitosan And Improved Pigment Ink Jet Printing On Textiles* A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. Textile Technology School of Fashion and Textiles Design and Social Context, RMIT University, March 2008.
- [8] Tseng F.-G.: *Microdroplet Generators*. *The MEMS Handbook*, Mohamed Gad-el-Hak, Ed., CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 2002.
- [9] Kuessel R.: Najnowsze rozwiązania wysoko wydajnych głowic i systemów ink jet wykorzystywanych do personalizacji druków. Konferencja Poligraficzna „Druk cyfrowy i okolice – nowe technologie, rozwiązania i możliwości”. Warszawa 2008, ss. 29-32.
- [10] Baur M.: Drukowanie atramentowe w wielkim formacie – technika i zastosowanie. Materiały III Konferencji Edukacyjnej „Technologie cyfrowe w procesach poligraficznych”, 22.05.2013, Międzynarodowe Targi Poznańskie „Poligrafia 2013”, COBR PP, 2013, ss. 13-19.
- [11] Castrejón-Pita J.R., Baxter W.R.S., Morgan J., Temple S., Martin G.D., Hutchings I.M.: *Future, Opportunities and Challenges of Inkjet Technologies*. <https://www.repository.cam.ac.uk/bitstream/handle/1810/244791/Castrejon-circulation.pdf?sequence=1> (02.03.2014).
- [12] Mark R.: *Print Quality Requirements for Single-Pass Inkjet Printing – the Whole Picture*. Xaar, 4.01.2015. <http://www.xaar.com/en/MediaDocuments/Print-quality-white-paper.pdf> (04.02.2016).
- [13] Burton J.: *Foundations of Inkjet Head Technology*. *The SGIA Journal*, No. 3-4, 2013, ss. 31-34. http://www.nxtbook.com/sgia/Journal/J_v17i2_2/index.php?startid=31#/34 (10.08.2015)
- [14] Océ Arizona 6100 Series UV flatbed printers.
https://csa.canon.com/online/wcm/connect/csa/ba9b5481-8080-4a6d-a7ce-87cc1d242069/Arizona_6100_Spec_Sheet.7.14.W.pdf?MOD=AJPERES (10.08.2015).
- [15] Edwards J.: Drukowanie ze zmienną wielkością kropli. *Poligrafika*, nr 4, 2009 ss. 48-50.
- [16] Baur M.: Zastosowanie najnowszych osiągnięć technologii druku cyfrowego w przemyśle opakowaniowym. *Druk cyfrowy i okolice – nowe technologie, rozwiązania i możliwości*. Konferencja Poligraficzna, 07.10. 2008, Warszawa, Polska Izba Druku, ss. 17-20.
- [17] Khadzhynova S.: *Cyfrowy druk natryskowy na Drupa 2012*. *Przegląd Papierniczy*, 2012, nr 6, ss. 365-367.

- [18] Heidelberg gotowit strujnik formata B1. <http://www.printdaily.ru/news/3398>
- [19] Wandelt P.: Wielkie premiery KBA przed Drupą. Przegląd Papierniczy, nr 4, 2012, s. 191.
- [20] 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 (30.08.2014)
- [21] Anapurna M2540 FB. http://www.spandex.com/Images/Anapurna_M2540FB_BROCHURE_tcm50-8016.pdf (04.02.2016)
- [22] Tonejet Today: An Update. InfoTrends 2012. http://www.tonejet.com/wp-content/uploads/2013/01/Tonejet_Update_InfoTrends_Jan2012.pdf (12.07.2015).
- [23] Hinterkopf Captures InterTech Technology Award. Friday, August 15, 2014 <http://whattheythink.com/news/69876-hinterkopf-captures-intertech-technology-award/> (12.05.2015).
- [24] UV Digital Cylindrical Printer Model CP100. <http://www.inxinternational.com/cpevolve/cp100brochure.pdf> (12.07.2015).
- [25] Khadzhynova S., Havenko S., Proć O.: Opakowania metalowe i metody ich drukowania. Opakowanie, nr 2, 2016, ss. 54-59.
- [26] Leahey B.: Brewing in Belgium: KHS & Martens Brouwerij Ramp Up „Direct-to-Shape” Printing. August 19, 2015. <http://blog.infotrends.com/?p=19867#more-19867> (04.02.2016) <http://www.printdaily.ru/articles/2627>.
- [27] Szapinowa N.: Ubijcy etykietok – kto oni. <http://www.printdaily.ru/articles/2627> (02.04.2014).
- [28] Kipphan H.: Handbuch der Printmedien. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2001.
- [29] Czajkowski W.: Nowoczesne barwniki dla włókiennictwa. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2006.
- [30] 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.
- [31] Niewodne dyspersje pigmentowe z użyciem synergetyków dyspersji. Agfa-Gevaert, Mortsel, BE, 2013. Patent PL/EP 2316888.
- [32] Łużny W.: Fizyka Miękkiej Materii. Notatki z wykładu. WFiIS AGH Kraków 2007. <http://www.ftj.agh.edu.pl/doc/pl/dyd/fmmwyklad.pdf> (09.08.2015).
- [33] Magdassi S.: The chemistry of inkjet inks. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2010.
- [34] Capsulated Colorant, Method of Preparing the Same, Ink Composition Including the Capsulated Colorant. Samsung Electronics Co., Ltd.(2011). Patent US 20110046295 A1. <http://www.google.com.ar/patents/US20110046295> (10.08.2015).
- [35] Khadzhynova S.: Nowe atramenty w druku natryskowym. Przegląd Papierniczy, nr 4, 2012 ss. 203-206.
- [36] Czichon H.: Farby fotoutwardzalne w różnych technikach drukowania. Świat Druku nr 12, 2011, ss. 29-32.
- [37] Wszystko o technologii UV. Przewodnik techniczny. Świat Druku, część I-VII nr 6-12, 2005; część VIII-XI nr 1-4, 2006.
- [38] 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 (10.08.2015).

- [39] Kida P.: Druk inkjet atramentami UV – technologia, maszyny, zalety i wady (2009)<https://www.signs.pl/druk-inkjet-atramentami-uv--technologia,-maszyny,-zalety-i-wady,8407,artykul.html>
- [40] Phase Change Inks Containing Crystalline Trans-Cinnamic. Xerox (2013), patent US 20130131226 A1.
- [41] Solid or Phase Change Inks with Improved Properties. Xerox Corporation (2012), Patent US 20120227621 A1.
- [42] Pekarovicova A., Bhide H., Paul D. Fleming, Pekarovic J.: Phase Change Inks, *Journal of Coatings Technology*, 75, No. 936, January, 2003, ss. 65-72.
- [43] Phase change inks containing crystalline trans-cinnamic. Xerox (2013), patent US 20130131226 A1.
- [44] Sublimation inks for thermal inkjet printers using thermally stable dye particles. Hong Kong Applied Science and Technology Research Institute Company Limited, Patent US 20120162332 A1.
- [45] Teodorczyk J.: Technologia i urządzenia do druku transferowego. *Świat druku*, nr 1, 2005. http://www.teba.pl/pliki/2005_01.pdf (10.08.2015).
- [46] Rho Vetrocer 250. Cyfrowe systemy drukowania do dekoracji szkła i fasad. Broszura firmy Durst. http://www.durst.it/media/Rho_Vetrocer_250-IX201PL.pdf (10.08.2015).
- [47] Ceramic Inkjet Inks. DIP-TECH LTD (2015), US 20150015638 A1. <http://patents.justia.com/patent/20150015638> (10.08.2015).
- [48] Ink Jet Ceramic Tile Printing Analysis - 2013. I.T. Strategies, June 2013 http://www.proximusllc.com/uploads/2/8/5/8/2858892/ink_jet_ceramic_tile_printing_analysis_-_2013.pdf (10.08.2015).
- [49] Dondi M., Blosi M., Gardini D., Zanelli C., Zannini P.: Ink technology for digital decoration of ceramic tiles: an overview. www.qualicer.org (10.09.2015).
- [50] Ink composition for decorating non-porous substrates. Torrecid (2014), S.A., Patent EP 2818523 A1. <http://google.com/patents/EP2818523A1?cl=zh-cn> (10.08.2015).
- [51] Dondi M., Blosi M., Gardini D., Zanelli C.: Ceramic pigments for digital decoration inks: an overview. *cfi/DKG*, 89, 2012, E59-E64 http://www.researchgate.net/publication/267764582_Ceramic_pigments_for_digital_decoration_inks_An_overview (10.08.2015).
- [52] Ryall H.: An Exploration of Digital Technology over a Number of Manipulated Textile Surfaces. A thesis submitted to the University of Huddersfield in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. School of Art, Design & Architecture University of Huddersfield, 2010. <http://eprints.hud.ac.uk/8798/1/hryallfinalthesis.pdf> (10.08.2015).
- [53] Kamyshny A., Steinke J., Magdassi S.: Metal-Based Inkjet Inks for Printed Electronics, *The Open Applied Physics Journal*, 2011, Vol. 4, ss. 19-36. <http://benthamopen.com/contents/pdf/TOAPJ/TOAPJ-4-19.pdf> (10.08.2015).
- [54] Problemlösungskatalog Inkjet. http://www.sihl.com/downloads/company/download/troubleshooting_guide-inkjet_d.pdf (10.08.2015).

5. DRUKOWANIE CYFROWE TERMOGRAFICZNE

Do drukowania termograficznego należą sposoby drukowania, w których obraz na podłożu wytwarza się przy działaniu ciepła bezpośrednio na podłoże lub na środek barwiący, znajdujący się na nośniku pośrednim (folii barwnej). Dlatego metody drukowania cyfrowego termograficznego można podzielić na bezpośrednie metody termograficzne (ang. *thermal direct*) i metody termograficzne pośrednie. Z kolei metody termograficzne pośrednie dzielą się na metody transferowe lub termotransfer (ang. *thermal transfer* lub *phase change*) i metody termosublimacyjne (ang. *thermal transfer dye diffusion*) [1, 2].

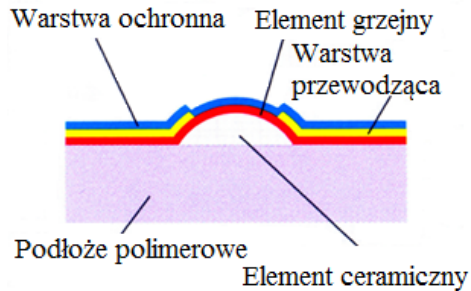


Rys. 5.1. Podział cyfrowych technik drukowania termicznego

Źródło: Kipphan H.: *Handbuch der Printmedien*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2001, s. 733.

5.1. Głowice drukujące

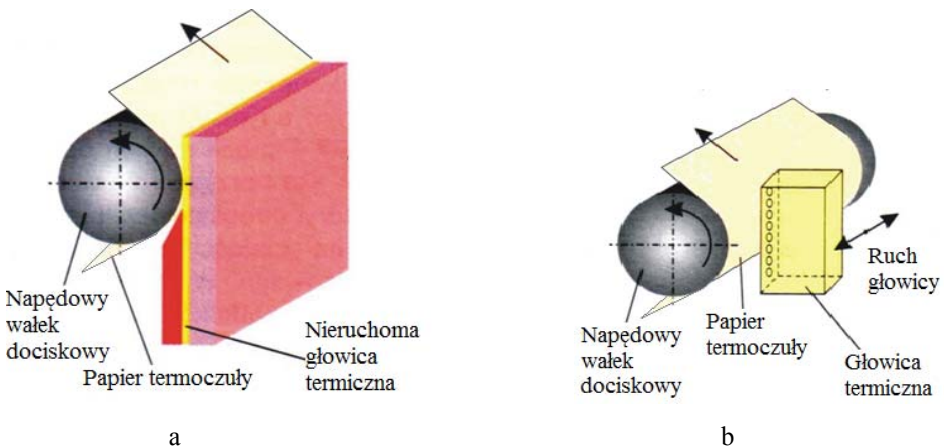
Źródłem ciepła w cyfrowym druku termograficznym jest głowica składająca się z oporowych elementów grzejnych sterowana cyfrowo lub głowica na bazie lasera IR. Maksymalna rozdzielczość głowicy drukującej na bazie oporowych elementów grzejnych wynosi 300 dpi. Głowica drukująca wykorzystująca laser IR posiada rozdzielczość około 3000 dpi [3].



Rys. 5.2. Schemat termicznej głowicy drukującej

Źródło: Buczyński L.: *Technologie druku termicznego i ich tendencje rozwojowe. Świat Druku*, nr 7-8, 2000, s. 36.

Głowice na bazie oporowych elementów grzejnych mogą być nieruchome, wtedy szerokość takiej głowicy równa się szerokości zadruku (typu Single Pass) lub ruchome – przesuwają się w poprzek zadrukowywanego podłoża (typu Scannig Head).



Rys. 5.3. Nieruchoma a) i ruchoma b) głowice drukujące

Źródło: Buczyński L.: *Technologie druku termicznego i ich tendencje rozwojowe. Świat Druku* nr 7-8, 2000, s. 36.

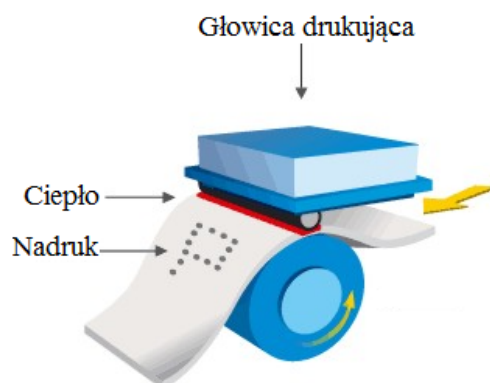
Główce nieruchome są stosowane w większości cyfrowych urządzeń termograficznych (do druku kart plastikowych, etykiet, zdjęć i in.), a główce ruchome są stosowane w niektórych prostych rejestratorach oraz urządzeniach wielkoformatowych (ploterach) [3].

W trakcie drukowania elementy grzejne są zasilane impulsowo sygnałami elektrycznymi, a wydzielane w nich ciepło powoduje powstanie barwnego obrazu w papierze termoczułym lub przeniesienie warstwy barwnej z folii barwnej na podłoże zadrukowywane. Brak zasilania elementu grzejnego spowoduje niepowstanie obrazu graficznego na podłożu.

Elementy grzejne mają skończone wymiary i to właśnie ogranicza rozdzielczość głowicy do wielkości około 300 dpi. Elementy oporowe mogą być zastąpione wiązką lasera IR, co umożliwi zwiększenie rozdzielczości przy drukowaniu termotransferowym lub terosublimacyjnym do 2540 dpi. Głowicę termiczną na bazie lasera IR zastosowano w drukarce termotransferowej, która jest częścią cyfrowego systemu do wykonania odbitek próbnych Kodak Approval.

5.2. Termografia bezpośrednia

W przypadku metody drukowania termicznego bezpośredniego jest stosowany specjalny papier termoczuły, rzadziej folia polimerowa. Obecnie około 75% wszystkich papierów termoczułych stanowią papiery dla druku paragonów (ang. *point of sales*, *POS*) oraz do faksów, a poza tym papiery termoczułe mają dużo innych zastosowań. Taki papier zawiera związki (barwniki) bezbarwne, które pod wpływem ciepła rozkładają się i tworzą związki o innym zabarwieniu. Przykładem może być papier z warstwą stearynianu żelaza. Papier ten przesuwany jest pod głowicą termiczną.



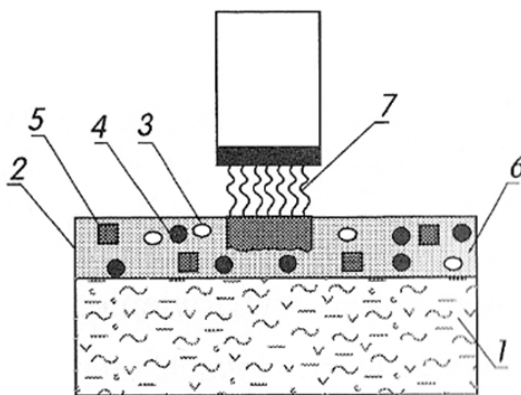
Rys. 5.4. Powstanie obrazu w trakcie drukowania termicznego bezpośredniego

Źródło: <http://www.sisprint.ru/razlpech/> (10.02.2016).

W miejscach nagrzewanych następuje rozkład stearynianu żelaza do czarnogranatowego żelaza metalicznego, i powstaje czarnogranatowy rysunek. Istnieją papiery termoczulłe zawierające kilka związków termoczulłych, z których każdy rozkłada się w innej temperaturze z wytworzeniem obrazu o innej barwie.

W papierze termoczulłym na podłożu znajduje się specjalna powłoka składająca się z barwnika lub kilku barwników, wywoływacza i aktywatora. Stosowane są barwniki bezbarwne, które pod wpływem ciepła rozkładają się z wytworzeniem związków o innym zabarwieniu. Powszechnie stosowanymi substancjami barwotwórczymi, stosowanymi w papierach termoczulłych, są leukozwiązki i laktony, czyli bezbarwne postacie barwników organicznych. Najczęściej stosowane pochodne 3-aminofluoranu. W podwyższonej temperaturze, w wyniku reakcji fluoranów z substancją wywołującą o charakterze kwasowym, następuje przemiana wewnątrzcząsteczkowa i tworzy się barwna postać substancji w miejscach, gdzie została doprowadzana energia cieplna.

Środki wywołujące – substancje stałe, które w podwyższonej temperaturze (bliskiej ich temperaturze topnienia) tworzą środowisko kwaśne, pod wpływem którego bezbarwne substancje barwotwórcze przechodzą w postać barwną. Dobierane są takie wywoływacze, w których aktywność kwasowa występuje w zakresie 80-140°C. Najczęściej stosuje się bisfenole (pochodne dihydroksyfenylometanu) [4].



Rys. 5.5. Zasada powstania obrazu w papierze termoczulłym: 1 – podłoże papierowe, 2 – powłoka, 3 – substancja barwotwórcza, 4 – wywoływacz, 5 – aktywator, 6 – środek wiążący i pigmenty, 7 – głowica termiczna

Źródło: Drzewińska E., Rogaczewski Z.: *Technologia celulozy i papieru. Powierzchniowe uszlachetnianie papieru*. Warszawa 1997, s. 133.

Cyfrowe drukarki termograficzne (na bazie druku bezpośredniego) są powszechnie stosowane w wielu urządzeniach rejestrujących, w których głowica termiczna (złożona z mikrorezystorów) wytwarza obraz na termoczułym papierze. Drukarki termograficzne na bazie druku bezpośredniego są stosowane:

- w medycynie (np. EKG),
- nauce, technice (kalkulatory),
- komunikacji (drukowanie biletów),
- kasach fiskalnych,
- przenośnych zestawach inkasenckich,
- parkomatach,
- są także stosowane jako drukarki etykiet (w liniach automatycznego paczkowania, w wagach samoobsługowych) kodów kreskowych,
- w telefaksach.

Takie urządzenia drukujące są dwójakiego rodzaju: wykonane jako drukarki wolnostojące lub przeznaczone do zabudowy w danym przyrządzie. Do ich zalet można zaliczyć: prostą konstrukcję, niską cenę, małe zużycie energii elektrycznej (mogą pracować na zasilaniu bateryjnym).

Jakość druku klasycznych drukarek termicznych jest ograniczona, stopień zaczernienia (zabarwienia) obrazu zależy od zastosowanego papieru, od parametrów zasilania elementów grzejnych i stabilności przesuwu papieru termoczułego. Krawędzie elementów obrazu często są postrzępione i rozmazane. Rozdzielczość obrazu wynosi maksymalnie 300 dpi ze względu na stosowanie głowicy termicznej na bazie oporowych elementów grzejnych.

Druki uzyskane w klasycznych drukarkach termicznych mają ograniczony termin żywotności i wymagają przechowywania w ściśle określonych warunkach termicznych (do temperatury 45°C – wymaganie według firmy Seiko) oraz wilgotnościowych (45-65% wilgotności względnej). Papier termoczuły o zwiększonej żywotności opracowała firma Jujo Thermal (Finlandia). Papiery te zwykle mają 10-letnią gwarancję na stabilność obrazu, pod warunkiem właściwego przechowywania, choć oferują również większą stabilność obrazu w bardziej wymagających warunkach. Gatunki papierów do trwałych paragonów są zalecane w przypadku paragonów gwarancyjnych i fiskalnych, kuponów zniżkowych, wydruków tachografów, rachunków stacji paliwowych i we wszystkich zastosowaniach tam, gdzie wydruk ma być przechowywany przez dłuższy czas. Gatunki najbardziej wytrzymałe zapewniają skutecznie

trwały obraz z gwarancją na 25 lat. To powoduje, że mają zastosowanie tam, gdzie wydruki mają być archiwizowane przez dłuższy czas [3, 5].

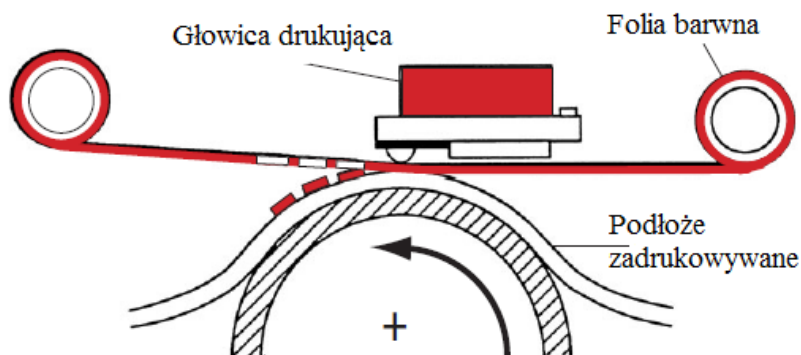
Bezpośredni druk termiczny ze względu na prostotę rozwiązań drukarek i ich ekonomiczność nie jest wypierany przez inne technologie w szeregu zastosowań w małych drukarkach [6, 7].

5.3. Termotransfer

Metoda cyfrowego drukowania termotransferowego wywodzi się od klasycznej metody zadrukowywania termotransferowego tkanin. Najstarsza, stosowana od XIX wieku metoda barwienia tkanin polega na przenoszeniu wzoru z papieru zadrukowanego farbą, w skład której wchodzi barwnik i niskotopliwy składnik wiążący, na przykład wosk. Przenoszenie wzoru z papieru na materiał odbywa się w stanie stopionym pod wysokim ciśnieniem rzędu 3.5 MPa. Następnie przeniesiony barwnik jest utrwalany [8]. Obecnie podobnym sposobem nanoszone są wzory na ubrania, np. koszulki, w specjalnych prasach transferowych. W tym celu na specjalnym papierze silikonowym z warstwą termotopliwą nanosi się nadruk (np. metodą druku natryskowego), a następnie nadrukowane wzory przenoszone na wyrób włókienniczy w prasie przy temperaturze ok. 165°C. W tych sposobach obraz w całości przechodził ze specjalnego podłoża papierowego na materiał zadrukowywany.

W cyfrowych sposobach drukowania termotransferowego odbywa się selektywne, punktowe działanie ciepła (zgodnie z oryginałem cyfrowym) wytwarzanego przez elementy głowicy drukującej na folię barwną (ang. *ribbon*), którą rozmieszcza się pomiędzy głowicą drukującą a podłożem zadrukowywanym. Stosuje się specjalną folię (inaczej kalkę lub taśmę) barwną termoczułą, która składa się z podłoża poliestrowego lub papierowego, na które z jednej strony jest naniesiona warstwa barwna termotopliwa, a drugiej – warstwa ochronna. Zasada powstawania obrazu jest następująca: pod głowicą znajduje się papier z folią, pod wpływem temperatury warstwa barwna topi się i zostaje przeniesiona z folii na papier. Proces ten powtarzany jest dla każdego koloru. Warstwa termoczuła zawiera warstwę wosku z barwnikiem lub warstwę specjalnych stałych farb na bazie żywic termotopliwych. Obraz nadrukowany w ten sposób będzie się charakteryzował widoczną regularną nierównością krawędzi linii czy punktu rastrowego ze względu na niską rozdzielczość głowicy na bazie oporowych elementów grzejnych. Warstwa nadruku znajduje się na powierzchni podłoża (podobnie jak w procesie laminacji) i charakteryzuje się równomiernym intensywnym pokryciem. W przypadku głowic na bazie

lasera nierównomierność krawędzi nie będzie widoczna. Oprócz folii barwnych kolorowych, w tej metodzie jest możliwe również stosowanie specjalnych folii barwnych, np. z pigmentami metalicznymi.



Rys. 5.6. Schemat cyfrowego druku termotransferowego

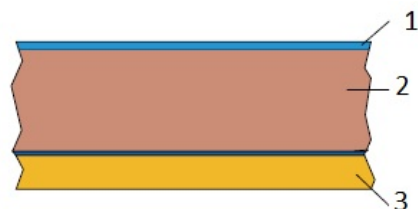
Źródło: Kipphan H.: *Handbuch der Printmedien*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2001, s. 733.



Rys. 5.7. Część powiększonego nadruku wykonanego za pomocą drukowania termotransferowego

Źródło: http://prado.consilium.europa.eu/PL/glossaryPopup_files/image026.jpg (23.11.2014).

Duży wpływ na jakość nadruku w urządzeniach termotransferowych ma folia barwna. Takie właściwości folii barwnej, jak: transfer warstwy barwnej na podłoże; adhezja warstwy barwnej do różnych rodzajów podłoża zadrukowywanych, odporność na działanie różnych czynników mechanicznych i chemicznych, gęstość optyczna nadruku będą zależały od składu warstwy barwnej. Warstwa barwna może różnić się procentową zawartością wosków, żywicy, barwnych pigmentów (w przypadku koloru czarnego – sadzy) oraz różnych dodatków.



Rys. 5.8. Skład folii barwnej termotransferowej: 1 – warstwa ochronna, 2 – podłoże (folia poliestrowa), 3 – warstwa barwna termotopliwa

Źródło: Kipphan H.: *Handbuch der Printmedien*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2001, s. 732.

Silikonowa warstwa ochronna zapobiega stopieniu się podstawowej warstwy poliestrowej w trakcie drukowania, zmniejsza ładunek elektrostatyczny folii oraz ułatwia przewijanie się folii w trakcie drukowania.

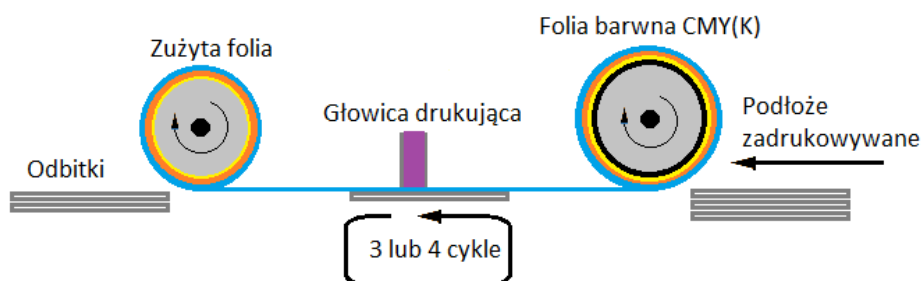
Ze względu na skład chemiczny warstwy barwnej, folie barwne można podzielić na trzy podstawowe grupy:

1. Folie woskowe (*wax*) do wykonywania nadruków na etykietach papierowych, ale takie nadruki nie są odporne na działanie rozpuszczalników i czynników fizycznych.
2. Folie woskowo-żywiczne (*wax/resin*) do wykonywania trwałych nadruków na papierze i niektórych podłożach z tworzywa sztucznego. Uzyskuje się nadruk odporny na ścieranie oraz średnio odporny na działanie rozpuszczalników.
3. Folie żywiczne (*resin*) do wykonywania trwałych nadruków na etykietach wydrukowanych na podłożach (foliach, taśmach) z tworzywa sztucznego, a uzyskany nadruk jest odporny na ścieranie i czynniki chemiczne.

Jakość nadruku będzie z jednej strony zależęć od rozdzielczości głowicy drukującej, prędkości, docisku i temperatury podgrzania elementów głowicy w trakcie drukowania, rodzaju folii barwnej, a z drugiej – od właściwości podłoża zadrukowanego [9].

Urządzenia drukujące termotransferowe do druku wielobarwnego mogą być zbudowane na bazie jednej sekcji drukującej (z jedną głowicą drukującą) oraz na bazie kilku (np. czterech CMYK) sekcji drukujących, każda posiada swoją głowicę drukującą. W przypadku urządzeń z jedną sekcją drukującą na folii barwnej mogą znajdować się bardzo cienkie linie (równoległe do długości taśmy) trzech (CMY) lub czterech (CMYK) podstawowych kolorów. Proces drukowania polega na przenoszeniu z folii barwnika z linii pierwszego podstawowego koloru, bocznym przesunięciu folii względem podłoża i przeniesieniu barwnika z linii drugiego koloru itd., aż do uzyskania odbitki wielobarwnej. Zazwyczaj drukowane są punkty barw

podstawowych w kolejności: Y, M, C, K. Może być inne rozwiązanie folii barwnej, na której znajdują się nałożone obok siebie pola np. formatu A4 w podstawowych kolorach. Jak w poprzednim przypadku najpierw drukuje się pierwszy kolor na formacie A4, przesuwa się folię i na tym samym formacie drukuje się następny kolor itd., aż do uzyskania odbitki wielobarwnej. Ostatnia metoda jest najczęściej stosowana, ale takie urządzenia drukujące są przeznaczone do zadrukowania określonego formatu podłoża. Często takie urządzenia drukujące łączą obydwie technologie drukowania termicznego pośredniego, tak przy zadruku kart plastikowych metodą termtransferową są drukowane dane tekstowe, a termosublimacyjną – zdjęcia i ilustracje.



Rys. 5.9. Sposób drukowania wielobarwnego na bazie jednej głowicy drukującej
Źródło: własne.



Rys. 5.10. Folia barwna dla drukowania termotransferowego

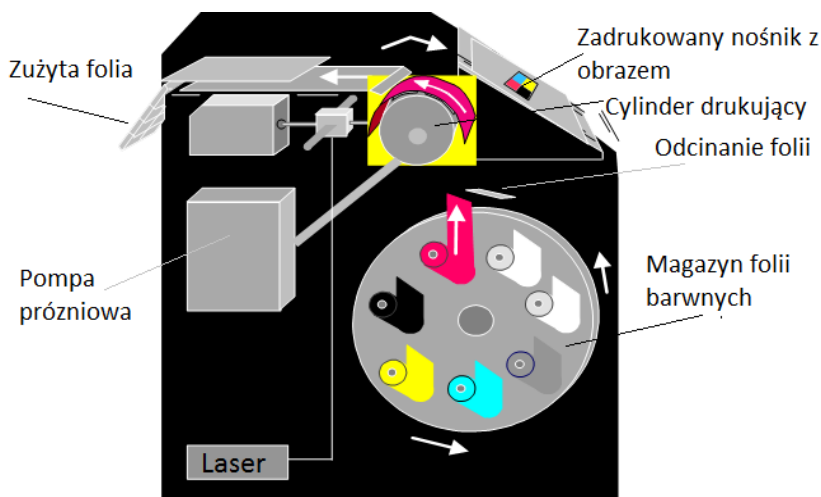
Źródło: <http://www.quill.com/datacard-dye-sublimation-thermal-transfer-ribbon-for-sp75-printer-ymckt-kt/cbs/443033.html> (02.02.2016).

W urządzeniach wielosekcyjnych każda z sekcji drukujących jest wyposażona w folie innego koloru (np. CMYK), a podłoże przechodzi po kolei pod wszystkimi czterema głowicami drukującymi.

Technika cyfrowego drukowania termotransferowego jest stosowana:

- do drukowania etykiet, metek, kodów kreskowych,
- do wykonania odbitek próbnych,
- do zadrukowywania kart plastikowych (często w połączeniu z termosublimacją),
- do drukowania wielkoformatowego i in.

System cyfrowych odbitek próbnych Kodak Approval opiera się na zastosowaniu technologii druku termotransferowego. W skład systemu wchodzi: urządzenie drukujące termotransferowe o rozdzielczości 2400 dpi lub 2540 dpi z głowicą drukującą na bazie lasera IR, laminator oraz stacja robocza (komputer z oprogramowaniem). Wysoka rozdzielczość urządzenia termotransferowego pozwala na odwzorowanie struktury rastrowej przyszłej odbitki. W pierwszej kolejności w urządzeniu drukującym na specjalnym podłożu nośnym uzyskuje się nadruk wielobarwny.



Rys. 5.11. Drukujące urządzenie termotransferowe systemu Kodak Approval

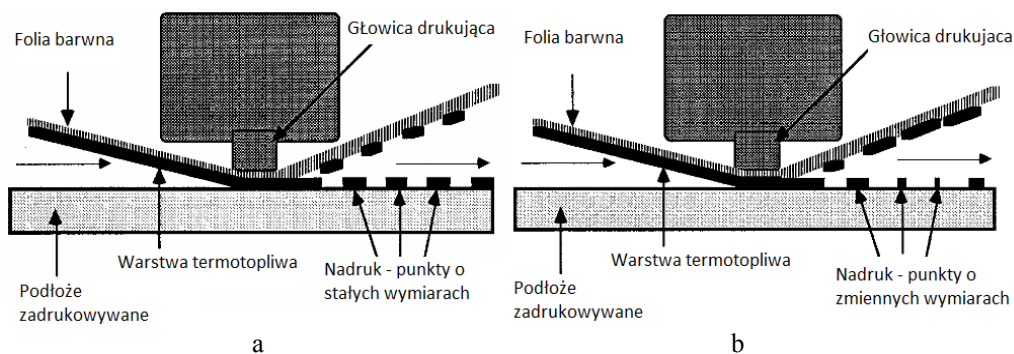
Źródło: materiały firmy Scorpio.

W tym celu na początku na cylindrze drukującym mocuje się podłoże nośne, a na niego nakłada się folię barwną. Za pomocą głowicy drukującej na bazie lasera IR powstaje nadruk pierwszego koloru. Następnie usuwa się zużyta folię barwną i nakłada się kolejną. Cykl powtarza się tyle razy ile folii potrzeba do wykonania odbitki. Ta metoda drukowania cyfrowego pozwala na wykorzystanie folii o specjalnych barwach i folii z efektem metalicznym, co doskonale nadaje się do wykonania odbitek próbnych dla sektora opakowaniowego, gdzie często są stosowane uszlachetnienia w postaci tłoczenia folii na gorąco. W następnej kolejności w laminatorze w warunkach

podwyższonej temperatury i docisku uzyskany nadruk przenosi się na podłoże nakładowe. W taki sposób odbitki próbne uzyskuje się na papierze nakładowym.

Na urządzeniach wielkoformatowych (ploterach) również można oprócz zestawu CMYK stosować szeroki zakres folii o barwach dodatkowych i o efekcie metalicznym. Takie urządzenia pozwalają na drukowanie małych nakładów etykiet i opakowań w tym próbnych partii opakowań. Przykładem takiego urządzenia jest ploter termotransferowy firmy Summa Seria Summa DC, który dodatkowo jest wyposażony w bardzo szybką głowicę tnącą, co umożliwia cięcie konturowe przy drukowaniu etykiet samoprzylepnych [10].

W cyfrowym drukowaniu termotransferowym jest możliwy również termotransfer punktów różnej wielkości (ang. *Variable Dot Thermal Transfer, VDT*). W tym wariancie druku termotransferowego, sterując ilością podawanego ciepła, można przenosić różną ilość farby, przy czym jej grubość będzie stała, a uzyskuje się zmienną wielkość przeniesionego punktu. Metoda ta nie znalazła szerokiego zastosowania [11].



Rys. 5.12. Termotransfer punktów o stałych wymiarach a) oraz o zmiennych wymiarach b)

Źródło: Nathan M. Moroney, Stephen Viggiano J.A.: *Color Imaging Using Variable Dot Thermal Wax Transfer*. http://www.acolyte-color.com/papers/CIC_02.pdf (02.02.2016).

Metoda cyfrowego druku termotransferowego pozwala uzyskiwać obrazy wielotonalne na bazie punktów rastrowych. Jakość druku termotransferowego przy odpowiednim doborze taśmy barwiącej, papieru i sterowania mechanizmu drukującego jest dobra. Szybkość drukowania w urządzeniach na bazie jednej sekcji drukującej (a takich urządzeń na rynku jest większość) nie jest duża ze względu na wielokrotne przechodzenie podłoża względem głowicy. Przy tym wymagane jest bardzo precyzyjne działanie zespołu prowadzenia podłoża. Poszczególne punkty barwne muszą trafiać dokładnie w żądane miejsca (pasowanie kolorów).

Ze względów ekonomicznych (małej wydajności) metoda nie jest stosowana do drukowania większych nakładów.

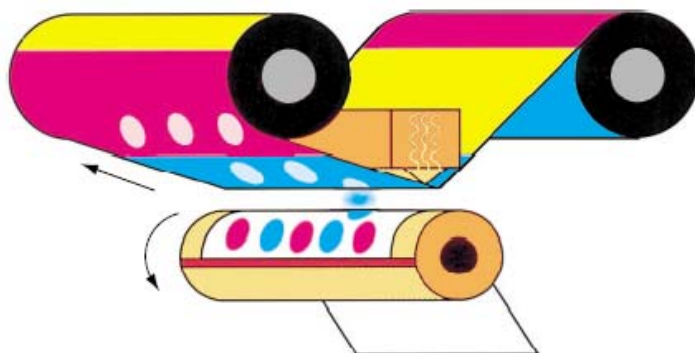
5.4. Termosublimacja

Cyfrowy druk sublimacyjny wywodzi się z przemysłowej metody *sublistatic*, którą stosuje się do zadrukowania tkanin poliestrowych. Polega ona na zadrukowaniu papieru, powleczonego specjalną warstwą, farbami (w drukowaniu klasycznym) lub atramentami (w drukowaniu natryskowym) sublimacyjnymi. Atramenty te w określonej temperaturze mają zdolność sublimacji, czyli przechodzenia ze stanu stałego w stan gazowy. W tej temperaturze materiał, z którego wykonany jest wyrób docelowy, absorbuje odparowany barwnik. Do zadruku papierów metodą natryskową stosuje się plotery, najczęściej z głowicami piezoelektrycznymi pozwalającymi na drukowanie czterema lub więcej kolorami. Termosublimacja uprzednio wydrukowanego obrazu na podłożu papierowym następuje w kolejnym etapie w specjalnych prasach lub kalandrach w warunkach podwyższonej temperatury. Metody cyfrowego drukowania termosublimacyjnego w odróżnieniu od procesów analogowych (sublimacja obrazu wydrukowanego na pośrednim podłożu/papierze) polegają na punktowym przeniesieniu barwnika z folii barwnej na podłoże za pomocą głowicy termicznej sterowanej cyfrowo [12].

W cyfrowym druku termosublimacyjnym też jest stosowana folia barwna, ale w odróżnieniu od poprzedniej metody, zawiera ona specjalne barwniki dyspersyjne, a przeniesienie warstwy barwnej na podłoże odbywa się z wykorzystaniem zjawiska sublimacji, a nie stapiania. Różni się również efekt uzyskanego w taki sposób nadruku. Przeniesiony barwnik wnika w podłoże lub specjalną warstwę absorpcyjną znajdującą się na podłożu. W tej metodzie ilość przeniesionego barwnika na podłoże zależy od temperatury podgrzania warstwy barwnej. Wyższa temperatura (od 100 do 400°C) powoduje przeniesienie większej ilości barwnika, pozwala to uzyskać 256 odcieni w jednym punkcie (w przypadku głowicy na bazie oporowych elementów grzewczych – 300 dpi, 8 bit na kolor). Dla uzyskania wysokiej jakości nadruku wymagana jest specjalna powłoka powierzchni podłoża.

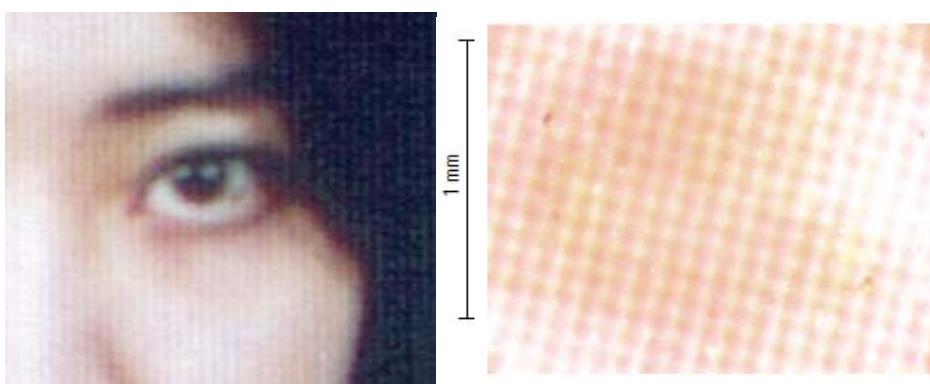
Uzyskany nadruk charakteryzuje się płynnymi przejściami tonalnymi, bez widocznych granic punktu rastrowego. Jakość nadruku jest fotograficzna. Metoda termosublimacji jest stosowana do drukowania zdjęć i przy zadrukowaniu kart plastikowych (razem z drukowaniem termotransferowym). Metoda ta jest jedną

z metod stosowanych do integracji danych personalnych (wizerunku) podpisu z podłożem przy produkcji dokumentów osobowych.



Rys. 5.13. Schemat drukowania termosublimacyjnego

Źródło: Kipphan H.: *Handbuch der Printmedien*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2001, s. 733.



Rys. 5.14. Fragment powiększonej odbitki wykonanej metodą drukowania sublimacyjnego

Źródło: http://prado.consilium.europa.eu/PL/glossaryPopup_files/image103.jpg (23.11.2015).

Urządzenia do druku termotransferowego i termosublimacyjnego są produkowane w różnych wersjach i formatach (formatu odpowiadającego kartom plastikowym czy formatu drukowanych zdjęć). W jednym urządzeniu mogą być połączone te dwie metody – nadruk czarny wykonuje się metodą termotransferową, a nadruk wielobarwny – metodą druku termosublimacyjnego. Ze względu na fakt, że podczas drukowania niezależnie od rzeczywistego krycia powierzchni zużywane są zawsze cztery pełnoformatowe wycinki folii barwiącej, koszty materiałowe w technologii drukowania termosublimacyjnego (i termotransferowego również) są dość wysokie.

Literatura

- [1] Jakucewicz S., Khadzhynova S.: Sposoby zabezpieczania dokumentów. Monografie Politechniki Łódzkiej, Łódź 2015.
- [2] Kipphan H.: Handbuch der Printmedien. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2001.
- [3] Buczyński L.: Technologie druku termicznego i ich tendencje rozwojowe. Świat Druku nr 7-8, 2000, ss. 36-41.
- [4] Drzewińska E., Rogaczewski Z.: Technologia celulozy i papieru. Powierzchniowe uszlachetnianie papieru. Warszawa 1997.
- [5] „Sekretny przepis” na trwały papier termiczny. Poligrafika, nr 12, 2006, ss. 50-51.
- [6] Thermal Printing Market to Grow to \$40.9 Billion by 2019.
<http://www.smitherspira.com/news/2014/september/thermal-printing-market-growth-2019> (15.05.2016).
- [7] Holcomb N.: Direct Thermal Printing Costs Less, Best for Short-Term Use, may, 2014. <http://www.systemid.com/learn/direct-thermal-printing-great-short-term-use/> (15.05.2016).
- [8] Sobolewski W., Kula M.: Druk transferowy. Świat Druku, nr 6, 2000, ss. 28-30.
- [9] Havenko S., Menzyska N., Khadzhynova S.: Ocena jakości nadruku uzyskanego w technice druku termotransferowego na etykietach i metkach odzieżowych. Przegląd Papierniczy, nr 9 (69), 2013, ss. 481-485.
- [10] Summa DC5. <http://ploterytnace.agraf.com.pl/produkt/summa--dc5.html> (10.02.2016).
- [11] Nathan M. Moroney, Stephen Viggiano J.A.: Color Imaging Using Variable Dot Thermal Wax Transfer. http://www.acolyte-color.com/papers/CIC_02.pdf
- [12] Teodorczyk J.: Technologia i urządzenia do druku transferowego. Świat Druku, nr 1, 2005, ss. 32-35.

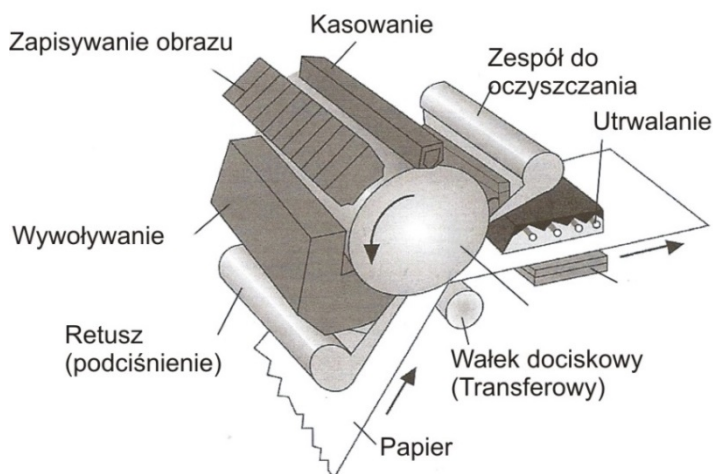
6. MAGNETOGRAFIA

Zasada magnetografii polega na wykorzystaniu cylindra z warstwą magnetyczną na powierzchni którego zostaje zapisany obraz utajony, za pomocą pola magnetycznego. Magnetografia posiada wyjątkową zaletę – obraz utajony magnetyczny nie jest „ulotny” (chyba, że wystawiony na działanie sił pola magnetycznego). To znaczy, że z reguły istnieje możliwość, aby zapisany obraz utajony wywoływać i przenosić na podłoże zadrukowywane tak często, jak chcemy, bez ponownego zapisywania, co pozwala na większą szybkość drukowania.

Proces drukowania magnetograficznego obejmuje następujące etapy:

- Wytworzenie utajonego magnetograficznego obrazu w warstwie magnetycznej za pomocą głowicy elektromagnetycznej (zapisującej) sterowanej komputerem. Głowica jest wykonana w postaci listwy i składa się z szeregu modułów zbudowanych z kilkuset elektromagnesów. Impulsy magnetyczne generowane przez głowicę tworzą małe pola na ścieżce warstwy magnetycznej cylindra.
- Wywołanie obrazu za pomocą proszku ferromagnetycznego (o właściwościach magnetycznych). Proszek przyczepia się tylko do elementów namagnesowanych.
- Retusz obrazu za pomocą magnetycznego ostrza czyszczącego lub (a czasami jednocześnie) za pomocą specjalnych dysz podciśnieniowych. Celem tej operacji jest usunięcie tonera rozproszonego, który zanieczyszcza obraz.
- Przeniesienie obrazu na zadrukowywane podłoże (pośrednio lub bezpośrednio). Odbywa się pod wpływem docisku. Przenosi się około 60% proszku. Za pomocą pola elektrycznego można zwiększyć tę ilość do 80-85%.
- Utrwalenie obrazu – termiczne przy temperaturze około 50°C.

Utajony obraz po zadruku nie zanika i można uzyskać z niego wiele odbitek. Jeśli trzeba zmienić obraz, powierzchnia cylindra jest oczyszczana z pozostałości proszku wywołującego oraz odmagnesowana. W celu wytworzenia kolejnego obrazu cały proces powtarza się [1, 2].



Rys. 6.1. Podstawowe etapy w drukowaniu magnetograficznym

Źródło: *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses. Océ Printing Systems GmbH, 2006. s. 65.*

Cylinder magnetyczny składa się z rdzenia niemagnetycznego wykonanego z brązu lub aluminium i kilku warstw:

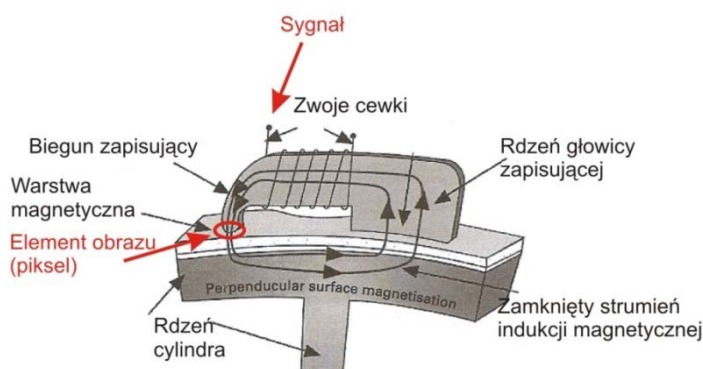
- miękkiej warstwy magnetycznej (wykonanej ze stopu żelaza z niklem) o grubości 50 μm ;
- twardej warstwy magnetycznej (wykonanej ze stopu kobaltu z niklem) o grubości 25 μm ;
- warstwy ochronnej wykonanej z węgliku chromu lub węgliku molibdenu, która zwiększa żywotność cylindra.

6.1. Zapisywanie i wywoływanie obrazu magnetograficznego

Zapisywanie utajonego obrazu magnetograficznego odbywa się za pomocą głowicy zapisującej, składającej się z kilku linijek mikroelektromagnesów. Głowica taka jest rozmieszczona równoległe do tworzącej cylindra magnetycznego. Elektromagnesy w kolejnych linijkach przemieszczone względem siebie, co zwiększa rozdzielczość głowicy. Głowica posiada budowę modułową, każdy moduł składa się z 336 elektromagnesów, a gęstość ich ułożenia (rozdzielczość głowicy) wynosi 250 elektromagnesów na cal (250 dpi). Pojedynczy elektromagnes składa się z rdzenia ferromagnetycznego z nawiniętymi zwojami cewki. Dwa końce rdzenia elektromagnesu tworzą bieguny pola magnetycznego. Posiadają one różną szerokość, zapisywanie obrazu odbywa się za pomocą wąskiego bieguna (rys. 6.2). Pole magnetyczne wytwarza się w momencie przepływu prądu przez cewkę, a gdy prąd

przestaje płynąć – pole zanika. Za pomocą bieguna zapisującego, przy przyłożeniu napięcia, na powierzchni cylindra magnetycznego (w warstwie stopu kobaltu z niklem) wytwarza się pole namagnesowane.

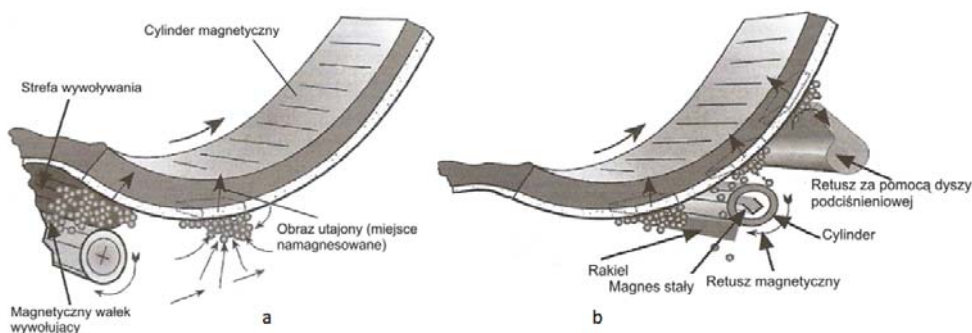
Cylinder obraca się i wytworzony obraz magnetyczny przenosi się do sekcji wywoływania. Proces wywoływania odbywa się za pomocą tonera jednoskładnikowego o właściwościach magnetycznych. Zawartość związków ferromagnetycznych w takim tonerze jest wyższa w porównaniu do tonerów elektrofotograficznych.



Rys. 6.2. Elektromagnes głowicy zapisującej

Źródło: *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses. Océ Printing Systems GmbH, 2006, s. 65.*

Zespół wywołujący, podobnie jak w urządzeniach elektrofotograficznych, składa się z pojemnika z tonerem i wywołującego wałka magnetycznego. Toner w trakcie wywoływania jest selektywnie przyciągany do miejsc namagnesowanych.



Rys. 6.3. Etapy wywoływania a) i retuszu b) obrazu magnetograficznego

Źródło: *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses. Océ Printing Systems GmbH, 2006, ss. 66, 67.*

Część tonera może również osadzić się poza miejscami namagnesowanymi, ale jego przyczepność jest słaba. Usuwa się go za pomocą ostrza (rakla) czyszczącego. Dodatkowo w trakcie tej operacji usuwa się toner z krawędzi elementów drukujących, co prowadzi do zwiększenia ostrości krawędzi tych elementów. Usunięty toner odprowadza się za pomocą specjalnych dysz podciśnieniowych. Możliwy jest retusz tylko za pomocą dysz podciśnieniowych [1].

6.2. Przenoszenie i utrwalanie obrazu

Następnie cylinder z obrazem tonerowym jest przenoszony do sekcji przenoszenia obrazu na podłoże zadrukowywane. W sekcji przenoszenia papier dociska się do cylindra magnetycznego. Cząsteczki tonera wciskają się w papier i w taki sposób obraz tonerowy przenosi się na podłoże. W celu zwiększenia współczynnika przenoszenia tonera pomiędzy cylindrem magnetycznym a wałkiem dociskowym wytwarza pole elektryczne. W tym przypadku toner tuż przed przeniesieniem ma być naładowany za pomocą wyładowania koronowego, a po etapie przeniesienia kolejny korotron rozładowuje go. Odwrotna strona papieru w strefie przenoszenia zastaje naładowana za pomocą korotronu lub wałka pod napięciem. Pozwala to zwiększyć współczynnik przenoszenia tonera do 80-85%.

Pozostały na cylindrze toner usuwa się za pomocą rakla i dysz podciśnieniowych, a utajony obraz magnetyczny jest kasowany za pomocą głowicy elektromagnetycznej, do której jest przykładane napięcie zmienne.

Obraz na podłożu jest utrwalany za pomocą ciepła. W tym celu używa się jednej lub kilku lamp ksenonowych (metoda Flash Fusing). Możliwa jest metoda kombinowana z wykorzystaniem lamp ksenonowych i dodatkowo płyty podgrzewającej odwrotną stronę papieru do ok. 130°C.

6.3. Cyfrowe maszyny drukujące firmy Nipson

Cyfrowe maszyny drukujące magnetograficzne są produkowane przez firmę Nipson i przeznaczone do wysokowydajnego drukowania czarno-białego z wysokim obciążeniem miesięcznym. Obecnie w ofercie firmy są maszyny VaryPRESS i DIGIFlex. Ze względu na niską temperaturę utrwalania (zespół utrwalający na bazie lamp ksenonowych), która wynosi ok. 45-50°C, można drukować na foliach z tworzyw sztucznych.

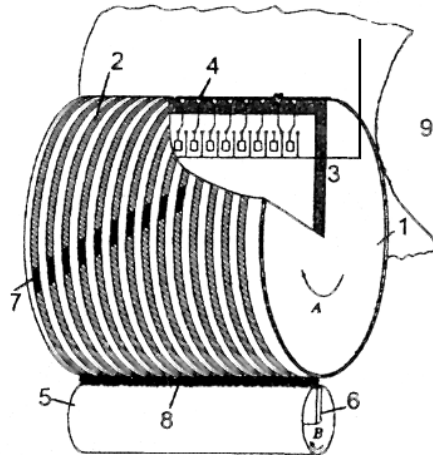
Tabela 6.1. Wybrane parametry cyfrowych maszyn magnetograficznych firmy Nipson

Parametr	Vary-PRESS	VaryPRESS z opcją wysokiej wydajności:		DIGI-Flex	DIGI-Flex z opcją wysokiej wydajności	DIGI-Flex TED
		do 125 [m/min]	do 150 [m/min]			
Rozdzielczość [dpi]	600			600		
Wydajność, [m/min]	do 105	do 125	do 150	30-81.7	do 104	30-81.7
Papier	składanka komputerowa w zwoju			zwojowy papier perforowany		
Szerokość zadrukowanego podłoża [mm]	do 520 (podłoże w postaci zwoju)			do 520 (papier perforowany)		
Gramatura zadrukowanego podłoża [g/m ²]	40-240			64-160		

Źródło: [3, 4].

6.4. Technologia Océ DI

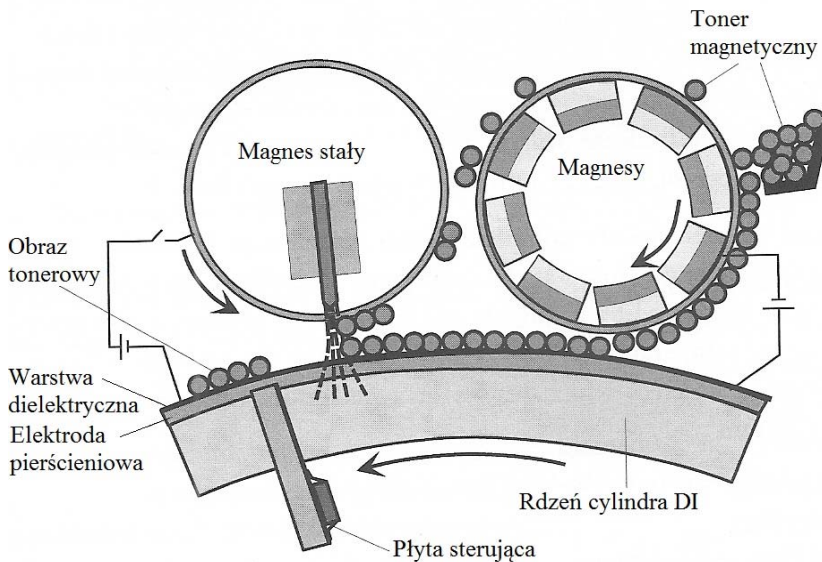
Technologię bezpośredniego zapisywania obrazu – Direct Imaging (DI) – firma Océ opracowała na bazie procesu magneto-stylus firmy 3M. W technologii DI obraz tonerowy na powierzchni cylindra obradującego wytwarza się dzięki działaniu sił pola elektrycznego, utrzymującego toner na powierzchni cylindra obrazującego (DI) w miejscach drukujących oraz sił pola magnetycznego, usuwającego toner z powierzchni cylindra. Schemat jednokolorowego zespołu drukującego na bazie tej technologii przedstawiono na rysunku 6.4. Zespół drukujący składa się z cylindra obrazowego wyposażonego w elektrody pierścieniowe umieszczone w warstwie dielektryka oraz dwóch wałków wywołujących. Pierwszy z tych wałków jest standardowym wałkiem magnetycznym, który po doprowadzeniu określonego napięcia umożliwia tworzenie na powierzchni dielektryka jednolitej warstwy jednoskładnikowego tonera magnetycznego.



Rys. 6.4. Zespół drukujący Océ DI: 1 – cylinder DI, 2 – elektrody pierścieniowe, 3 – elementy sterujące, 4 – warstwa dielektryczna, 5 – wałek wywołujący (usuwający toner), 6 – magnes, 7 – obraz tonerowy, 8 – toner, 9 – podłoże zadrukowywane

Źródło: Uarowa R.: *Osnovy cyfrowej pieczati. Konspekt lekcij. Moskwa, MGUP, im. Iw. Fiodorowa, 2011. <http://hi-edu.ru/e-books/xbook1004/01/part-004.htm> (02.02.2016).*

We wnętrzu drugiego wałka znajduje się stały, nieruchomy magnes, który generuje pod kątem prostym do powierzchni wałka silne, zlokalizowane pole magnetyczne. W obszarze wpływu tego pola magnetycznego toner jest całkowicie usuwany z powierzchni cylindra DI i transportowany z powrotem do pierwszego wałka.



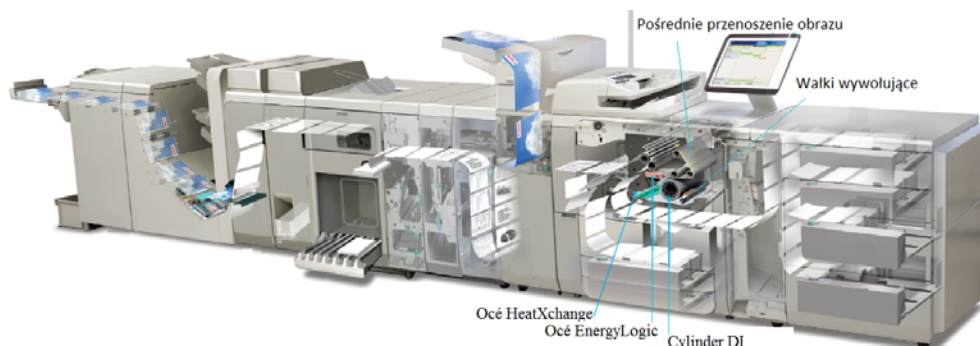
Rys. 6.5. Schemat procesu wytworzenia obrazu w technologii Océ DI

Źródło: *Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses. Océ Printing Systems GmbH, 2006, s. 243.*

W celu utworzenia obrazu na cylindrze DI jest przykładane napięcie do elektrod pierścieniowych. W obszarze tworzonego obrazu siły pola elektrycznego, utrzymujące toner na powierzchni cylindra są większe w stosunku do sił pola magnetycznego, usuwających toner z powierzchni cylindra DI i toner zostaje na cylindrze. W miejscach niedrukujących toner całkowicie usuwa się z powierzchni cylindra. Powstanie obrazu na cylindrze DI jest wynikiem działania sił pola magnetycznego i elektrycznego, jednocześnie działających na toner. Rozdzielczość w kierunku tangencjalnym (wzdłuż elektrod pierścieniowych) jest określana trwaniem napięcia obrazującego w połączeniu z polem magnetycznym. Rozdzielczość w kierunku poprzecznym jest określana liczbą elektrod na jednostkę długości cylindra DI (w poprzek elektrod pierścieniowych) [2].

Technologia Océ DI została zrealizowana w serii maszyn do drukowania wielobarwnego z pośrednim przenoszeniem obrazu Océ CPS, które obecnie nie są produkowane. Rozwinięciem technologii DI jest technologia Océ DirectPress, którą zrealizowano w najnowszych maszynach do drukowania czarno-białego Océ VarioPrint 135/120/110 (obecnie Canon VarioPrint) z pośrednim przeniesieniem obrazu.

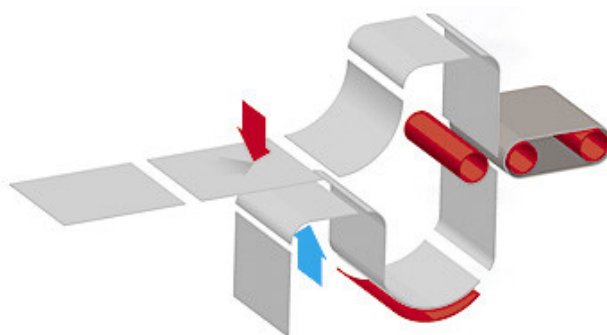
W linii Océ DirectPress są dostępne trzy szybkości mechanizmu: 135, 120 i 110 odbitek A4 na minutę. Technologia ta charakteryzuje się bardzo wysoką stabilnością drukowania. Zapewnia to stałą jakość kolejnych wydruków, bez smug, pasów i innych wad właściwym odbitkom elektrofotograficznym. Oprócz tego niska temperatura utrwalania umożliwia zadruk szerokiej gamy podłoży [5].



Rys. 6.6. Maszyna CanonVarioPrint 135/120/110

Źródło: *Excellence in Black and White Production VarioPRINT 110/120/135 Series.*
http://bryansryan.ie/media/wysiwyg/pdf/Canon_VarioPrint_Brochure.pdf (02.02.2016).

W urządzeniach Océ DirectPress wprowadzono energooszczędne rozwiązanie HeatXchange, dzięki któremu ciepło użyte do utrwalenia tonera, od odbitek utrwalonych, zostaje częściowo przeniesione do nowych arkuszy wprowadzanych do zespołu drukującego. Taki recykling ciepła pozwala ograniczyć zużycie energii o przynajmniej 30% w porównaniu z innymi systemami tej klasy. Urządzenia VarioPrint DP mają najniższy współczynnik TEC (typowego zużycia energii) na rynku systemów średnionakładowych.



Rys. 6.7. Wymiana ciepła pomiędzy odbitkami utrwalonymi, a nowymi arkuszami kierowanymi do sekcji utrwalania

Źródło: *Excellence in black and white production varioPRINT 110/120/135 series*.
http://bryansryan.ie/media/wysiwyg/pdf/Canon_VarioPrint_Brochure.pdf (02.02.2016).

Oprócz tego, w urządzeniach zastosowano technologię EnergyLogic, która pozwala utrzymywać produktywność procesu drukowania na wysokim poziomie. Umożliwia ona ciągły proces drukowania przy zadruku podłoży o różnej gramaturze, dopasowując, w trybie automatycznym, wydajność procesu [6, 7].

Literatura

- [1] Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses. Océ Printing Systems GmbH, 2006.
- [2] Uarowa R.: *Osnovy cyfrowej pieczati. Konspekt lekcij*. Moskwa, MGUP, im. Iw. Fiodorowa, 2011. <http://hi-edu.ru/e-books/xbook1004/01/part-004.htm> (10.10.2015).
- [3] Materiały reklamowe firmy Nipson. <http://www.nipson.com/products/digiflex.html> (02.02.2016).
- [4] Materiały reklamowe firmy Nipson. <http://www.nipson.com/products/varypress.html> (02.02.2016).
- [5] CanonVarioPrint 135/120/110. http://brochure.copiercatalog.com/océ/VarioPrint_Brochure_ReadOnly1.pdf (02.02.2016).

- [6] Excellence in Black and White Production VarioPRINT 110/120/135 Series.
http://bryansryan.ie/media/wysiwyg/pdf/Canon_VarioPrint_Brochure.pdf
(02.02.2016).
- [7] Tierientiew I.: Wasz monochromntj drug. Publish, nr 10, 2014.
http://www.publish.ru/articles/201410_20013322 (10.10.2015).

7. INNE METODY DRUKOWANIA CYFROWEGO

7.1. Jonografia

Zasada drukowania jonograficznego (*ang. ionography/electron beam*) jest podobna do zasady drukowania elektrofotograficznego, ale są pewne różnice:

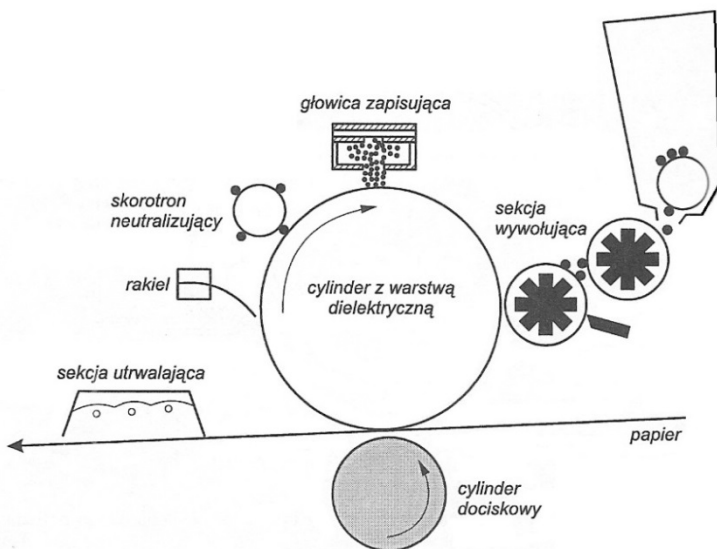
- zamiast cylindra z warstwą fotoprzewodzącą stosuje się cylinder ze stosunkowo twardą warstwą dielektryczną,
- miejsca drukujące na cylindrze zostają naładowane strumieniem jonów emitowanych przez głowicę drukującą, zgodnie z informacją zawartą w pamięci komputera.

Powstały elektrostatyczny obraz utajony, podobnie jak w procesach drukowania elektrofotograficznego, wywołuje się tonerem o ładunku przeciwnym, który przyczepia się do miejsc naładowanych. Następnie obraz tonerowy pod wpływem nacisku cylindra dociskowego jest przenoszony na zadrukowywane podłoże, gdzie, w kolejnym etapie, jest termicznie utrwalany.

Proces drukowania jonograficznego składa się z następujących etapów:

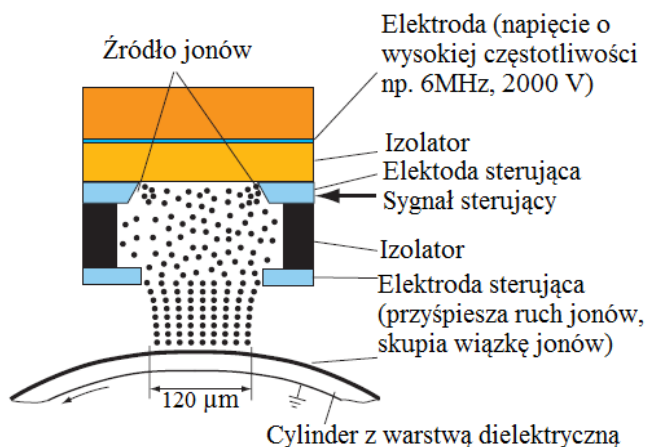
- ładowania miejsc drukujących,
- wywoływania,
- przenoszenia obrazu na podłoże pod wpływem nacisku cylindra dociskowego,
- termicznego utrwalania obrazu,
- oczyszczenia cylindra za pomocą rakla,
- neutralizacji obrazu elektrostatycznego [1].

Na rysunku 7.1 przedstawiono zasadę drukowania jonograficznego. Obraz na powierzchni cylindra z warstwą dielektryczną jest formowany za pomocą głowicy zapisującej, składającej się z szeregu emiterów jonów, uformowanych w postaci linijki z rozdzielczością 600 dpi.



Rys. 7.1. Schemat drukowania jonograficznego

Źródło: Czichon H., Czichon M.: *Reprografia i drukowanie cyfrowe*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003, s. 104.



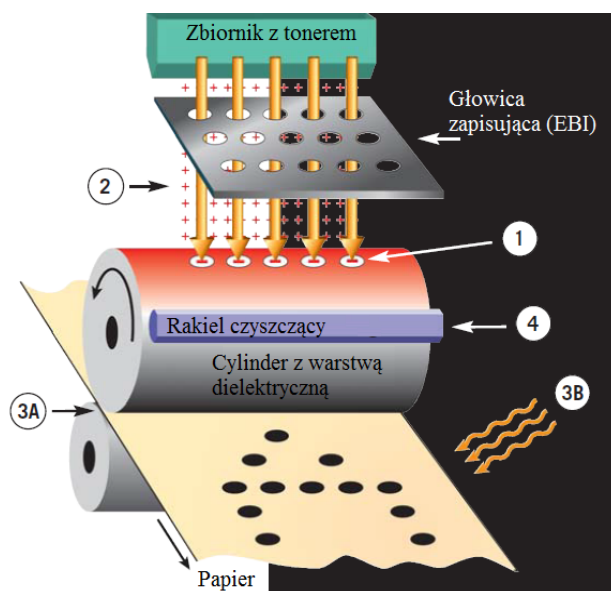
Rys. 7.2. Jonograficzna głowica zapisująca

Źródło: Kipphan H.: *Handbuch der Printmedien*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2001, s. 703.

Zadaniem głowicy drukującej jest wytwarzanie jonów (z powietrza) w polu wysokiego napięcia i dostarczanie i osadzenie ich na powierzchni dielektrycznej. W tym procesie ma duże znaczenie kontrola wilgotności powietrza. W warunkach wysokiej wilgotności może pojawić się wyładowanie iskrowe, które niszczy warstwę dielektryczną. Z tego powodu w trakcie formowania obrazu cylinder jest podgrzewany. Są modele maszyn w których obraz jest formowany w środowisku gazów ochronnych [2].

Wywoływanie obrazu odbywa się za pomocą tonera naładowanego znakiem przeciwnym do znaku ładunków, tworzących obraz na cylindrze. Po przeniesieniu obrazu na podłoże niezbędna jest operacja oczyszczania cylindra z warstwą dielektryczną, która odbywa się za pomocą mechanicznych i elektrycznych mechanizmów. Warstwa dielektryczna charakteryzuje się dużą mechaniczną wytrzymałością i proces mechanicznego oczyszczania odbywa się za pomocą specjalnego systemu raklowego. Rakeł kontaktuje się z powierzchnią cylindra i w łatwy sposób zgarnia pozostały toner. Następnie specjalny generator neutralizuje pozostałe ładunki.

Toner na odbitce jest utrwalany termicznie. Termiczne utrwalanie odbywa się już na etapie przenoszenia obrazu na podłoże (rys. 7.1) dzięki podrzganemu cylindrowi dociskowemu. Ostateczne utrwalenie obrazu odbywa się za pomocą lampy ksenonowej (metoda Flash Fusing).



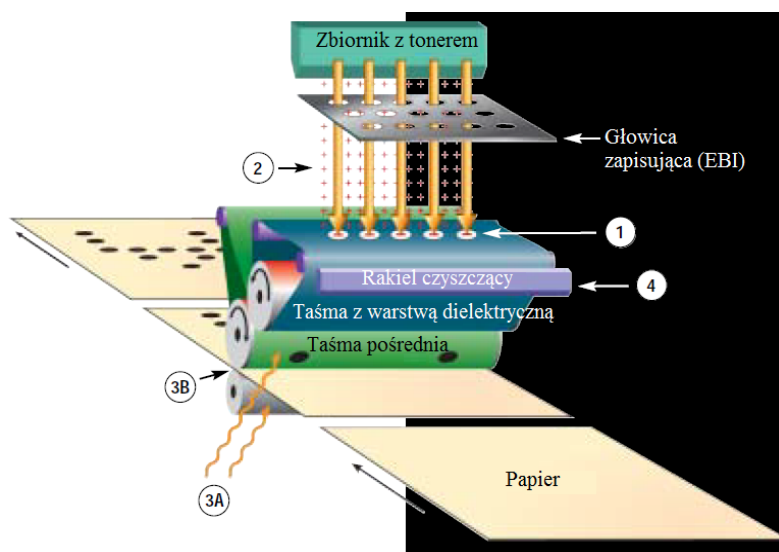
Rys. 7.3. Schemat zespołu drukującego zwojowej maszyny jonograficznej Delphax CR: 1 – obraz w postaci ładunków (utajony), 2 – wywoływanie, 3A – przenoszenie obrazu pod wpływem docisku, 3B – utrwalanie obrazu (metoda Flash Fusing)

Źródło: Delphax CR Series. Broszura informacyjna. <http://www.delphax.com/wp-content/uploads/2015/12/Delphax-CR-Series-Brochure-In-English.pdf> (03.02.2016).

Metoda ta jest wykorzystywana w maszynach Delphax, gdzie nosi nazwę Electron Beam Imaging (EBI). Urządzenia jonograficzne do drukowania czarno-białego firmy Delphax pojawiły się na rynku w 1990 r. Obecnie w ofercie firmy jest kilka

rodzajów urządzeń EBI do drukowania czarno-białego: seria CR (druk zwojowy), Imaggia II (druk arkuszowy) oraz Checktronic (druk arkuszowy). Maszyny charakteryzują się prostą konstrukcją i wysoką wydajnością [3, 4].

Seria CR składa się z trzech modeli – CR2200, CR1500 i CR1000. Są to zwojowe maszyny CR z bezpośrednim przenoszeniem obrazu na podłoże oraz bardzo wysoką wydajnością drukowania (do 2200 A4/min). Wszystkie maszyny znajdują zastosowanie do druku wysokonakładowego, gwarantując wysoką jakość drukowanego tekstu, skali szarości i zdjęć z rozdzielczością 600 dpi. Zalety technologii EBI pozwalają konkurować maszynom serii CR z innymi urządzeniami cyfrowymi w zakresie drukowania książek, mailingu bezpośredniego oraz produkcji informacyjno-reklamowej.



Rys. 7.4. Schemat zespołu drukującego arkuszowej maszyny jonograficznej Delphax Imaggia II: 1 – obraz w postaci ładunków (utajony), 2 – wywoływanie, 3A – toner i papier są wstępnie podgrzane, 3B – przenoszenie obrazu na podłoże (mniejszy docisk)

Źródło: Delphax Imaggia II. Broszura informacyjna. <http://www.delphax.com/wp-content/uploads/2015/12/Delphax-Imaggia-II-Brochure-In-English.pdf> (03.02.2016).

Seria maszyn Imaggia II jest skonstruowana na bazie technologii Gemini. Technologia ta zakłada pośrednie przenoszenie obrazu na podłoże. Obraz w postaci ładunków generowany jest na powierzchni taśmy z warstwą dielektryczną. Po wywoływaniu, toner na taśmie z warstwą dielektryczną jest podgrzany do temperatury ok. 65°C. Następnie toner przenosi się na taśmę transferową podgrzaną do temperatury 125°C. Papier przed zadrukowaniem również jest wstępnie podgrzany do tem-

peratury ok. 90°C. Obraz tonerowy z taśmy transferowej (pośredniej) przenosi się na podłoże pod wpływem docisku. Podgrzany toner na taśmie transferowej znajduje się w stanie stopionym i przy kontakcie z papierem warstwa tonera łatwo przylepia się do niego. Efektywność transferu tonera na podłoże wynosi ok. 99%. Transfer tonera ułatwia niska adhezja tonera do powierzchni taśmy pośredniej, która posiada powłokę silikonową. Taki proces nie wymaga dodatkowego utrwalenia [5].

Maszyny Imaggia II i Checktronic zapewniają dobrą jakość i przyczepność nadruku i są skierowane m.in. do produkcji drukowanej/zabezpieczonej za pomocą farb MICR.

Tabela 7.1. Wybrane parametry maszyn Delphax

Urządzenie	Model	Technologia	Rozdzielczość [dpi]	Wydajność [A4/min]	Szerokość zwoju/format arkusza [mm]
CR	2200	EBI	600	2182	od 356 do 483
	1500	EBI	600	1527	
	1000	EBI	600	1004	
Imaggia II	300	EBI	600	300	od 279x 279 do 476x559
	220	EBI	600	220	
Checktronic	4500X	EBI	300	120	od 159x210 do 224x413
	4000X	EBI	300	90	
	2100X	EBI	300	60	
	1750X	EBI	300	45	

Źródło: [3, 4, 6].

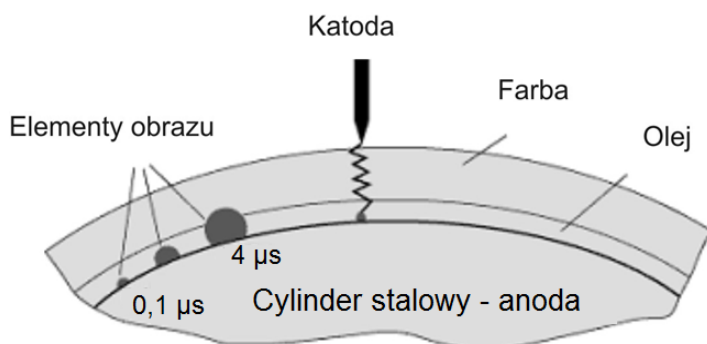
7.2. Elkografia

Nazwa metody wywodzi się z procesu elektrokoagulacji (zestalenie płynnej farby pod wpływem czynników powstałych na skutek działania prądu elektrycznego), który zachodzi w farbie w czasie wykonywania odbitki.

Technologię elkografii opracowała firma Elcorsy Technology (Kanada), a pierwsza prezentacja elkografii miała miejsce w 1996 r. na wystawie NEXPO

w Las Vegas. Wynalazcą elkografii jest Adrien Castegnier, który nad ideą druku elkograficznego zaczął pracować w latach 70.

Podstawą elkografii jest proces elektrochemiczny – elektrokoagulacja – zestawienie płynnej farby pod wpływem czynników powstałych na skutek działania prądu elektrycznego, który zachodzi w farbie. Zasada stosowania metody jest następująca. Na cylinder stalowy pokryty cienką warstwą oleju (spełnia rolę pasywatora) nanosi się warstwę ciekłej farby, zawierającej wodę, pigment, sole elektrolityczne i poliakrylamidy. Obracający się cylinder z warstwą farby przesuwają się pod głowicą z igielkami – katodą, która sterowana komputerem przesyła impulsy elektryczne, powodujące elektrokoagulację. Farba płynna znajduje się pomiędzy dwiema elektrodami. Sam cylinder stalowy pełni rolę anody, a katodą jest głowica zapisująca. W pierwszej kolejności zachodzi reakcja elektrolizy, w efekcie której na anodzie powstają jony żelaza (Fe^{3+}). Jony te w ciągu kilku mikrosekund powodują koagulację – zestawienie płynnej farby w żel. Utworzony polimer nie jest rozpuszczalny w wodzie i osadza się w postaci makrocząsteczki na anodzie – cylindrze stalowym. Jeżeli do katody nie nadchodzi impuls elektryczny, to proces zestawienia farby nie odbywa się. Wielkość zestawionych cząsteczek farby zależy od czasu aktywacji katody. Im dłuższy jest czas oddziaływania, tym więcej powstaje jonów żelaza i tym grubsza warstwa farby. W jednym punkcie można uzyskać 256 poziomów odcieni [7].



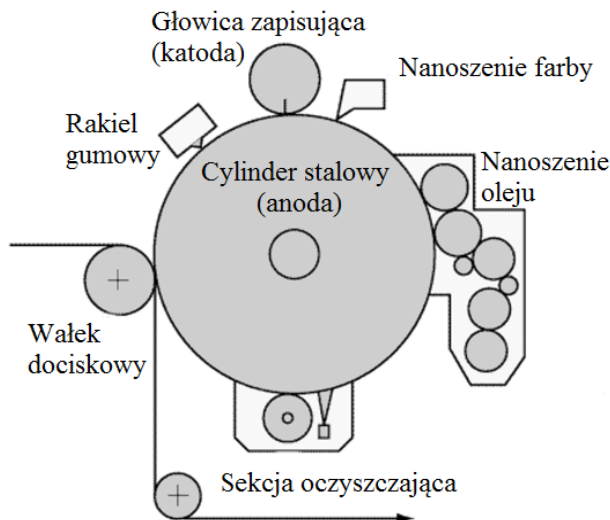
Rys. 7.5. Zasada powstania obrazu w drukowaniu elkograficznym

Źródło: Gudilin D.: *Elkografia: realizacja kanadskiej mieczty*. Kompuart, nr 6, 2002.

<http://www.compuart.ru/article.aspx?id=8840&iid=366> (03.03.2015)

Następnie rakiel gumowy usuwa płynną farbę, pozostawiając farbę zżelowaną (skoagulowaną), która za pomocą docisku zostaje przeniesiona na zadrukowywane podłoże (warstwa oleju na cylindrze ułatwia przekazywanie farby). Po oczyszczeniu

cyindra z resztek farby ponownie nanosi się warstwę oleju i ciekłej farby i cykl się powtarza. Zasadę działania maszyny elkograficznej przedstawiono na rys. 7.6.



Rys. 7.6. Schemat drukowania elkograficznego

Źródło: Gudilin D.: *Elkografia: realizacja kanadskiej mieczy*. Kompuart, nr 6, 2002.
<http://www.compuart.ru/article.aspx?id=8840&iid=366> (03.03.2015)

Do podstawowych elementów zespołu drukującego maszyny elkograficznej należą:

- cylinder stalowy (pełni rolę anody),
- głowica zapisująca (pełni rolę katody),
- sekcja wywołująca – rakiel gumowy,
- sekcja przenoszenia obrazu,
- sekcja oczyszczająca,
- sekcja nanoszenia oleju,
- sekcja nanoszenia farby.

Według idei twórcy elkografii – Castegniera – elkografia miała łączyć zalety druku ekologicznego z jakością fotograficzną obrazu. Technologia elkografii została zrealizowana w maszynie ELCO 400, która posiadała wydajność 120 m/min i rozdzielczość 400 dpi (256 poziomów w jednym punkcie). Maszyna była przeznaczona na rynek kolorowego druku gazet. Ze względu na trudności techniczne produkcja maszyn została zamknięta, a patenty dotyczące technologii elkografii zostały wykupione przez firmę Toyo Ink, która opracowywała farby do druku elkograficznego [8].

Literatura

- [1] Czichon H., Czichon M.: Reprografia i drukowanie cyfrowe. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
- [2] Kipphan H.: Handbuch der Printmedien. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2001.
- [3] Delphax CR Series. Broszura informacyjna. <http://www.delphax.com/wp-content/uploads/2015/12/Delphax-CR-Series-Brochure-In-English.pdf> (03.02.2016).
- [4] Delphax Imaggia II. Broszura informacyjna. <http://www.delphax.com/wp-content/uploads/2015/12/Delphax-Imaggia-II-Brochure-In-English.pdf> (03.02.2016).
- [5] Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses. Océ Printing Systems GmbH, 2006.
- [6] Delphax Checktronic. Broszura informacyjna. <http://www.delphax.com/wp-content/uploads/2015/12/Delphax-Checktronic-Brochure-In-English.pdf> (03.02.2016).
- [7] Gudilin D.: Elkografia: realizacija kanadskoj mieczy. Kompuart, nr 6, 2002. <http://www.compuart.ru/article.aspx?id=8840&iid=366> (03.03.2015).
- [8] Landa's Silence Drives Question: What is Nanography? <http://www.printbusiness.co.uk/news/PrintBusiness84551.ink> (03.03.2016).

8. PODŁOŻA DRUKOWE STOSOWANE W DRUKOWANIU CYFROWYM

8.1. Podział podłoży drukowych

Podłożem drukowym nazywa się materiały przeznaczone do zadrukowywania. Są one nośnikiem obrazu wytworzonego za pomocą formy drukowej i farby graficznej lub cyfrowej techniki drukowania. Podłoża drukowe mogą być wykonane z różnych materiałów. Różnią się one właściwościami i kształtem. Na rysunku 8.1 przedstawiono podział podłoży drukowych. Mogą być one stosowane w różnych technikach drukowania [1]. W przypadku drukowania cyfrowego obecnie nie ma już praktycznie ograniczeń w stosowaniu różnych podłoży, w tym i kształtek. Natomiast udział drukowania technikami cyfrowymi poszczególnych podłoży w stosunku do analogowych technik drukowania jest różny od ułamka procenta do kilkadziesiątu procentów.

Podłoża drukowe dzieli się ze względu na ich kształt, na:

- płaskie,
- kształtki.

Podłoża płaskie mają dwie powierzchnie o szerokości i wysokości znacznie większej niż grubość. Podłoża płaskie mogą występować w dwóch postaciach jako podłoża arkuszowe lub/i wstęgowe (zwojowe).

Kształtkami nazywa się formy przestrzenne przeznaczone do zadrukowania. Kształtki są najczęściej formami przestrzennymi opakowań lub atrybutami reklamy.

Podłoża płaskie ze względu na ich sztywność dzieli się na:

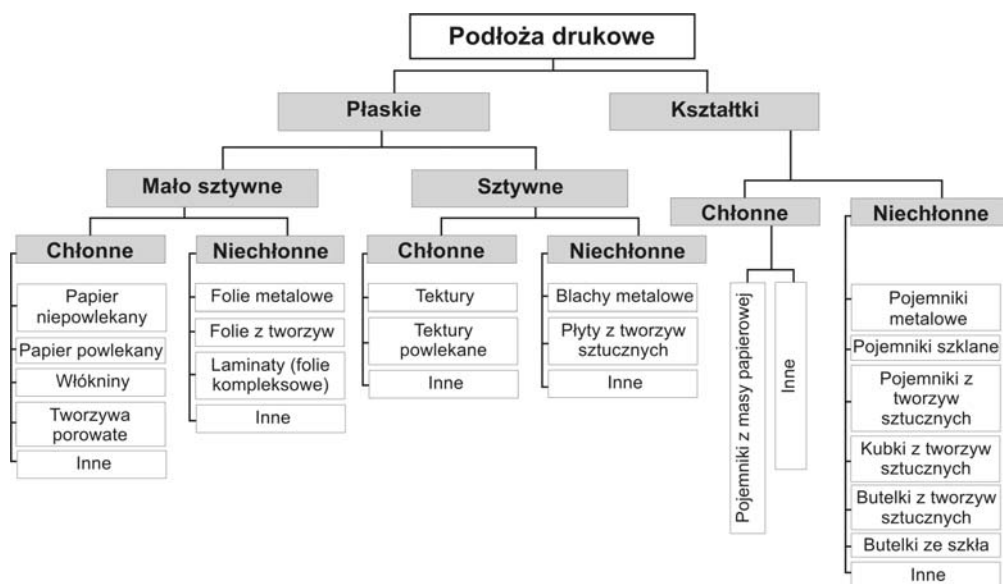
- podłoża o małej sztywności (papier, folie z tworzyw sztucznych, folie aluminiowe itp.),
- podłoża o dużej sztywności (tektury wielowarstwowe i laminowane, tektury faliste, płyty z tworzyw sztucznych, blachy stalowe, blachy aluminiowe itp.).

Podłoża płaskie o dużej sztywności występują w procesie drukowania wyłącznie w postaci arkuszy.

Podłoża płaskie ze względu na stosowane do ich wyrobu materiały dzieli się na:

- produkty papierowe,

- papiery syntetyczne,
- folie z tworzyw sztucznych,
- folie aluminiowe,
- folie kompleksowe (laminaty foliowe),
- płyty i arkusze z tworzyw sztucznych,
- blachy, itp.



Rys. 8.1. Podział podłoży drukowych

Źródło: własne.

Kształtki to formy przestrzenne przeznaczone do drukowania. Najczęściej są to: butelki z tworzyw sztucznych i szkła, tuby, kubki i pojemniki z tworzyw sztucznych oraz metalowe puszkę napojowe. Do kształtek są zaliczane, także kasety magnetofonowe, długopisy, zapalniczki itp. a także pojemniki wykonane z masy papierowej.

Ze względu na chłonność farby drukowej podłoża dzieli się na:

- chłonne (produkty papierowe, papiery syntetyczne o budowie włóknistej, włókniny, tworzywa porowate itp.),
- niechłonne (folie z tworzyw sztucznych, folie aluminiowe, płyty z tworzyw sztucznych, blachy oraz kształtki z tworzyw sztucznych, metalu, szkła itp.).

Postać podłoża drukowego przeznaczonego do produkcji opakowań narzuca konieczność stosowania maszyn o określonej konstrukcji. W przypadku podłoży płaskich są to maszyny arkuszowe lub zwojowe. Kształtki wymagają specjalnych

konstrukcji maszyn przeznaczonych do zadrukowywania określonego kształtu (określonej formy przestrzennej).

W przypadku podłoży do drukowania cyfrowego ich charakterystykę najlepiej przedstawić w podziale na podłoża płaskie i kształtki z uwzględnieniem stosowanych materiałów do ich produkcji.

8.2. Podłoża płaskie papierowe

Płaskie podłoża papierowe stanowią bardzo szeroką gamę produktów od papierów i tektur niepowlekanych i powlekanych poprzez wielowarstwowe tektury i laminowane tektury powlekane i niepowlekane do tektur falistych. Całkowicie osobną kategorię stanowią papiery syntetyczne, którym zostanie poświęcony oddzielny rozdział.

Podłoża płaskie papierowe były pierwszymi, które stosowano do drukowania cyfrowego. Za datę powstania technologii drukowania cyfrowego przyjmuje się rok 1993 (IPEX'93), kiedy to Benny Landa przedstawił swoją maszynę cyfrową Indigo do drukowania kolorowego elektrofotograficznego pośredniego drukującą cieplym „tonerem”. Co prawda jednokolorowe maszyny natryskowe (ink-jet) były już znane i stosowane od 1970 roku (kolorowe od 1982 roku) zaś maszyny jednokolorowe cyfrowe elektrofotograficzne (nie mylić z popularnymi kserografami) były używane także od początku lat osiemdziesiątych XX w., a kolorowe od połowy lat osiemdziesiątych tegoż wieku. Nie mniej cenzurę czasową wyznaczyła uzyskiwana jakość.

W początkowym okresie stosowania drukowania cyfrowego (mniej więcej do roku 1997) przystosowywano do niego (dobierano po próbach) papiery (wyłącznie papiery, czasami papiery samoprzylepne; bez tektur) produkowane do innych technik drukowania (zwanymi obecnie technikami analogowymi lub rzadziej klasycznymi). Stworzono wtedy tzw. „skrypty”, czyli zapis cyfrowy umożliwiający, po jego wprowadzeniu, drukowanie na konkretnym papierze uprzednio przetestowanym metodą prób i błędów. Brak wprowadzenia do komputera maszyny cyfrowej odpowiedniego skryptu blokował maszynę – nie było możliwości zadrukowania „bezszyfrowanego papieru” (podłoża).

Około roku 1997, czyli w niespełna cztery lata od umownej daty powstania drukowania cyfrowego są reprezentowane dwa zupełnie odmienne podejścia do papieru stosowanego do drukowania cyfrowego. Podejście pierwsze to produkcja specjalnych gatunków papierów dla konkretnej maszyny lub grupy maszyn, drugie to atestacja produkowanych już papierów przez producentów poszczególnych

maszyn cyfrowych. Jako pierwszy sprawę papieru rozwiązał koncern Rank Xerox, udzielając swych atestów do drukowania cyfrowego na papier kserograficzny oraz na inne wybrane rodzaje papierów przeznaczonych do drukowania [2].

Poważnie do certyfikacji papierów do drukowania cyfrowego podeszły firmy: Agfa, Xeikon, IBM i Indigo. Chromapress (Agfy), Xeikon DCP/320 i IBM Info-Color 70 są tym samym rozwiązaniem firmy Agfa w zakresie elektroniki, co prawda IBM Info-Color 70 ma inną szerokość zwoju papieru i inną długość rysunku, ale wszystkie trzy maszyny są maszynami zwojowymi i działają na tej samej zasadzie, tj. suchej elektrofotografii. Również na tej samej zasadzie działają maszyny Docu-tech i Docucolor Xeroxa. W związku z tym wymagania względem papieru są takie same [3].

8.3. Ogólne wymagania względem papierów przeznaczonych do drukowania cyfrowego

Na rynku amerykańskim pod koniec lat dziewięćdziesiątych XX w. opracowano ogólne kryteria, jakie powinien spełniać papier stosowany w drukowaniu cyfrowym [4, 5]. Wymagania te przedstawiono poniżej.

Wysoka białość – w celu uzyskania pożądaných rezultatów białość papieru musi kształtować się na poziomie minimum ISO 92%. Poniżej tego poziomu odbitka jest oczywiście nadal do zaakceptowania, lecz nie pozwala wykorzystać i zaprezentować wszystkich obecnych zalet cyfrowego drukowania kolorowego. Wzrost białości pozwala dostrzec użytkownikowi drobniejsze elementy obrazu.

Wysoka nieprzezroczystość – ponieważ coraz częściej druk wysokiej jakości jest jednocześnie drukiem dwustronnym, większego znaczenia nabrała nieprzezroczystość papieru. Podczas drukowania różnego rodzaju broszur nie można dopuścić do sytuacji, że kolorowe obrazy lub tekst przebijają na drugą stronę. Wysokiej jakości druk kolorowy wymaga nieprzezroczystości papieru na poziomie, co najmniej 92%.

Duża gładkość – a w zasadzie bardzo mała szorstkość jest istotnym czynnikiem w drukowaniu kolorowym. Nowoczesne urządzenia drukujące umożliwiają wykonywanie odbitek o rozdzielczości 600-800 dpi, co z kolei wymaga stosowania papierów o dużej gładkości. Gładkość papieru ma wpływ na wyrazistość odbitki. Dzieje się tak, ponieważ powierzchnia papieru ma budowę nieregularną i element drukujący może znaleźć się zarówno na wierzchu tej powierzchni, jak i w jej mikroskopijnych zagłębieniach. Im mniejsza nieregularność powierzchni papieru, tym mniejsze niedokładności druku.

Dobre przezrocze – oprócz odpowiedniej gramatury również równomierna struktura papieru jest czynnikiem decydującym o jakości odbitek uzyskanych metodami cyfrowymi. Arkusz papieru może być bardzo gładki i odznaczać się wysoką białością, jednakże jego grudkowata struktura (złe przezrocze) uniemożliwi równomierne rozłożenie tonera na powierzchni papieru. Rezultatem tego jest otrzymanie plamkowatego obrazu. Najprostszym sposobem oceny struktury papieru jest oglądanie go pod światło.

Odpowiednia gramatura – podczas kolorowego drukowania cyfrowego na podłoże papierowe nakładanych jest kilka warstw kolorowych tonerów lub atramentów, które w sumie tworzą grubą warstwę. W związku z tym zadrukowywane podłoże musi być zdolne do zaabsorbowania dużej ilości tonera lub atramentu, zachowując jednocześnie stabilność wymiarową. Najpoważniejszym czynnikiem decydującym o tej stabilności jest gramatura papieru. **Według opinii wielu drukarzy optymalnym papierem do drukowania cyfrowego jest papier o gramaturze około 100 g/m².** Nie oznacza to jednak, że papiery o wyższej gramaturze są lepsze do drukowania cyfrowego. Niekiedy papiery o wyższej gramaturze mogą napotkać fizyczne ograniczenia maszyn drukujących w postaci wałków utrwalających. Papier o zbyt wysokiej gramaturze, przechodząc między tymi wałkami, ulega znacznym skrętom.

Odpowiednia sztywność – parametr ten jest związany z tym, że w cyfrowych maszynach arkuszowych (np. HP Indigo) papier do gramatury 170 g/m² jest stosowany tak jak w maszynie offsetowej, tj. dłuższy bok arkusza jest zgodny z kierunkiem maszynowym papieru. Dla papierów o gramaturze powyżej 170 g/m² dłuższy bok arkusza jest zgodny z kierunkiem poprzecznym.

Odporność na zwijanie się – ze względu na to, że tonery często są utrwalane termicznie i temperatura podczas tego procesu może dochodzić do 180°C, papiery mają tendencję do zwijania się. Dlatego do cyfrowych maszyn drukujących nie można zastosować zwykłych papierów offsetowych – papier ten nie był projektowany tak, aby był odporny na tego rodzaju oddziaływania. Zatem stosowane papiery muszą być pozbawione skłonności do zwijania się lub jeżeli ta skłonność występuje, to powinna być ona minimalna. Ponadto papier w temperaturze utrwalania musi mieć nie mniej niż 30% wilgotności względnej. Minimalizuje to skłonność papieru do zwijania się oraz powstawanie elektryczności statycznej.

Odpowiednia wilgotność względna papieru – 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. Na przykład przy zadrukowywaniu papieru w postaci zwojów na maszynach Xeikon, HP Indigo, Chromapress 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 papieru w pomieszczeniu maszyny w opakowaniu odpornym na wilgoć przez okres 24 godzin oraz pakowanie papieru w wilgocioszczelne opakowania po zakończeniu drukowania.

Właściwe pH – do drukowania cyfrowego stosuje się tylko papiery bezkwasowe, to znaczy posiadające odczyn obojętny lub zasadowy. W przypadku papierów zasadowych często są stosowane papiery trwałe do maszyn cyfrowych (tzw. długowieczne lub biblioteczne).

Pozostałe parametry – obejmują takie cechy papieru jak: **niewydziałanie przykrego zapachu** podczas działania wysokiej temperatury umożliwiającej utrwalenie tonera, atramentu lub wosku. Do pozostałych cech należy zaliczyć: **odporność na rozciąganie** podczas drukowania, **skłonność do płaskiego leżenia**. Papier nie może **pylić, żółknąć lub zmieniać barwy**, nie może ponadto powodować **zjawiska mottlingu**.

Powyższe wymagania oczywiście nie dotyczą jednocześnie wszystkich technik drukowania cyfrowego. W zależności od użytej technologii, niektóre z wymienionych parametrów dotyczących podłoża nie muszą być uwzględnione.

Producenci maszyn dysponują zwykle listą papierów, które uzyskały certyfikat zgodności danych podłoża z maszyną. Listy te są otwarte i są dopisywane do nich kolejne pozycje. Procedura akceptacji podłoża jest taka, że producent papieru wysyła wymaganą jego ilość do producenta maszyn. Na podstawie próbek podłoża są dokonywane testy, których pomyślne zakończenie sprawia, że dany papier zostaje zaakceptowany jako materiał, który można stosować w danym urządzeniu.

Problem papierów do drukowania cyfrowego został rozwiązany krótko przed rokiem 2000 i przedstawiony na międzynarodowych targach przemysłu poligraficznego Drupa 2000 [6, 7]. Na targach Drupa 2000 eksponowano dużą liczbę papierów specjalnie wyprodukowanych do drukowania cyfrowego daną techniką i najczęściej z uwzględnieniem konkretnej maszyny. Oferentami tych papierów byli producenci maszyn i urządzeń do drukowania cyfrowego. Papiery były oferowane pod ich własną marką handlową. Fakt ten na wstępie podrażał papier i uniemożliwiał jego bezpośredni odbiór od producenta. Przeważała w tym przypadku tendencja

do produkowania papierów specjalnie produkowanych 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.

Praktycznie każdy z producentów oryginalnych maszyn cyfrowych posiada własny system kwalifikacyjny dla danej techniki cyfrowej. Papiery, które uzyskały certyfikat, sklasyfikowano w dwóch grupach [8]:

- 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 oraz w innych systemach typu OEM⁵. Gwarantowane jest bezpieczeństwo podczas ich użytkowania (np. nietoksyczność), stabilność procesu i określony poziom, jakości odbitki.

Autoryzowane papiery – są papierami, w przypadku których producent maszyn gwarantuje możliwość zadrukowania w swoich systemach druku cyfrowego oraz w systemach typu OEM, ale bez gwarancji jakości druku i stabilności procesu.

W chwili obecnej znaczenie przemysłowe mają różne odmiany dwóch technik drukowania cyfrowego, a mianowicie techniki elektrofotograficznej i natryskowej (ink-jet).

Podłoża płaskie stosowane do drukowania cyfrowego muszą być rozpatrywane w trzech grupach: podłoża do drukowania przemysłowego, podłoża do drukowania wielkoformatowego oraz podłoża do cyfrowych drukarek biurowych. Każda z tych grup charakteryzuje się swoimi specyficznymi właściwościami.

8.4. Podłoża w przemysłowym drukowaniu elektrofotograficznym

Do drukowania cyfrowego opartego na elektrofotografii papier poza ogólnymi wymaganiami musi spełniać wymagania szczegółowe, wynikające ze stosowanej techniki oraz wymagania narzucone przez stosowane maszyny.

⁵ OEM – skrót od Original Equipment Manufacturer (dosłownie Oryginalny Producent Sprzętu) – organizacja sprzedająca pod własną marką produkty wytworzone przez inne firmy. Termin jest mylący, gdyż OEM nie jest wytwórcą, lecz sprzedawcą sprzętu dla użytkownika końcowego.

Wymienione poniżej wymagane parametry są pewnego rodzaju sygnałem oczekiwań wobec „papierów cyfrowych”, które ściśle wynikają ze specyfiki procesów, jakie zachodzą w maszynach bazujących na elektrofotografii.

Odpowiednia wilgotność papieru – powinna być stosunkowo niska i wynosić 30-40%. Odpowiedni jej poziom umożliwi optymalny transfer tonera na papier. Ponadto niższa wilgotność sprawia, że podczas utrwalania tonera z arkusza papieru musi zostać usunięta mniejsza ilość wilgoci. W tej sytuacji zmniejsza się zużycie energii potrzebnej w procesie utrwalania. Właściwy poziom wilgotności pozwala utrzymać również odpowiedni poziom przyczepności tonera do zadrukowywanego podłoża. Po przejściu arkusza przez sekcję utrwalającą toner na jego powierzchni musi on zachować zdolność do płaskiego leżenia. Jest to tym istotniejsze w przypadku, kiedy otrzymana odbitka ma zostać poddana zadrukowaniu z drugiej strony (duplex) [4, 9].

Odporność na „szok temperaturowy” – podczas procesu utrwalania papier zostaje nagle poddany działaniu wysokiej temperatury z zakresu 160-240⁰C. Pory na powierzchni papieru ulegają zamknięciu; jest to obserwowane szczególnie w przypadku papierów o wysokiej wilgotności własnej i powoduje pofalowanie (wypaczenie) arkusza. Odkształcenia te są przede wszystkim spowodowane tym, że ciepło nie jest równomiernie rozprowadzane na wierzchniej i spodniej stronie arkusza. Ponadto arkusz ulega wygięciu pod wpływem wałków prowadzących. Powodem jest fakt, że włókna papieru ulegają wygięciu w kierunku najmniejszego oporu – w tym przypadku równoległym do kierunku przemieszczania się arkusza. Występowanie tego efektu jest obserwowane bardzo często w przypadkach, kiedy arkusze papieru są prowadzone przez rozbudowany system wałków, na których ulegają odkształceniu [10].

Gładkość – dotyczy powierzchni zadrukowywanego papieru. Wraz ze wzrostem gładkości arkusza wzrasta jakość druku, tj. możliwość drukowania w wyższej rozdzielczości.

Odpowiednia zadrukowalność – do czynników determinujących zadrukowalność zalicza się m.in. odpowiednią sztywność i grubość papieru. Papiery o niskiej gramaturze i sztywności mają czasem tendencję do owijania się wokół wałków utrwalających (dotyczy to przeważnie papierów powlekanych). Ponadto niska gramatura może powodować problemy w prowadzeniu papieru przy użyciu rozbudowanego systemu transportowego w maszynach cyfrowych. Inaczej jest z arkuszami o zbyt wysokiej

gramaturze. Te z kolei zacinają się w maszynach przy pracy z wysokimi prędkościami lub ulegają trwałym odkształceniom po przejściu przez urządzenie.

Kolejnym czynnikiem determinującym **zadrukowalność** jest **przewodność elektryczna papieru**. Odpowiednia przewodność zapobiega zbieraniu się ładunków elektrycznych na powierzchni papieru. Ładunki na powierzchni arkusza powodują powstanie elektryczności statycznej, która utrudnia transport papieru podczas kolejnych procesów (np. wykończeniowych). Z drugiej strony od papieru do drukowania elektrofotograficznego jest wymagana pewna rezystancja elektryczna (powierzchniowa i objętościowa). Umożliwia ona arkuszowi utrzymanie ładunków elektrostatycznych wymaganych w momencie transferu tonera. Przesuszony papier wykazuje zawsze tendencję do elektryzowania się. Papier elektryzuje się, gdy rezystancja powierzchniowa (rezystancja mierzona w ohmach na kwadrat pomiarowy o boku 10 cm) w temperaturze 23⁰C i przy wilgotności względnej powietrza 50% jest większa niż 10⁹ Ω/□ lub – bez względu na warunki zewnętrzne – jest większa niż 10¹¹ Ω/□ (ohma na kwadrat pomiarowy). Przy dużej wilgotności papier zachowuje się jak przewodnik, zaś przy małej może nastąpić przebiecie elektryczne podczas przenoszenia obrazu.

Często problemy występujące w procesach następujących po drukowaniu, takie jak np. zwijanie arkuszy czy złe układanie w stosy, są związane z jakością papieru. Papier o jednolitej strukturze oraz z niewielkimi odchyleniami wymiarowymi podczas drukowania pozwala na otrzymanie druków o dobrej jakości.

Podczas etapu utrwalania, kiedy toner jest spiekany z powierzchnią arkusza, zastosowanie papierów o zbyt wysokiej gramaturze może powodować problemy. Są one spowodowane głównie tym, że takie papiery wymagają dostarczenia większej energii utrwalania. Podobnie drukowanie na tych papierach z maksymalną prędkością może być przyczyną problemów z utrwalaniem tonera.

Niska jakość cięcia papieru powoduje często wzrost pylenia. Zapylenie pochodzące z papieru jest powodem zanieczyszczenia maszyny. Ma to negatywny wpływ na zadrukowalność oraz jakość druku.

Należy jeszcze nadmienić, że **papier nie powinien wydzielać nieprzyjemnego zapachu podczas procesu utrwalania tonera** [11].

Odpowiednia drukowność – najważniejszymi parametrami papieru, które mają znaczący wpływ na drukowność, są własności elektryczne, wilgotność i gładkość. Kolejnymi ważnymi czynnikami są odpowiednia struktura, odpowiednia energia na powierzchni oraz własności optyczne.

Niewłaściwy poziom wilgoci papieru często jest powodem pojawienia się efektu cętkowania na nadruku. Ponieważ standardowo w maszynach arkuszo-
wych nie ma możliwości ustawienia odpowiedniego poziomu wilgotności papieru,
dlatego też zapakowana ryza musi posiadać już wilgotność odpowiednio dostoso-
waną do procesu drukowania. Ważnym czynnikiem determinującym, jakość dru-
kowania oraz stabilność całego procesu jest zapewnienie stabilnych warunków oto-
czenia. Pomieszczenie, w którym znajduje się maszyna drukująca, powinno być
odpowiednio klimatyzowane wg zaleceń producenta maszyny.

Wszelkie nierówności na powierzchni papieru mają wpływ na osadzanie się na
niej warstw tonera. **Ostateczny rezultat jest lepszy przy zastosowaniu podłoży
powlekanych lub o wysokim stopniu wykończenia powierzchni.**

W przypadku, kiedy stosowana technika drukowania cyfrowego wymaga pod-
dania arkuszy papieru działaniu wysokiej temperatury, istotnym czynnikiem jest
stopień wykończenia papieru. Wielokrotnie powlekane papiery z połyskiem posia-
dają zamkniętą powierzchnię, dlatego też utrata przez papier wilgotności w tych
przypadkach może powodować powstawanie pęcherzyków podczas spiekania tone-
ra. Prawdopodobieństwo wystąpienia tego procesu jest większe w przypadku papie-
rów o wysokiej gramaturze lub o wysokim poziomie wilgoci. Podobnie jak w przy-
padku atramentowych technik drukowania cyfrowego, również producenci
cyfrowych maszyn drukujących opartych na elektrofotografii przeprowadzają na
swoich maszynach testy papierów pochodzących od różnych producentów. Papiery,
które pomyślnie przechodzą całą procedurę testową, uzyskują odpowiedni certyfi-
kat. Producenci maszyn udostępniają swoim klientom stale aktualizowane listy
obejmujące marki papieru, które uzyskały odpowiedni certyfikat. Najczęściej
w tych spisach są podawane skrócone informacje dotyczące papieru: nazwa, produ-
cent, gramatura.

Koncern UPM Kymmene, który obecnie używa nazwy The Biofore Company
UPM w sposób dość lapidarny określa właściwości papierów przeznaczonych do
drukowania elektrofotograficznego [12]. Od papierów przeznaczonych do druko-
wania elektrofotograficznego jest wymagana **niska zawartość wilgoci** (4,5-5,5%),
wysoka gładkość (niska szorstkość), **wysoka sztywność i brak pylenia.**

W przypadku **drukowania elektrofotograficznego** opracowano całą gamę
specjalnych papierów (w tym także tektur litych i wielowarstwowych): niepowle-
kanych, satynowanych i powlekanych. Są to tzw. papiery dedykowane (produko-
wane) do „konkretnej maszyny cyfrowej”. Mimo takiego podejścia do drukowania

elektrofotograficznego do dziś nie udało się wyprodukować papieru powlekanego o gramaturze powyżej 170 g/m², który podczas utrwalania tonera nie wydzielalby przykrego zapachu. W związku z powyższym celowe jest dobranie papierów powlekanych przeznaczonych do drukowania analogowego, ale o niewielkim stopniu wydzielania przykrego zapachu.

Podobnie wygląda sprawa z papierami specjalnie produkowanymi do preprintu, które po zadrukowaniu techniką offsetu arkuszowego są personalizowane w maszynach cyfrowych elektrofotograficznych lub szybkich kopiarkach działających na zasadzie elektrofotografii. Niektóre współcześnie produkowane papiery przeznaczone do drukowania offsetowego arkuszowego nadają już się do tego celu. Masy drzewne wyższej jakości obecnie są stosowane w dość szerokim zakresie, ostatnio nawet ścier drzewny (biały) znalazł zastosowanie do produkcji papierów do drukowania cyfrowego techniką elektrofotografii i do kopiowania.

Osobną grupę stanowiły **papiery do cyfrowego (elektrofotograficznego) drukowania gazet**. Wraz z rozwojem drukowania cyfrowego kolorowego pojawił się pomysł drukowania codziennych gazet o zasięgu światowym z Internetu. Pomysł ten został przyjęty przez ekskluzywne sieci hotelowe. Wymusiło to wyprodukowanie papieru gazetowego do drukowania cyfrowego. Wyzwanie produkcji takiego papieru podjął się koncern UPM Kymmene. Produkowano kilka rodzajów papierów naśladowujących analogowe papiery gazetowe [13]. Produkcję rozpoczęto około 2008 roku i zaprzestano w 2012 roku. Zakończenie produkcji tych papierów było spowodowane zmianą techniki drukowania cyfrowego gazet z elektrofotografii na technikę natryskową (ink-jet).

Użytkownicy maszyn cyfrowych żądają od ich producentów możliwości zadrukowywania papierów analogowych (tj. niededykowanych i nieatestowanych do konkretnej techniki lub maszyny cyfrowej), tj. przeznaczonych do drukowania klasycznymi technikami drukowania.

W związku z powyższym jest pożądane stosowanie (gdzie to możliwe) do drukowania cyfrowego papierów analogowych masowej produkcji (offsetowych lub/i powlekanych) – jest to powrót do filozofii pierwszych lat stosowania technologii drukowania cyfrowego – wtedy nikt przy zdrowych zmysłach nie myślał o produkcji specjalnego papieru dedykowanego do drukowania cyfrowego, papiery będące na rynku podlegały atestacji i otrzymywały możliwość ich stosowania do drukowania cyfrowego w postaci tzw. skryptów, które wprowadzało się do pamięci maszyny i lepiej lub gorzej wszystko działało i drukowało.

Stosowanie papierów specjalnych do drukowania cyfrowego powoduje wysokie koszty druku, z tego powodu trendem jest możliwość stosowania papierów analogowych.

W ostatnim czasie [14, 15] elektrofotografia z suchym oraz ciekłym tonerem znalazła zastosowanie do drukowania papierowych materiałów opakowaniowych. Istnieje możliwość zadrukowywania arkuszowego tektur wielowarstwowych i litych oraz tektur falistych do maksymalnej gramatury 350 g/m² (lub do grubości 550 μm). Oczywiście zadrukowywana powierzchnia powyżej wymienionych materiałów musi spełniać wymagania elektrofotografii lub być powlekana przed drukowaniem primerem. W przypadku tektur falistych poza grubością (lub gramaturą) są ograniczenia do mini lub/i mikrofal ze względu na występowanie stosunkowo niewielkiego ożebrowania. Drukowanie tektury falistej jest obecnie domeną drukowania natryskowego (ink-jet).

Jednym z trendów [16] jest stosowanie do drukowania cyfrowego papierów analogowych po ich obróbce powierzchniowej wykonanej najczęściej przez powlekanie (w papierni lub bezpośrednio przed drukowaniem) specjalnym lakierem (primerem). Są to amerykańskie opatentowane preparaty, stosowane głównie do papierów przeznaczonych do elektrofotografii. Najbardziej znane to „i-Tone” (firmy Mohawk) oraz „Sapphire np. 5.0” (firmy Michelman).

Ta obróbka powierzchniowa to specjalny rodzaj przezroczystej powłoki nakładanej w maszynie papierniczej z prasy klejarskiej lub w maszynie cyfrowej. Powłoka ta polepsza adhezję tonerów ciekłych i stałych (pastowatych) stosowanych w drukowaniu cyfrowym elektrofotograficznym oraz likwiduje całkowicie problem pylenia podczas drukowania (tego rodzaju obróbka powierzchniowa jest powszechnie stosowana przy elektrofotograficznym drukowaniu podłoży płaskich niepapierowych).

Rozwijana jest także produkcja papierów (analogowych) „wielozadaniowych” przeznaczonych do drukowania cyfrowego i analogowego, czyli do drukowania hybrydowego (np. drukowanie cyfrowe + preprint + offset lub drukowanie cyfrowe + drukowanie analogowe – offsetowe).

Podłoża płaskie niepapierowe

Do drukowania elektrofotograficznego głównie z zastosowaniem ciekłego tonera stosowana jest szeroka gama podłoży niechłonnych, takich jak: folie polietylenowe (PE), folie polipropylenowe orientowane (BOPP), folie z poli(tereftalanu etylenu) (PET),

folie z PVC, folie polistyrenowe orientowane (OPS) oraz folie samoprzylepne z udziałem powyższych folii i papiery syntetyczne oraz papiery metalizowane.

Przed drukowaniem powyżej wymienionych materiałów muszą być one pokryte specjalnymi lakierami (primerami). Oprócz dwóch wymienionych do lakierowania papierów są stosowane także: Digiprime, Emicote i Curecot. W zależności od stosowanego primera lakierowane podłoża mają różny czas przydatności do drukowania od kilku dni do sześciu miesięcy [17].

Podczas targów Interpack, które odbyły się w Düsseldorfie w 1996 roku zaprezentowano maszyny Indigo do drukowania uszlachetnionej foli aluminiowej oraz aluminiowych puszek napojowych (kształtek). Jakość uzyskanych druków była mierna – brak kontrastu. W latach następnych odstąpiono od drukowania jakichkolwiek wyrobów z udziałem aluminium przy zastosowaniu cyfrowego drukowania elektrofotograficznego. Wyjątek stanowi papier metalizowany, gdzie drukuje się nie na warstwie napyłonego aluminium a na warstwie lakieru zabezpieczającego powłokę aluminiową oraz na foliach metalizowanych, przy zadrukowywaniu, których drukowanie następuje na powierzchni folii – warstwa aluminium jest z drugiej niezadrukowywanej strony folii.

Kształtki

Mimo podejmowanych prób nie udało się skonstruować maszyny cyfrowej pracującej na zasadzie elektrofotografii do drukowania kształtek. W związku z powyższym tego typu podłoża nie są zadrukowywane tego rodzaju techniką drukowania cyfrowego.

8.5. Podłoża w przemysłowym drukowaniu natryskowym (ink-jet)

Przemysłowe drukowanie cyfrowe natryskowe ma obecnie wszechstronne zastosowanie. Jest to najszersze zastosowanie ze wszystkich technik tak analogowych, jak i cyfrowych. Jest obecnie stosowane do drukowania podłoży płaskich i kształtek w zasadzie bez ograniczenia materiałów i kształtów służących do ich wykonania (od drewna, szkła, metalu, poprzez produkty papierowe do tworzyw sztucznych). Głowice drukujące techniką natryskową są stosowane także do znakowania wielu różnych przedmiotów, w tym i opakowań oraz ostatnio nawet tafle lodowe [18].

Podłoża płaskie papierowe

Do drukowania cyfrowego natryskowego (ink-jet) papier, poza ogólnymi wymaganiami, musi spełniać wymagania szczegółowe wynikające ze stosowanej tech-

niki oraz wymagania narzucone przez stosowane maszyny. Według danych podanych przez koncern UPM [12] papier stosowany do drukowania natryskowego musi charakteryzować się odpowiednią absorpcją stosowanego atramentu (farby), odpowiednią reprodukcją barwy (odpowiednim gamutem barwy), niską skłonnością do kurczenia się (skurczu) oraz wodotrwałością.

Drukowanie natryskowe (ink-jet) jest obecnie powszechnie stosowane w urządzeniach biurowych tak monochromatycznych, jak i wielobarwnych oraz w monochromatycznych i wielobarwnych urządzeniach stosowanych do drukowania przemysłowego i wielkoformatowego. W tych trzech rodzajach maszyn i urządzeń drukujących natryskowo najczęściej stosowanym podłożem drukowym jest papier. Do urządzeń biurowych najczęściej stosowany jest wysokiej lub średniej klasy jakościowej papier ogólnego stosowania. Wyjątek stanowi drukowanie na urządzeniach biurowych zdjęć wielobarwnych, do których jest niezbędny specjalny do tego celu papier.

W przypadku technologii drukowania cyfrowego metodą natryskiwania farby – ink-jet są stosowane specjalne papiery. Muszą one być przede wszystkim odporne na działanie powszechnie stosowanych przy tej technice drukowania farb wodnych. Dlatego też możliwości stosowania zwykłych papierów są mocno ograniczone. Nie można stosować na przykład papierów o niskich gramaturach (do 135 g/m^2), chociaż i tak w przypadku stosowania farb wodnych zaleca się stosowanie papierów wodotrwałych.

W technice drukowania natryskowego są stosowane głównie farby ciekłe, w których zawartość cieczy wynosi od 50 do 90%. W związku z tym papiery przeznaczone do tej techniki muszą spełniać specyficzne wymagania odnośnie zdolności absorpcyjnych i właściwości powierzchni. Istotne znaczenie mają w tym przypadku skład włóknisty i budowa papieru oraz wielkość i kształt porów. Farba w technice natryskowej musi pozostać na powierzchni papieru, nie może wnikać głęboko w papier.

Stan papieru, a przede wszystkim jego powierzchni, ma znaczący wpływ na jakość uzyskanych odbitek. Jeśli odbitki są wielobarwne, jakość papieru staje się jeszcze bardziej istotna, ponieważ będzie on zmuszony przyjąć kilka warstw farby. Dodatkowym czynnikiem jest czas, gdyż proces drukowania odbywa się z dużą prędkością. Zatem, na papierze będzie musiała ulec utrwaleniu ogromna liczba mikrokropeł farby o barwach podstawowych, które mogą się mieszać tylko w takim w stopniu, jaki jest wymagany do otrzymania barw pochodnych. Dlatego też chłonność

papieru musi być odpowiednio dostosowana do rodzajów farb stosowanych w technologii *ink-jet*. Chłonność nie może być ani za duża, ani za mała, lecz taka, aby pozwoliła na uzyskanie wysokiej jakości wielobarwnego obrazu na odbitce.

Kropla, która padnie na powierzchnię papieru, musi schnąć szybko, aby uniknąć jej rozprzestrzeniania się (rozpływania) na sąsiednie włókna papieru, na które ta kropla nie padła. Przyjmuje się, że czas schnięcia kropli nie powinien przekroczyć 3 sekund. Natychmiastowe zaabsorbowanie farby przez podłoże też nie jest pożądane. Ten krótki czas, od chwili naniesienia na podłoże papierowe kropli farby do momentu jej wyschnięcia, pozwala na powstanie kolorów drugo- i trzeciorzędowych w wyniku połączenia barw pierwszorzędowych. W przypadku, kiedy farba jednak „wędruje” wzdłuż włókien papierowego podłoża, możemy zaobserwować pogorszenie jakości obrazu na odbitce. Obniża się rozdzielczość, pogarsza się ostrość obrazu. W celu przyspieszenia absorpcji farby podłoża mogą posiadać specjalne powłoki. Zastosowanie takiej powłoki umożliwia otrzymanie obrazu o wysokiej ostrości i doskonałej gęstości optycznej. Dlatego też często papiery przeznaczone do zadrukowania metodą *ink-jet* są powlekane specjalnymi mieszankami pigmentowo-klejowymi. Niektóre urządzenia (np. firmy Canon) natryskują na zwykły papier specjalny podkład (Ink Optimizer P-POP), który zabezpiecza powierzchnię papieru przed rozlewaniem się na niej atramentu. Jednakże właściwości chłonne i sorpcyjne powierzchni papieru muszą być ściśle dostosowane do systemu nanoszenia atramentu przez głowicę drukującą [19].

Praktycznie każdy producent maszyn *ink-jet* sprzedaje papiery do swych urządzeń pod nazwami własnymi (swoimi).

Papiery do maszyn *ink-jet* są przystosowane do współpracy z farbami wodnymi stosowanymi w systemach termicznych oraz piezoelektrycznych. Najczęściej występują w sześciu rodzajach: *Matt*, *Semigloss*, *Gloss*, *Photogloss*, *Photomatt*, *Water-Resistant* (wodotrwały).

- *Matt* i *Semigloss* są produkowane w gramaturach 140 i 170 g/m²,
- *Photogloss* i *Photomatt* w gramaturze 200 g/m²,
- *Water-Resistant* w gramaturze 140 g/m².

Papiery przeznaczone do drukowania farbami rozpuszczalnikowymi (tzw. *solvent*) oraz do farb stałych (stopione woski) mają z reguły inny zakres gramatur od 90 do 180 g/m². Różnią się one białością i połyskiem. Poza tym są przeznaczone do drukowania jedno- lub dwustronnego.

Współczesny rynek, który wykazuje coraz większe zapotrzebowanie na druki niskonakładowe, sprawia, że liczba zainstalowanych maszyn do drukowania cyfrowego stale rośnie. W związku z tym musiały pojawić się również odpowiednie jakości papiery drukowe. Było to tym ważniejsze, że poprawiająca się ciągle jakość drukowania cyfrowego wymusza stosowanie podłoży o coraz lepszych właściwościach. W przeciwnym wypadku otrzymane odbitki mogą być np. nieostre lub posiadać niedostateczną trwałość.

W początkowym okresie stosowania drukowania cyfrowego przystosowywano do niego (dobierano po próbach) papiery produkowane (przeznaczone) do innych technik drukowania. Następnie rozpoczęto produkcję specjalnych papierów **przeznaczonych (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.

Obecnie następuje powrót do korzeni, czyli staramy się dobrać odpowiedni papier analogowy do drukowania natryskowego. O możliwości zastosowania papieru analogowego do drukowania natryskowego będzie decydował rodzaj zastosowanego drukowania natryskowego, rodzaj użytych farb (atramentów) i wymagana jakość druku. Na pierwszy rzut oka widać, że nie da się zastosować innego papieru do drukowania natryskowego wielobarwnych zdjęć fotograficznych niż specjalnie **do tego celu produkowanego (przeznaczonego) papieru**.

Krótką charakterystyką wymagań stawianych papierom używanym w drukowaniu natryskowym została przedstawiona poniżej [20].

Wymagania wobec papierów przeznaczonych do drukowania natryskowego są determinowane przez cztery główne czynniki: jakość druku (a w zasadzie jego rozdzielczość), rodzaj stosowanego atramentu (farby), charakter powierzchni i chłonność zadrukowywanego papieru.

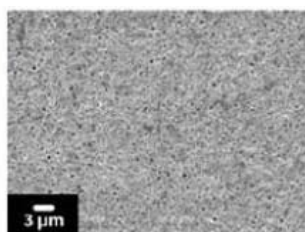
Rozdzielczość uzyskiwanych obrazów w drukowaniu natryskowym zamyka się najczęściej w przedziale 360÷720 dpi.

Stosowane papiery muszą być przede wszystkim odporne na działanie powszechnie stosowanych przy tej technice drukowania atramentów (farb) wodnych. Dlatego też możliwości stosowania w przypadku używania farb wodnych zwykłych papierów jest mocno ograniczone. Nie można stosować na przykład papierów

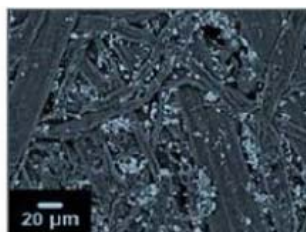
o niskich gramaturach (do 135 g/m^2), chociaż i tak w przypadku stosowania farb wodnych zaleca się stosowanie papierów wodotrwałych.

W technice drukowania natryskowego stosowane są głównie farby ciekłe, w których zawartość cieczy wynosi od 50 do 90%. W związku z tym papiery przeznaczone dla tej techniki muszą spełniać specyficzne wymagania odnośnie do zdolności absorpcyjnych i właściwości powierzchni. Istotne znaczenie mają w tym przypadku skład włóknisty i budowa papieru oraz wielkość i kształt porów. Farba w technice natryskowej musi pozostać na powierzchni papieru, nie może wnikać głęboko w papier.

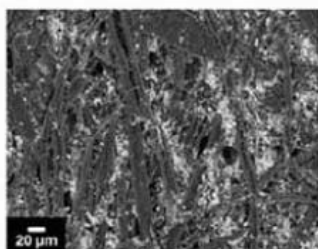
Papiery przeznaczone do drukowania farbami rozpuszczalnikowymi (tzw. *solvent*) oraz do farb stałych (atramenty sublimacyjne) mają z reguły inny zakres gramatur od 90 do 180 g/m^2 . Różnią się one białością i połyskiem. Poza tym są przeznaczone do drukowania jedno- lub dwustronnego.



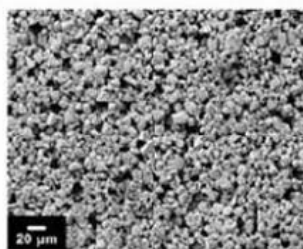
Papier powlekany do
drukowania offsetowego



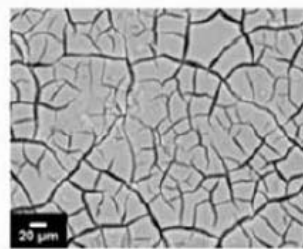
Uniwersalny papier
offsetowy



Pigmentowany papier
do drukowania natryskowego



Powlekany papier do
drukowania natryskowego



Papier do drukowania
natryskowego o
fotograficznej
jakości obrazu

Rys. 8.2. Różna jakość powierzchni papieru stosowanego do drukowania natryskowego

Źródło: Savanhholm E.: *Printability and Ink-Coating in Inkjet Printing. Dissertation, Karstand University Studies 2007, ss. 23-24.*

Przedstawiony przegląd stosowanych podłoży drukowych nie obejmuje podłoży stosowanych przy drukowaniu wielkoformatowym.

Tektury faliste, płyty papierowe (plaster miodu) itp. są zadrukowywane zazwyczaj do grubości 15,9 mm w dużych formatach (1067 mm szer. x 2,4 m dł.) atramentami wodnymi [22].

Techniką natryskową zadrukowywane są **kształtki papierowe** – pojemniki wykonane z masy papierowej (pojemniki na jajka, do pakowania owoców itp.). Są zadrukowywane wielobarwnie lub tylko znakowane jednym lub dwoma kolorami.

Podłoża płaskie niepapierowe

W przypadku podłoży płaskich niepapierowych praktycznie nie występują ograniczenia materiałowe. Pewnym ograniczeniem jest zazwyczaj grubość zadrukowywanego podłoża, która najczęściej nie przekracza kilku centymetrów.

W związku z powyższym w technice natryskowej są zadrukowywane płyty z tworzyw sztucznych, sztywne ich arkusze, płyty kanalikowe, blachy (aluminiowe i stalowe), folie z tworzyw sztucznych i syntetycznych, papiery syntetyczne, folie samoprzylepne, tkaniny i włókniny. Wachlarz stosowanych rodzajów atramentów jest tak duży, że istnieje możliwość doboru atramentu do każdego możliwego rodzaju materiału (podłoża), które ma być zadrukowywane.

Drukowanie natryskowe przy niskich nakładach konkuruje z sitodrukiem, również i w zakresie nadruków na blasze. W tym celu są stosowane specjalnie plotery natryskowe. Przykładem takiego zastosowania może być ploter płaski firmy INX Intl. Ink Co. MD1000 drukujący z wykorzystaniem atramentów utrwalanych promieniowaniem UV specjalnie opracowanych przez firmę INX Intl. Ink Co. do drukowania blach metalowych [23].

Kształtki niepapierowe

Drukowanie natryskowe (*ink-jet*) na kształtkach metalowych

Technologia drukowania natryskowego pozwala zadrukowywać metalowe pojemniki w postaci cylindrycznej oraz zamknięcia koronowe (kapsle) i inne, ale w odróżnieniu od techniki typoffsetowej przeznaczona jest do niskich nakładów. Koszt zadruku małych nakładów metodą cyfrową będzie mniejszy w porównaniu z techniką typoffsetową, a dodatkową zaletą będzie szybkość wykonania zlecenia, czyli drukowanie na żądanie (print-on-demand). Górna granica przy opłacalności druku nakładu metodą druku cyfrowego nie jest z góry określona i zależy przede wszystkim od rodzaju maszyny drukującej, osobliwości zlecenia, kosztów atramentów i in. czynników.

Na współczesnym rynku można znaleźć kilka rozwiązań technologicznych na bazie drukowania natryskowego przeznaczonych do zadrukowywania kształtek metalowych, ale są one absolutną nowością, tak w zakresie drukowania cyfrowego opakowań jak i drukowania natryskowego. Były one prezentowane po raz pierwszy w 2014 roku na międzynarodowych targach Interpack 2014 (Düsseldorf) i Metpack 2014 (Essen). Mogą być wykonane w postaci odrębnego urządzenia lub modułu drukującego. Urządzenia te, oprócz metalowych puszek napojowych (aluminiowych) i pojemnikach areozolowych, pozwalają drukować na opakowaniach z innych surowców, na przykład na butelkach i tubach z tworzyw sztucznych (PE, PP, PET), tubach tekturowych, a głowice drukujące mogą być dostosowane także do drukowania lub znakowania zupełnie innych podłoży, takich jak na przykład tektura falista czy folie lub/ i płyty z tworzyw sztucznych [24-27].

Uzyskuje się wysokojakościowy nadruk wielobarwny o rozdzielczości do 1200 dpi. Szybkość drukowania jest uzależniona od kształtu i wynosi od 80 do 240 opakowań na minutę [28].

8.6. Podłoża w drukowaniu wielkoformatowym

Druki wielkoformatowe (LFP – ang. *large format printing*) są wykonywane na materiałach o powierzchni A0 (841 x 1189 mm) i większej i są nimi na przykład duże plakaty. Do ich drukowania stosuje się technikę sitodrukową, offsetową i cyfrową. Z technik cyfrowych są stosowane elektrofotografia, technika natryskowa i sublimacyjna. Największy udział wśród technik cyfrowych ma technika natryskowa. Udział w rynku druków wieloformatowych technik cyfrowych zbliża się do analogowych. Do drukowania wielkoformatowego są używane kopiarki i drukarki laserowe oraz plotery i maszyny natryskowe (*ink-jet*). Papier i inne podłoża do tego rodzaju maszyn są produkowane w zwojach (rolkach) o szerokościach odpowiadających szerokości maszyn. Zwoje zawierają najczęściej 100, 150 lub 175 m papieru.

Podłoża do wielkoformatowego drukowania elektrofotograficznego

Podłoża te są stosowane do drukowania i kopiowania w wielkoformatowych maszynach i kopiarkach stosujących drukowanie elektrofotograficzne przeznaczonych głównie do zastosowań architektonicznych, tj.: do drukowania i kopiowania planów, map, projektów itp. Są to najczęściej zwoje o szerokości dopasowanej do konkretnych maszyn: papieru służącego do preprintu lub do kopiowania elektrofotograficznego (kserograficznego) o gramaturze 80 g/m² lub/i papierów półprzezroczystych (kalki rysunkowej) o gramaturze 90 g/m². Od papierów, które są bez-

drzewne wymagana jest wysoka białość i gładkość oraz ściśle określona zawartość wilgoci wynosząca 3,5-4,5% przy wilgotności względnej w opakowaniu 35-45% w temperaturze $20\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Kalka rysunkowa produkowana jest metodą intensywnego mielenia masy celulozowej. Powierzchnia kalki jest najczęściej satynowana na mat (tj. bez połysku), barwa biała. Kalka charakteryzuje się dużą przezroczystością.

Podłoża do wielkoformatowego drukowania natryskowego

Do wielkoformatowego drukowania ink-jet obok tworzyw sztucznych, papierów syntetycznych i tkanin są stosowane także różnego rodzaju papiery specjalnie dedykowane do tej techniki drukowania cyfrowego. Najczęściej są to przetworzone papiery w postaci ich laminatów. Minimalna wymagana rozdzielczość wydrukowanego obrazu to 720 dpi. Papiery powlekane o wysokiej jakości umożliwiają uzyskanie rozdzielczości obrazu 1440 dpi. Papiery takie po zadrukowaniu powinny szybko schnąć, tak aby uniknąć rozprzestrzeniania się farby na włókna sąsiadujące z naniesioną kroplą farby. Zjawisko takie pogarsza jakość druku, zmniejsza rozdzielczość i ostrość obrazu. Rozprzestrzenianie się farby (atramentu) inkjetowej wzdłuż włókien papieru jest określane terminem *wicking*.

Drozsze podłoża papierowe w celu wyeliminowania takiego zjawiska są powlekane specjalną warstwą, która absorbuje farbę. Papiery te są wysokiej jakości, z dodatkowymi warstwami pokrywającymi, zapewniającymi mniejsze rozplýwanie się atramentu po powierzchni i puchnięcie niż zwykły papier. Poprzez utrzymanie atramentu na powierzchni otrzymujemy zredukowanie efektu rozplýwania (wchłaniania) atramentu, jak również bardziej intensywny kolor, gęstość i ostrość [29].

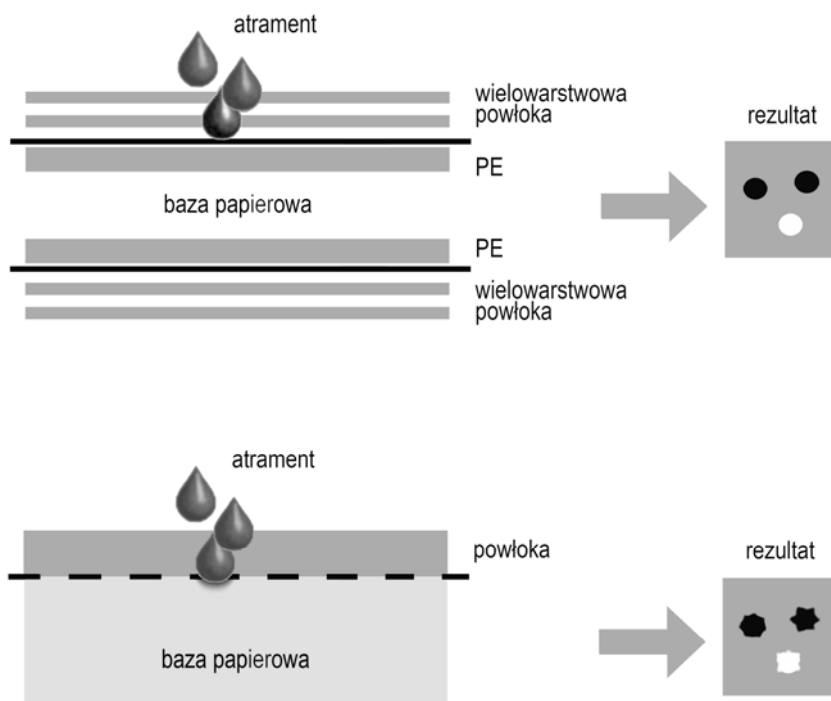
Stosowane są najczęściej papiery o gramaturze 120 g/m^2 , powlekane z matowymi powłokami umożliwiającymi drukowanie zarówno metodą termiczną, jak i piezo.

Drugim rodzajem papierów jest tzw. papier *Blue Back*, tj. specjalny papier wodotrwały z białą powierzchnią do drukowania i niebieskim spodem do przyklejania. Gramatury tych papierów zamykają się zwykle w przedziale $120\text{-}140\text{ g/m}^2$. Są specjalne gatunki tych papierów przeznaczone do drukowania atramentami rozpuszczalnikowymi, wodnymi i olejowymi.

Oddzielną grupę stanowią papiery ogniotrwałe. Papiery ogniotrwałe są produkowane najczęściej w gramaturach $80\text{ i }130\text{ g/m}^2$ i w kilku kolorach. Do drukowania są stosowane tusze pigmentowane. Mogą być one także stosowane do fotokopiarek i drukarek laserowych.

Kolejna grupa to papiery wodotrwałe o gramaturach 180-200 g/m² imitujące głównie płótna, przeznaczone do drukowania wielkoformatowych plakatów (posterów).

Osobną grupę stanowią papiery lub ich laminaty przeznaczone do drukowania wielkoformatowych zdjęć. Podczas produkcji tego typu papierów na papier podłożowy nanosi się warstwę PE (polietylenu)/RC (powłoka wielokrotna), co daje im przewagę nad innymi papierami używanymi jako bazy papieru powlekanego metodą odlewu (*cast-coated papers*).



Rys. 8.3. Porównanie papieru z warstwą PE i papieru zwykłego – bez warstwy PE
 Źródło: Jakucewicz S.: *Papier do drukowania właściwości i rodzaje*, Michael Huber Polska, Warszawa 2010, s. 309.

Nowe materiały to np.: Ekoplakat (folia PE przystosowana do drukowania, o odpowiedniej białości), folie winylowe graficzne Controltac, tkaniny banerowe o splocie płótna, folie PVC samoprzylepne z usuwalnym klejem, tafle szklane przygotowane do drukowania itp.

Analiza materiałów dedykowanych wielkoformatowemu drukowaniu natryskowemu umożliwi zaobserwowanie tendencji dzisiejszego rynku. Obecnie głównym zastosowaniem tej techniki jest reklama. Przyglądając się ulicom miast,

z łatwością można dostrzec liczne plansze, tablice, flagi czy panele. Reklama zewnętrzna jak i wewnętrzna swój rozwój zawdzięcza licznym zaletom, m.in. jest tańsza niż telewizyjna, a jej świadome wykorzystanie pozwala osiągnąć porównywalne efekty. Ponadto różnorodne rozwiązania pod względem wykorzystywanych nośników zwiększa jej atrakcyjność.

Dane podłoże jest bardziej atrakcyjne od innych, m.in. gdy charakteryzuje się szerszym zakresem zastosowań. Staje się tak, kiedy możliwe jest jego wykorzystanie na wcześniej niedostępnych powierzchniach bądź w bardzo trudnych warunkach atmosferycznych. Czynniki te bezpośrednio wpływają na rozwój materiałów do drukowania wielkoformatowego. Ponadto, producenci starają się zaferować coraz to nowsze i bardziej ekologiczne produkty. Wiąże się to ze zwiększającym się trendem na działania na rzecz środowiska naturalnego. Różnego rodzaju organizacje na całym świecie zmuszają producentów do nieustannych prac nad poprawą bezpieczeństwa używanych materiałów.

Podsumowując, można stwierdzić, że cyfrowe drukowanie wielkoformatowe mimo tego, że przyjęło się już na dobre w aplikacjach o przeznaczeniu zewnętrznym oraz wewnętrznym (takich jak np. plakaty czy billboardy) to kwestia ochrony środowiska wciąż stymuluje rozwój i adaptację bardziej ekologicznych materiałów oraz technologii produkcji.

Wielkoformatowe drukowanie sublimacyjne

W technice drukowania termosublimacyjnego występuje wariant drukowania wielkoformatowego. Wielkoformatowym cyfrowym drukowaniem termosublimacyjnym „zadrukowywane” (uszlachetniane) są tkaniny poliestrowe głównie: w postaci flag, dywanów, taśm itp. o maksymalnej szerokości zwoju 1000 mm.

Wykorzystując drukowanie termosublimacyjne, można również zadrukowywać wiszące banery reklamowe, zasłony do przebieralni sklepowych, pościel, obrusy reklamowe i inne materiały na specjalne zamówienia klientów.

Podstawową właściwością nadruków na tkaninach jest trwałość. Jedno jest istotne: tkanin zadrukowanych nie wolno prać w temperaturach powyżej 40°C.

8.7. Podłoża do cyfrowych drukarek biurowych

Specyfiką podłoży stosowanych do drukowania w urządzeniach biurowych jest ich ograniczony format. W przypadku drukowania arkuszowego do A4 lub A3 oraz ograniczenia stosowanych gramatur lub grubości. W przypadku urządzeń zwojowych ograniczona szerokość wstęgi. Ponadto stosowane podłoża powinny być

w miarę uniwersalne, czyli stosowane do kilku technik czy też urządzeń. Udało się to w zasadzie tylko w przypadku papieru do kopiowania.

Papier do drukarek elektrofotograficznych

Papier do kopiowania zwany także kserograficznym to najczęściej papier odmiany bezdrzewnej, rzadziej półdrzewnej lub makulaturowej, stosowany w kopiarkach działających według różnych metod utrwalania tonera lub atramentu. Najczęściej jest stosowana metoda utrwalania na ciepło, rzadziej na zimno. Do każdej z metod papier musi mieć nieco inne właściwości.

Papier kserograficzny jest najczęściej wytwarzany jako klejony w gramaturach 80, 90 i 100 g/m² w arkuszach A4 lub A3 (rzadziej w gramaturach: 120, 160, 200, 220, 250, 280, 300 g/m²). Papier kserograficzny jest także produkowany w postaci zwojów najczęściej o szerokości 210, 297, 420 mm (rzadziej o szerokościach: 594, 620, 841, 860 mm, papier o tych szerokościach jest wykorzystywany przede wszystkim w zwojowych maszynach cyfrowych). Papier kserograficzny jest najczęściej produkowany w gramaturach 80, 90, 100, 110 i 120 g/m².

Papier kserograficzny w zależności od swych właściwości, w tym i od białości, jest produkowany w różnych klasach jakościowych.

Ma on powierzchnię matową lub satynowaną o barwie białej lub innej jasnej, jest także produkowany jako kolorowy. Papier kserograficzny musi się charakteryzować ściśle określoną grubością, sztywnością, gładkością oraz odpowiednimi właściwościami elektrycznymi i optycznymi (białość CIE, nieprzezroczystość, odcień). Papier kserograficzny nie jest produkowany w gramaturach poniżej 75 g/m² ze względu na zbyt małą sztywność.

W zależności od systemu utrwalania obrazu papier kserograficzny musi mieć różną zawartość wilgotności bezwzględnej. Dla papierów, w których obraz utrwalany jest na gorąco (najczęściej występujący sposób utrwalania) wilgotność bezwzględna papieru powinna się zamykać w granicach $4,5 \pm 0,8\%$, co odpowiada wilgotności względnej papieru 35-45% w temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ i jednocześnie zapewnia, że papier „płasko leży”.

Papier kserograficzny w zależności od białości CIE (dotyczy tylko papierów białych) i przerabialności (kopiowania z odpowiednią szybkością, bez pylenia papieru i zacięć) produkowany jest w następujących klasach jakościowych (podział ze względu na białość CIE):

powyżej 166 ± 3 CIE papier klasy A + (A plus),

165 ± 3 CIE papier klasy A,

155 ± 3 CIE papier klasy B + (B plus),

146 ± 3 CIE papier klasy B,

136 ± 3 CIE papier klasy C.

Wyższa białość oznacza zazwyczaj niższą nieprzezroczystość. W związku z tym do papierów jakości A i A + stosuje się specjalne wypełniacze, np. strącony węgiel wapnia na nośniku (PCC). Nośnikiem może być np. polistyren. Te specjalne wypełniacze zapewniają stałość nieprzezroczystości pomimo wzrostu białości CIE. Wypełniacz tego typu jest około dwóch razy droższy od normalnie stosowanych wypełniaczy. Fakt ten powoduje, że papiery klasy A i A + są drogie. Papier klasy jakościowej A jest niezawodny w przerobie, posiada też wysokie walory estetyczne. Wysoka cena papieru klasy A spowodowała produkcję papieru kserograficznego o właściwościach pośrednich między klasą A i B; papier ten nazywany jest B plus (B +).

Ostatnio zaczęto produkować papiery kserograficzne trójwarstwowe: warstwa środkowa z masy z odzysku (tj. z makulatury), warstwy zewnętrzne z celulozy TCF [30] (lub w układzie trzech takich samych warstw ECF/ECF/ECF) [31]. Jest to tzw. technologia Triotec® Sandwich Technology. Produkowane są wg tej technologii papiery o gramaturach 80 i 90 g/m². Umożliwia ona zaprojektowanie wewnętrznej części papieru z odzyskanych włókien, co daje wysoką nieprzezroczystość i zbudowanie zewnętrznych warstw z celulozy TCF, co gwarantuje wysoką jakość drukowania.

Na rynku spotykane są także, i to głównie w formacie A4, papiery do kopiowania (kserograficzne) powlekane. Nie są to jednak specjalne papiery kserograficzne, ale papiery przeznaczone do kolorowego drukowania cyfrowego, w tym drukowania elektrofotograficznego w formacie A4.

Papiery kserograficzne o wyższej jakości nadają się nie tylko do wykonywania kopii kserograficznych, ale również do drukarek laserowych i ink-jet (natryskowych biurkowych) czarno-białych oraz kolorowych. Ponadto papier kserograficzny jest stosowany do drukowania offsetowego, do faksów oraz do maszyn do pisanania.

Papier do drukowania kolorowego ink-jet

Często do drukowania kolorowego ink-jet (w drukarce biurowej) są stosowane papiery kserograficzne wyższych klas jakościowych A plus, A, B plus, czasami B. Nie zawsze otrzymuje się druki dobrej jakości. W związku z tym produkuje się także specjalne papiery powlekane do drukowania ink-jet. Przyczyną takiego postępowania jest fakt, że kolorowe farby (atramenty) do drukowania ink-jet są farbami wodnymi. Krople farby nałożone na papier muszą szybko schnąć, dlatego też papier

musi mieć odpowiednio spreparowaną powierzchnię. Taką powierzchnię uzyskuje się przez specjalne powierzchniowe zaklejenie, a następnie powleczenie powłoką absorpcyjną. Tego typu papiery są najczęściej produkowane w odmianie bezdrzewnej oraz gramaturach 70 i 80 g/m².

Papiery „fotograficzne” po zadrukowaniu mają naśladować tradycyjną fotografię, zarówno pod względem jakości wydruku, jak i wyglądu podłoża (odpowiednia grubość, sztywność i połysk). Używane są do obrazów o wysokiej intensywności i jednocześnie dużej wierności barwy. Jest to papier dwustronnie powlekany ekstruzyjnie polietylenem, o gramaturze 70-150 g/m². Z jednej strony jest biała powłoka o dużej nieprzezroczystości (> 90%), którą uzyskuje się przez dodanie do polietylenowi bieli tytanowej, a następnie traktuje się ją wyładowaniami koronowymi i powleka roztworami lub dyspersjami polimerowymi mającymi charakter super absorbentów. Z drugiej strony powłoka jest przezroczysta. O podobnych parametrach są produkowane papiery jednostronnie powlekane (klasyczną mieszanką powlekającą) z połyskiem przeznaczone do drukowania zdjęć.

Papiery samokopiujące zadrukowywane w drukarkach laserowych i kserokopiarkach

Opracowano specjalne papiery, które można zadrukować w drukarkach laserowych oraz w drukarkach ink-jet w celu wykorzystania sprzętu biurowego do wstępnego zadrukowania papierów samokopiujących. Wyżej wymienione drukarki służą jedynie do drukowania tła (podkładu). W rezultacie zastosowania drukarek laserowych, kserokopiarek i drukarek ink-jet otrzymuje się druk (formularz) z pustymi miejscami do wypełnienia i kopiowania. Kopiowanie odbywa się metodą tradycyjną w sposób mechaniczny przy użyciu: ołówka, długopisu, maszyny do pisania lub drukarki igłowej.

Papiery samokopiujące do drukarek laserowych są produkowane w gramaturze 80 g/m² i formacie A4 [32]:

System wieloarkuszowy CB/CFB/CF w zestawach 3-kartkowych w kolejności normalnej i odwrotnej oraz oddzielnie.

Arkusze CB o barwie białej, arkusze CFB i CF o barwie białej, żółtej i różowej. Zestawy 2- lub 3-arkuszowe (tj. CB/CF lub CB/CFB/CF).

System SC, barwa biała (Papier do drukarki laserowej/arkusz SC).

Obróbka po drukowaniu – tylko klejenie.

Papier do drukarek ink-jet [33]:

Format A4, biały.

Zakres kopiowania 360-720 dpi.

Tylko system SC ze specjalnymi papierami wierzchnimi przeznaczonymi do drukowania oryginału.

Trzy różne rodzaje zestawów dwukartkowych (z różnymi specjalnymi papierami wierzchnimi i tym samym papierem spodnim z warstwą SC) do różnych zastosowań z różną jakością uzyskiwanych druków. Papiery wierzchnie w zależności od zastosowań nie mają powłoki lub mają powłokę spodnią albo powłokę wierzchnią.

W systemie standard papier przeznaczony na oryginał jest papierem niepowlekanym. W systemie super, gdzie są kopiowane skomplikowane teksty i tabele, papier przeznaczony na oryginał jest powlekany od spodu. W ten sposób uzyskuje się lepszy kontakt z powłoką SC, a co za tym idzie – wyższą rozdzielczość kopii. W systemie foto papier przeznaczony do drukowania oryginału ma specjalną matową powłokę wierzchnią zapewniającą odpowiednią rozdzielczość niezbędną do drukowania wielobarwnych zdjęć.

Niepapierowe podłoża do cyfrowych drukarek biurowych

Są to najczęściej specjalnie powlekanie folie PET (z poli(tereftalanu etylenu)) lub/i PC (poliwęglany) o grubościach 50÷100 µm. Powłoki umożliwiają drukowanie na folii za pomocą drukarki elektrofotograficznej lub natryskowej. Inne powłoki są dla elektrofotografii i inne do drukowania natryskowego. Oczywiście inne do monochromatycznego i wielobarwnego drukowania.

8.8. Zakończenie

W przedstawionej powyżej charakterystyce nie wyczerpano wszystkich wariantów i rodzajów podłoży stosowanych w technikach drukowania cyfrowego. O papierach stosowanych w jonografii nie napisano dlatego, że ta technika korzysta z papierów stosowanych w elektrofotografii. Podobnie o magnetografii, która ostatnio przeżywa swój renesans przy monochromatycznym drukowaniu książek, gdyż są w niej stosowane analogowe papiery (głównie offsetowe) lub papiery stosowane w drukowaniu elektrofotograficznym.

Nie przedstawiono charakterystyk papierów stosowanych w drukowaniu sublimacyjnym ze względu na niewielki zakres stosowania tej techniki. Nie przedstawiono także wszystkich możliwych wariantów materiałowych kształtek stosowanych do drukowania cyfrowego ze względu na brak szczegółowych informacji związanych z tym zagadnieniem.

Literatura

- [1] Jakucewicz S.: Techniki drukowania opakowań, *Opakowanie* nr 2, 2015, s. 69.
- [2] Walenski W.: Papier für den Mehrfarbigen elektrostatischen Digitaldruck, *Druckspiegel* nr 5, 1997, ss. 56-60.
- [3] Jakucewicz S.: Imprinta'97, *Przegląd Papierniczy* nr 7, 1997, ss. 426-427.
- [4] Graczyk T.: Sześć kryteriów oceny papieru do cyfrowego druku kolorowego, *Przegląd Papierniczy* nr 3, 1999, ss. 145-146.
- [5] Wandelt P.: Papiernictwo wobec wyzwań XXI w. – szanse i zagrożenia. Papiery do nowych systemów drukowania, *Przegląd Papierniczy* nr 4, 2000, ss. 203-208.
- [6] Jakucewicz S.: Drupa a papiery do drukowania cyfrowego (digitalnego), *Świat Druku* nr 9, 2000, ss. 40-43.
- [7] Jakucewicz S.: Drupa 2000, *Przegląd Papierniczy* nr 6, 2000, ss. 347-350.
- [8] Jakucewicz S.: Papier do drukowania właściwości i rodzaje, Michael Huber Polska, Warszawa 2010, s. 309.
- [9] Gisi B.: High Waves in Preprints. *Polygraph International* nr 2, 2001, ss. 40-41.
- [10] Norberg O.: Dry Toner Technology. Materiały firmy M – real z Sympozjum „Digital Printing Days”, 18-19. 06. 2002.
- [11] Stora Enso Oy: Sheet Feed Electrophotography – technical Handbook, Helsinki 2001, ss. 31-32.
- [12] UPM_Making_Paper_brochure_web_19186_0.pdf – 31.08.2015.
- [13] 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 (słów.).
- [14] Khadzhynova S.: Opakowanie pod znakiem cyfry, *Przegląd Papierniczy* nr 11, 2013, ss. 573-575.
- [15] Anon: Cyfrowy zadruk tektury – Xeikon ma coś dla ciebie, *Świat Druku* nr 3, 2014, s. 26.
- [16] Jakucewicz S.: Papiery do drukowania a techniki drukowania, *Przegląd Papierniczy* nr 10, 2013, ss. 509-513.
- [17] Hewlett-Packard Company: Substrate Optimization and Printing Guidelines for HP Indigo Industrial Digital Presses 2010.
- [18] http://www.poligrafika.pl/SI_pdf/SIP_10_08_2015.pdf.
- [19] Leks-Stępień J.: Porównanie drukowności wybranych papierów do drukarek ink-jet, *Przegląd Papierniczy* nr 7, 2001, ss. 433-435.
- [20] Piłczyńska K., Jakucewicz S.: Papier do przemysłowego drukowania natryskowego, *Przegląd Papierniczy* nr 10, 2013, ss. 531-533.
- [21] Savanholm E.: Printability and Ink-Coating in Inkjet Printing. Dissertation, Karstand University Studies 2007, ss. 23-24.
- [22] Excelagraphix - prospekty firmy Xanté czerwiec 2014 r.
- [23] MD Series of UV. Flatbed Printers Model MD660, MD1000.
http://www.inxinternational.com/mdevolve/MD660_1000Brochure.pdf (12.07.2015).
- [24] Jakucewicz S.: Opakowania metalowe i ich drukowanie. *Opakowanie* nr 7, 2014, ss. 16-19.
- [25] Hinterkopf Captures InterTech Technology Award. Friday, August 15, 2014.
<http://whattheythink.com/news/69876-hinterkopf-captures-intertech-technology-award/> (12.05.2015).
- [26] UV Digital Cylindrical Printer Model CP100.
<http://www.inxinternational.com/cpevolve/cp100brochure.pdf> (12.07.2015).

- [27] Liberty Bottleworks Study. INX Digital CP100 Cylindrical Printers Help Launch a Uniquely American Enterprise.
http://www.inxinternational.com/cpevolve/liberty_bottle_case_study5.11.pdf
(12.07.2015).
- [28] Hinterkopf Technology Partnership. D240 Digital Printer for Cylindrical Hollow Bodies. http://hinterkopf.de/images/stories/_DOWNLOAD/d240_en.pdf (12.07.2015).
- [29] Dzbański D.P., Jakucewicz S.: Podłoża do wielkoformatowego drukowania ink-jet, Poligrafika nr 3, 2005, s. 30.
- [30] <http://www.europapier.com/pl/service/knowhow/technologie-triotec> (08.08.2014).
- [31] http://www.internetstore.ch/mondi-iq-papier-triotec-premium-kopierpapier-a4-weiss-80g-p-737.html?_Manufacturers_id=15 (8.08.2014).
- [32] Giroform Laser SC, Mitsubishi HiTec Paper Bielefeld GmbH, 2004.
- [33] Giroform INK, Mitsubishi HiTec Paper Bielefeld GmbH, 2004.

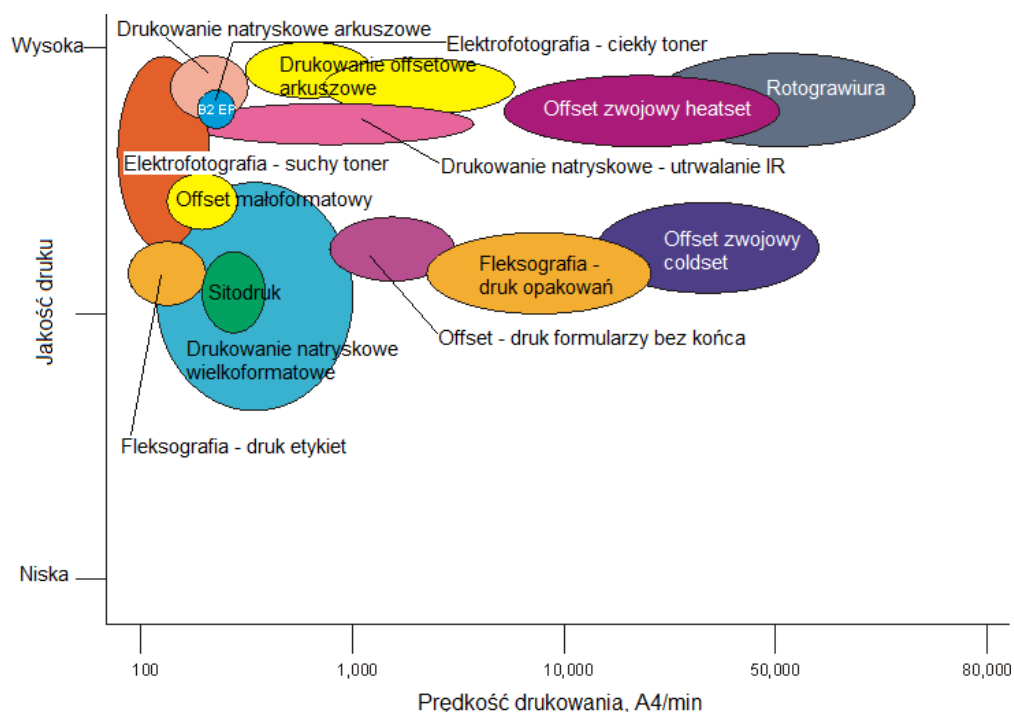
9. PODSUMOWANIE

Drukowanie elektrofotograficzne obecnie znalazło największe zastosowanie wśród technik drukowania cyfrowego, nieco mniejsze, ale także szerokie zastosowanie znalazła również technika drukowania natryskowego. Potwierdza to, przeważająca w stosunku do innych technik drukowania cyfrowego, liczba instalacji maszyn elektrofotograficznych na całym świecie.

Znaczącym ograniczeniem dalszego rozwoju techniki drukowania elektrofotograficznego jest specyfika przenoszenia obrazu tonerowego na podłoże (za pomocą sił pola elektrycznego) oraz konieczność termicznego procesu utrwalania nadruku, co powoduje specyficzne wymagania stawiane podłożom, a to z kolei zawęża zakres ich stosowania. Częściowym rozwiązaniem tego problemu może być drukowanie elektrofotograficzne z ciekłym tonerem wraz z pośrednim sposobem przeniesienia obrazu na podłoże i takie rozwiązania są już na rynku w postaci maszyn Indigo firmy Hewlett-Packard oraz nowych (od 2012 r.) prototypowych rozwiązań innych firm. Zastosowanie ciekłego tonera pozytywnie wpływa również na podwyższenie jakości nadruku.

Drugą, szeroko stosowaną techniką, jest technika drukowania natryskowego, której niewątpliwą zaletą jest szeroki zakres stosowanych podłoży. W drukowaniu natryskowym przez długi czas ograniczeniem była niższa, w stosunku do elektrofotografii, rozdzielczość głowic drukujących. Obecnie ta bariera została pokonana (są głowice drukujące o fizycznej rozdzielczości 1200 dpi i wyższej, które drukują krople o objętości ok. 1 pl) i wydawałoby się, że technika ta zdominuje rynek drukowania cyfrowego. I taka sytuacja ma miejsce na przykład w zakresie drukowania wielkoformatowego. Co się tyczy drukowania nakładowego, to nadal problemem jest uzyskanie wysokiej jakości nadruku na różnych rodzajach podłoży (chłonnych i niechłonnych). Producenci maszyn natryskowych ten problem rozwiązują w różny sposób, a najbardziej rozpowszechnione rozwiązanie w tym zakresie – to zastosowanie primera lub zastosowanie atramentów termotopliwych (w niektórych maszynach w połączeniu z pośrednim przenoszeniem nadruku na podłoże). Należy jeszcze

raz podkreślić, że dynamika przyrostu produkcji wydrukowanej w technice natryskowej jest znacznie wyższa w stosunku do drukowania elektrofotograficznego.



Rys. 9.1. Porównanie jakości druku i wydajności w różnych technikach drukowania cyfrowego i analogowego (klasycznego)

Źródło: Waite N.: *Overview of Global Printing Industry*. Graphispag Digital, Barcelona, April 2013. http://media.frabcon.es/content/5049013/docs/ponencias/Ppt_Waite_Nick.pdf (10.02.2014).

W obydwu technikach elektrofotograficznej i natryskowej trendem w drukowaniu nakładowym jest zwiększenie formatu drukowania do B2, drukowanie dwustronne oraz rozszerzenie gamy zadrukowanych podłoży. Techniki drukowania termograficznego, magnetograficznego i jonograficznego mają bardzo ograniczony zakres stosowania. Na rysunku 9.1 przedstawiono porównanie jakości i wydajności drukowania w różnych technikach drukowania cyfrowego i analogowego (klasycznego).

INDEKS

A

Atrament

- barwinkowy 137, 140, 141, 162
- ceramiczny 159, 160, 161, 162
- dyspersyjny 136, 156
- elektroprzewodzący 164, 165
- lateksowy 153, 154, 155
- olejowy 138, 155
- pigmentowy 137, 138, 140, 155, 159, 163, 164
- rozpuszczalnikowy 137, 143 144, 145, 150, 225
- termosublimacyjny 136, 155, 156
- termotopliwy 124, 137, 150, 151, 152, 153, 234
- utrwalany promieniowaniem UV 121, 130, 132, 134, 138, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 223
- wodny 127, 132, 138, 139, 141, 142, 143, 163, 221

B

- Barwidła 134, 135, 136, 141, 144, 156, 161
Barwniki 27, 136, 137, 140, 141, 146, 149, 156, 177, 178, 186

C

- Chmura pyłowa 40, 43, 89
Cockling 169
CtFilm 13
CtPlate 13, 14, 18, 19, 20
CtPress 14
CtPrint 14, 17
Cyfrowa maszyna drukująca 16, 17

D

- Druk duplex, 52, 64, 72, 93, 94, 95, 124, 213
Druk transakcyjny 6
Druk transpromocyjny 6
Druk zmiennych danych 5, 16, 171
Drukowanie cyfrowe
 - elektrofotograficzne 10, 23-99
 - elkograficzne 203, 202, 204
 - jonograficzne 18, 198, 199, 200
 - magnetograficzne 15, 189, 192

- natryskowe (ink-jet) 103-170, 208, 219, 223, 224
- termograficzne 18, 175, 179, 235

Drukowanie monochromatyczne 63, 91, 231
Drukowanie niskich nakładów 7
Drukowanie na żądanie 5, 7, 223
Drukowanie wielobarwne 15, 40, 63, 67, 72, 83, 182, 183

E

Efekt ducha 96, 97
Elektroda wywołująca 38
Elektrofotografia

- analogowa 24
- cyfrowa 24, 217, 224

Elektromagnes 38, 42, 189, 190, 191
Elektrostatyczny obraz utajony 25, 34, 198
Elkografia 202, 204

F

Folia barwna 181, 183, 186
Folia samoprzylepna 218, 226
Folie PC 231
Folie PET 82, 130, 217, 231

G

Głowica drukująca jonograficzna 199
Głowica drukująca termograficzna 176
Głowica drukująca typu

- Scanning Head 119, 120, 176
- SinglePass 119, 120

Głowica piezoelektryczna 123, 133, 135, 143, 144, 150, 156, 164, 186
Głowica termiczna 109, 177, 179
Głowica zapisująca

- na bazie diod świecących (LED) 36, 39, 69
- na bazie lasera 34, 36

J

Jonografia 198

K

Koalescencja 60, 168
Korotron 24, 29, 30, 44, 74, 75, 76, 84, 87, 90, 192

Krwawienie druku 167
Kserografia 23, 24, 25, 46, 224
Kształtki
– metalowe 207
– z tworzyw sztucznych 130, 207

L

Liczba stopni szarości 20
Liniatura 19, 20, 21

Ł

Ładowanie warstwy fotoprzewodzącej 24, 30, 31, 32, 39, 69, 95

M

Magnetografia 189
Mailing bezpośredni 6, 201
Maszyny do drukowania cyfrowego
– elektrofotograficznego 11, 40, 62-96
– natryskowego 120-134, 208
Mechanizm oczyszczania 54
Mottling 166, 167, 211

N

Nanografia 122, 170
Naświetlanie obrazu 13, 39, 69, 74, 88

O

Objętość kropli 116, 117, 125
Obraz utajony 10, 25, 34, 38, 189, 198
OEM 212

P

Papier termoczuły 177, 178, 179
Papiery autoryzowane 212
Papiery dedykowane 212, 215
Papiery do drukowania cyfrowego 208, 209, 212
Papiery do kopiowania 228, 229
Papiery kserograficzne 228, 229
Papiery samokopiujące 230

Papiery zakwalifikowane 212
Paskowanie 96, 128, 168
Pigmenty 55, 56, 59, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 146, 149, 159, 160, 161, 162
Podłoża do drukowania wielkoformatowego
– elektrofotograficznego 224
– natryskowego 225
– sublimacyjnego 227
Podłoża drukowe
– kształtki 206, 218, 223
– płaskie 206, 217, 218, 223
Podłoża w przemysłowym drukowaniu
– elektrofotograficznym 212
– natryskowym 218
Polimeryzacja kationowa 148, 149
Polimeryzacja rodnikowa 146
Potencjał warstwy fotoprzewodzącej 30, 32, 33, 34, 39, 88
Przenoszenie obrazu tonerowego 43, 44, 69, 83, 90
Przepływ prac 12, 16, 17
Punkt rastrowy 19, 81

R

Rozdzielczość 18, 19, 20, 21, 22, 28, 49, 57, 69, 71, 74, 77, 81, 82, 92, 114, 116,
119, 124, 125, 126, 130, 133, 134, 164, 176, 177, 179, 180, 184, 190, 193, 195,
202, 204, 220, 221, 225, 231, 234
Rozlewanie się atramentu 162, 167

S

Satelity (krople) 169
Serwer DFE 16, 17
Skorotron 29, 30, 31, 44, 54, 55, 68, 69, 73, 74, 78, 87, 88
Stabilizacja steryczna 139
Strzępienie się nadruku 167
Synteza obrazu wielobarwnego 66, 78
System drukowania cyfrowego 16
Szczotka magnetyczna 38, 40, 41, 42, 43, 69, 74, 88, 89

Ś

Światłoczułość 26, 28, 32

T

Technologia natryskowa
– ciągłego strumienia 105, 106, 108, 141, 143, 158

- Kodak Stream 113, 124, 132
- piezoelektryczna 110, 113, 158
- pojedynczych kropeł 105, 109
- termiczna 109

Technologia Océ DI 193, 195

Tektura falista 129, 132, 224

Termografia

- bezpośrednia 175, 177
- pośrednia 175

Termosublimacja 129, 157, 186

Termotransfer 175, 180, 185

Toner

- ciekły 40, 57, 79, 99, 208, 217, 234
- suchy 11, 40, 57, 81, 217

Tryb Greyscale 117

U

Urządzenie wielkoformatowe, 119, 126, 127, 128, 177, 185

Utrwalanie obrazu 92, 94, 192

Utrwalanie termomechaniczne 47

Utrwalanie termiczne 46, 198, 234

Utrwalanie typu Flash Fusing 46, 51, 192

W

Wady druków 96, 166

Walek pod napięciem 24, 31, 43

Warstwa fotoprzewodząca

- na bazie krzemu amorficznego 26, 27, 40
- na bazie żywic fotoprzewodzących 26, 27, 40
- selenowa 26, 40

Warstwa magnetyczna 189, 190

Wywoływanie dyspersyjne 40, 43, 79

Wywoływanie obrazu

- bezpośrednio 38, 39, 40
- rewersyjne 38, 39, 40

Z

Zespół drukujący 68, 85, 193, 194

Zespół utrwalający 50, 68, 192

Zespół wywołujący 42, 68, 74, 90

ISBN 978-83-7283-754-7