

TOMASZ DĄBROWA, JACEK HAMERLIŃSKI,  
JERZY HOPPE, JULIUSZ KRZYŻKOWSKI,  
PRZEMYSŁAW ŚLEBODA, MARIUSZ WOJCIECHOWSKI

Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Poligraficznego

## **Badanie odwzorowania elementów kreskowych w technice wkłęsłodruku przy użyciu cylindrów formowych grawerowanych mechanicznie z zastosowaniem różnych metod i parametrów**

### **Wstęp**

Wkłęsłodruk, ze względu na jego szczególne cechy to technika znajdująca zastosowanie głównie w druku wysokich nakładów opakowań i wielobarwnych czasopism o najwyższych wymaganiach jakościowych – szczególnie w zakresie wierności i stabilności odwzorowania barw. Najwyższa spośród wszystkich klasycznych technik poligraficznych i najłatwiejsza do utrzymania w całym nakładzie stabilność barw jest konsekwencją zarówno relatywnie stałej, zależnej głównie od objętości pojedynczych kałamarzyków, ilości przenoszonej farby, jak i niewielkich zmian wielkości nadrukowywanych mikroelementów, wynikających z usytuowania kałamarzyków farbowych poniżej linii kontaktu cylindra formowego z powierzchnią zadrukowywanego podłoża. Charakterystyczną cechą druków wykonywanych tą techniką jest również mniejsza niż w przypadku innych technik ziarnistość optyczna reprodukowanych obrazów wielotonalnych, zarówno jedno-, jak i wielobarwnych.

Pomimo wielu zalet wkłęsłodruk ma także swoje ograniczenia. Uwarunkowany technologicznie wymóg rozdzielania pojedynczych kałamarzyków farbowych progami rastrowymi jest tego przykładem. Progi rastrowe stanowią oparcie dla ostrza zgarniającego nadmiar farby z powierzchni cylindra i uniemożliwiają jego odkształcenie na długości cylindra. Wynikiem tego ilość przyjmowanej farby zależy jedynie od objętości pojedynczych kałamarzyków, a nie od ich usytuowania wzdłuż osi cylindra formowego. Wymóg rozdzielania kałamarzyków farbowych progami rastrowymi w żaden sposób nie umniejsza zalet tej techniki w przypadku drukowania jedno- i wielobarwnych obrazów wielotonalnych, może być jednak istotnym ograniczeniem przy odwzorowywaniu precyzyjnych elementów kreskowych. Takie elementy rysunkowe, w postaci prostych lub owalnych mikrolinii, liter o bardzo małym stopniu pisma, giloszy itp., często pojawiają się np. w zabezpieczeniach wysokojakościowych druków opakowaniowych. Dokładność ich odwzorowania w dużym stopniu może zależeć od zastosowanej metody i parametrów technologii przygotowania cylindrów formowych [5]. Wpływ tych parametrów na jakość odwzorowania elementów kreskowych był przedmiotem badań, których wyniki przedstawiono w niniejszej publikacji.

Fotochemiczne metody przygotowywania włkłsłodrukowych cylindrów formowych, w których występuje operacja chemicznego lub elektrochemicznego trawienia ich powierzchni, we współczesnej praktyce światowej mają już znaczenie raczej marginalne. Zdecydowanie dominują elektromechaniczne lub laserowe technologie grawerowania warstw metali nanoszonych na powierzchni cylindrów włkłsłodrukowych. Pomimo szeregu ograniczeń najszerzej stosowane jest grawerowanie mechaniczne.

W tradycyjnej metodzie grawerowania mechanicznego, zwanej często metodą „wibracyjną”, pojedyncze kałamarzyki farbowe powstają w wyniku jednokrotnych oddziaływań rylca na metaliczną powłokę cylindra. Sterowanie rylcem polega na impulsowym przemieszczaniu go w kierunku prostopadłym do powierzchni cylindra, przy czym wielkość przemieszczenia zależy od amplitudy impulsu, która z kolei jest zależna od wymaganej wartości tonalnej w danym miejscu. Pełne przemieszczenie (na maksymalną głębokość grawerowania) odpowiada maksymalnej wartości tonalnej. Efektywna liniatura i kąt ustawienia uzyskiwanego rastra włkłsłodrukowego zależą od deklarowanych rozdzielczości (częstotliwości impulsów sterujących) grawerowania po obwodzie i posuwu głowicy wzdłuż tworzącej cylindra. Regulowane ustawienia urządzenia grawerującego to: częstotliwość impulsów, prędkość obrotowa cylindra i posuw głowicy grawerującej [1, 7].

Wszystkie wytwarzane tą metodą kałamarzyki farbowe mają identyczny kształt, uwarunkowany wyłącznie przekrojem ostrza rylca, które zwykle ma formę ostrosłupa o kącie wierzchołkowym  $120^\circ$ . Zastosowanie ostrzy o innym kącie ( $110^\circ$ – $140^\circ$ ) pozwala zmieniać pojemność farbową wytwarzanych kałamarzyków, która przy stałej ich powierzchni wzrasta wraz ze zmniejszeniem kąta „zaostrenia” rylca.

Grawerowanie cylindrów włkłsłodrukowych metodą wibracyjną jest procesem wydajnym i daje bardzo dobre rezultaty jakościowe w przypadku wielotonalnych reprodukcji wielobarwnych. Jednak zastosowanie metody wibracyjnej do grawerowania precyzyjnych elementów kreskowych powoduje, że krawędzie uzyskiwanych linii mają charakterystyczne ząbkowania, odzwierciedlające kształt kałamarzyków farbowych, a ograniczone możliwości zwiększania liniatury rastra nie pozwalają na wyeliminowanie lub wyraźne ograniczenie tego niepożądanego efektu [6].

Aby wyeliminować część ograniczeń charakterystycznych dla tradycyjnego grawerowania metodą wibracyjną, istotnych z punktu widzenia wierności odwzorowywania precyzyjnych elementów kreskowych, do technologii elektromechanicznego wytwarzania cylindrów włkłsłodrukowych wprowadzono nowe rozwiązania w zakresie sterowania pracą głowic grawerujących. Rozwiązania te umożliwiają tworzenie na powierzchni cylindra pojedynczych kałamarzyków w wyniku kilku przejść rylca zamiast jednego. Sposób oddziaływania ostrza rylca na powierzchnię grawerowanego metalu zmieniono z charakterystycznych dla metody tradycyjnej punktowych „uderzeń” na „wzdłużne żłobienia”. Możliwe jest tu wytworzenie siatki kałamarzyków lepiej dopasowanej do charakteru drukowanego obrazu, dzięki temu, że kształt każdego kałamarzyka nie jest już ściśle związany

z zadaną wartością tonalną. Dla tej samej wartości tonalnej i liniatury rastra można przy różnej liczbie przejść rylca wygrawerować kałamazyki różniące się między sobą kształtem. Przykładem takiego rozwiązania jest technologia *Xtreme Engraving* (dalej *Xtreme*) firmy Hell Gravure Systems Inc., ukierunkowana na precyzyjne odwzorowywanie tekstów o niskim stopniu pisma oraz delikatnych konturów elementów kreskowych, spotykanych np. w niektórych zabezpieczeniach druków wartościowych. W technologii *Xtreme* pojedyncze kałamazyki powstają jako wynik kilku przejść rylca. Oprogramowanie sterujące urządzeniem grawerującym jest w stanie zmieniać kształt kałamazyków, dopasowując je do kształtu reprodukowanego elementu graficznego. Na przykład w przypadku grawerowania linii kałamazyki mogą mieć kształt podłużny, lepiej odwzorowujący kontur tego elementu [1, 4].

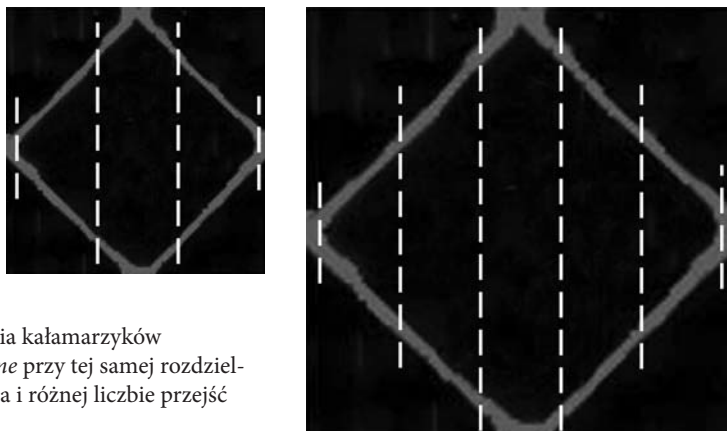
Technologii *Xtreme* nie stosuje się do reprodukcji obrazów wielotonalnych. W przypadku form zawierających dane łączone proces grawerowania odbywa się w dwóch etapach. Jeden z nich realizowany jest metodą *Xtreme* w celu odwzorowania precyzyjnych elementów kreskowych, drugi metodą tradycyjną w celu odwzorowania półtonów.

Proces grawerowania *Xtreme Engraving* wymaga zdefiniowania następujących parametrów [9]:

- rozdzielczości grawerowania (*rated screen*), określającej liczbę przejść rylca grawerującego na jednostkę długości (l/cm) wzdłuż tworzącej cylindra,
- liczby przejść rylca (*supporting screen*) grawerującego wzdłuż tworzącej cylindra podczas formowania pojedynczego kałamazyka oraz progów pomiędzy tworzonym kałamazykiem a kałamazykiem sąsiednim; parametr ten oznacza się liczbą poprzedzoną literą R,
- szerokości linii testowej (*test cut width*), pośrednio określającej również głębokość grawerowania i szerokość ścianek kałamazyków (progów rastrowych),
- *outliningu*, określającego sposób łączenia sąsiadujących ze sobą kałamazyków w kierunku obwodowym cylindra.

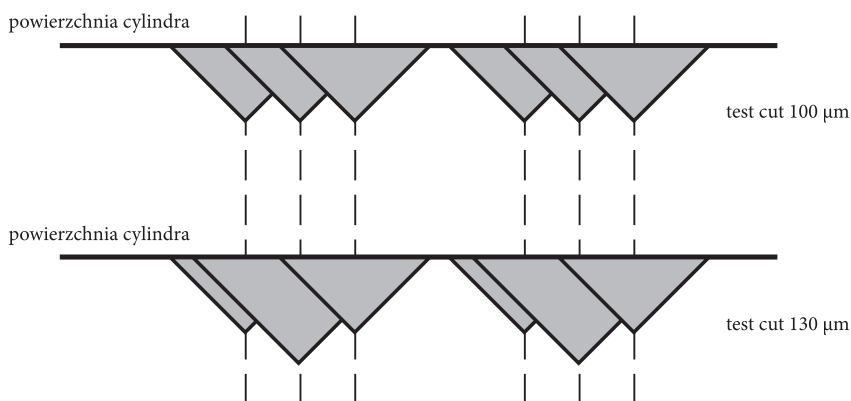
Liniatura rastra, rozumiana jako liczba elementów rastrowych (kałamazyków) przypadających na jednostkę długości, jest zależna od wybranej rozdzielczości grawerowania i liczby przejść rylca. Oznaczenie R4 wskazuje, że z czterech przejść rylca trzy formują kałamazyk, jedno zaś tworzy próg pomiędzy kałamazykami sąsiednimi. R6 oznacza, że kałamazyk jest formowany pięcioma przejściami rylca. Im większa, przy określonej rozdzielczości grawerowania, jest liczba przejść rylca, tym większy uzyskamy kałamazyk i tym samym mniejszą wynikową liniaturę rastra. Dla każdej z rozdzielczości grawerowania dostępne są określone liczby przejść rylca.

Wybrana podczas kalibracji procesu grawerowania szerokość linii testowej (*test cut width*) decyduje o maksymalnej głębokości kałamazyków, a pośrednio także o szerokości progów. Dla każdej kombinacji parametrów rozdzielczości grawerowania i liczby przejść rylca możliwe jest wskazanie jedynie kilku określonych



Rys. 1.  
Schemat formowania kałamarzyków w technologii *Xtreme* przy tej samej rozdzielczości grawerowania i różnej liczbie przejść rylca – R4 i R6 [4]

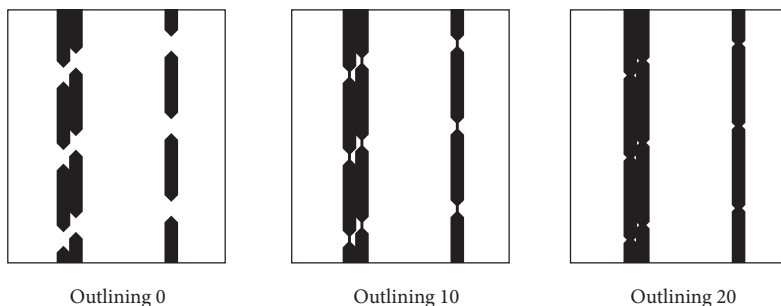
szerokości linii testowej. Szerokość linii testowej służy także dostosowaniu (kontroli) pracy głowicy grawerującej do właściwości (twardości) miedzi pokrywającej powierzchnię cylindra formowego.



Rys. 2.  
Schemat formowania kałamarzyków w technologii *Xtreme* przy różnych ustawieniach szerokości linii testowej

Większa wartość parametru *outlining* oznacza wydłużenie skrajnych części kałamarzyków w kierunku obwodowym cylindra i ich szersze połączenie w celu ułatwienia przepływu farby między nimi i poprawienia reprodukcji krawędzi elementów kreskowych. Parametr ten może przyjmować trzy wartości: 0 – kałamarzyki całkowicie rozseparowane, 10 – pomiędzy kałamarzykami wytworzony zostaje wąski kanał umożliwiający przepływ farby, 20 – wytworzony kanał jest szerszy (rys. 3) [9].

Kombinacje parametrów grawerowania w technologii *Xtreme* są z góry narzucone przez producenta urządzeń grawerujących. W przeciwieństwie do grawerowania wibracyjnego, gdzie możliwe jest ustawianie różnych kątów rastra, w metodzie *Xtreme* kąt rastra wynosi zawsze  $45^\circ$  względem osi cylindra formowego [1, 2].



Rys. 3. Wpływ różnych wartości outliningu w technologii *Xtreme* na sposób łączenia się kałamarzyków (kształt konturów linii)

Zbliżony do *Xtreme* sposób grawerowania cylindrów włkłłodrukowych stosowany jest w technologii pod nazwą *tranScribe*, firmy MDC Max Daetwyler Corporation. Umożliwia on grawerowanie kałamarzyków z rozdzielczością do 200 l/cm i o głębokości do 130  $\mu\text{m}$ , a więc większej niż możliwa do uzyskania przy stosowaniu technologii *Xtreme* (100  $\mu\text{m}$ ) [3].

### Cel i zakres badań

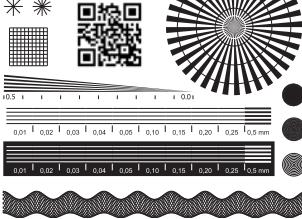
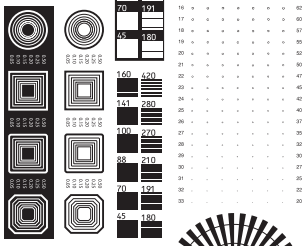
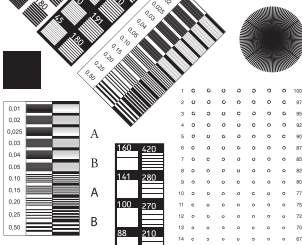
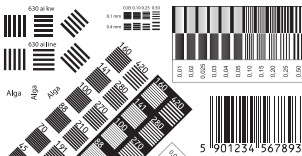
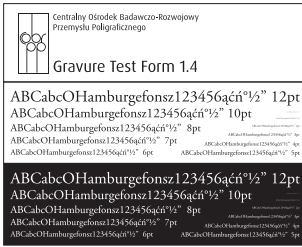
Celem badań było określenie jakości odwzorowania graficznych elementów kreskowych w technice włkłłodrukowej przy zastosowaniu form wytwarzanych metodą grawerowania elektromechanicznego w różnych odmianach i różnych ustawieniach parametrów grawerowania.

### Ogólna metodyka badań

#### Obraz testowy

Do badań jakości odwzorowania elementów kreskowych na formach i odbitkach włkłłodrukowych zaprojektowano obraz testowy (rys. 4) zawierający różne pola kontrolne służące ocenie m.in.:

- a) odwzorowania pisma i jego czytelności – litery i cyfry krojem Adobe Garamond Pro o stopniach pisma: 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12 punktów, w wersji zarówno pozytywowej, jak i negatywowej,
- b) odwzorowania szczegółów – pierścienie Landolta (rys. 5), 33 zestawy po pięć pierścieni o różnych kierunkach otwarcia i średnicach w zakresie 0,2–1,0 mm,
- c) odwzorowania linii pozytywnych i negatywnych:
  - linie pozytywowe i negatywowe proste o szerokościach 0,01, 0,02, 0,025, 0,03, 0,04, 0,05, 0,10, 0,15, 0,20, 0,25, 0,50 mm, ułożone pod kątem 0°, 90° i 135° względem kierunku grawerowania i drukowania,
  - linie pozytywowe i negatywowe w formie pierścieni kołowych o szerokości 0,05, 0,10, 0,25 i 0,50 mm, ułożone koncentrycznie,
- d) rozdzielczości reprodukcji – gwiazda Siemens,
- e) grubości (gęstości optycznej) nadrukowanej warstwy farby – pole pełne (apła) o wymiarach 10 × 10 mm.



**Wykonanie form i odbitek obrazu testowego**

Przygotowany obraz testowy był grawerowany wielokrotnie na powierzchni cylindra wklęsłodrukowego, przy różnych ustawieniach parametrów tego procesu. Takie rozwiązanie w dużym stopniu uniezależniało uzyskane wyniki badań od ew. wahań parametrów drukowania. Odbitki z wszystkich umieszczonych na powierzchni tego samego cylindra obrazów testowych były wykonywane jednocześnie, w tych samych warunkach. Wygrawerowany cylinder pokryty został warstwą chromu o grubości ok. 7 µm.

**Ocena jakości odwzorowania elementów obrazu testowego**

Oceny jakości odwzorowania elementów obrazu testowego dokonywano na odbitkach i na formach drukowych. Stosowano metodę wizualną z wykorzystaniem lupy poligraficznej (8-krotne powiększenie) oraz mikroskopu cyfrowego (50-krotne, 230-krotne powiększenie). Wyniki obserwacji dokumentowano zdjęciami powiększonych obrazów elementów testowych.

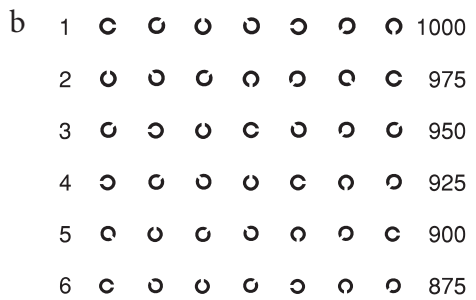
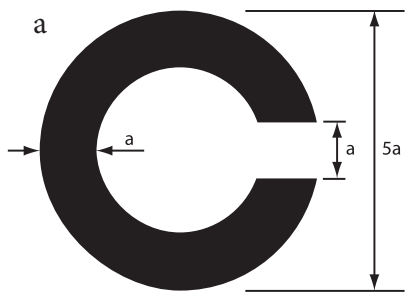
Względne grubości nadrukowanej warstwy farby oceniano na podstawie wyników pomiarów gęstości optycznych pól pełnych (apli), wykonywanych w świetle przechodzącym przy użyciu densytometru Macbeth TR927.

**Przygotowanie próbek do badań**

Na powierzchni cylindra wklęsłodrukowego umieszczono obok siebie dziesięć form obrazu testowego, wykonanych w technologii Xtreme z różnymi parametrami grawerowania, oraz jedną formę wykonaną metodą wibracyjną.

Rys. 4. Obraz testowy Gravure Test Form 1.4 (zmniejszenie 50%)

Rys. 5. a) Pierścień Landolta, b) powiększony fragment obrazu testowego z pierścieniami Landolta [10]



Formy drukowe oznaczono symbolami informującymi o zastosowanych parametrach grawerowania:

- *Xtreme 100 R10 210 outlining* – 0,
- *Xtreme 100 R10 210 outlining* – 10,
- *Xtreme 100 R10 210 outlining* – 20,
- *Xtreme 100 R6 210 outlining* – 10,
- *Xtreme 100 R4 210 outlining* – 10,
- *Xtreme 160 R6 90 outlining* – 10,
- *Xtreme 160 R6 120 outlining* – 10,
- *Xtreme 160 R6 150 outlining* – 10,
- *Xtreme 200 R6 90 outlining* – 10,
- *Xtreme 230 R6 90 outlining* – 10,
- *Conventional 100 0 120*.

Parametry grawerowania *Xtreme* zostały dobrane w ten sposób, aby była zapewniona możliwość oceny wpływu na jakość odwzorowania elementów kreskowych kolejno:

- rozdzielczości grawerowania – uwzględniono trzy różne rozdzielczości przy szerokości linii testowej 120  $\mu\text{m}$  i 6 przejściach ryłca na kałamarzyk (**160 R6 120**, **200 R6 120**, **230 R6 120**),
- liczby przejść ryłca – uwzględniono trzy różne liczby przejść ryłca przy rozdzielczości grawerowania 100 l/cm i szerokości linii testowej 210  $\mu\text{m}$  (**100 R4 210**, **100 R6 210**, **100 R10 210**),
- szerokości linii testowej – uwzględniono trzy różne szerokości linii testowej przy rozdzielczości grawerowania 160 l/cm i 6 przejściach ryłca na kałamarzyk (**160 R6 90**, **160 R6 120**, **160 R6 150**),
- funkcji *outliningu* – uwzględniono trzy różne ustawienia *outliningu* przy rozdzielczości grawerowania 100 l/cm, szerokości linii testowej 210  $\mu\text{m}$  i 6 przejściach ryłca na kałamarzyk: **100 R10 210 outlining – 0**, **100 R10 210 outlining – 10**, **100 R10 210 outlining – 20**.

W tabeli 1 zestawiono wynikową liniaturę rastra (kałamarzyków) dla wartości parametrów grawerowania stosowanych przy wykonywaniu form przeznaczonych do badań.

Tabela 1. Wynikowa liniatura rastra (kałamarzyków) dla wartości parametrów grawerowania stosowanych w badaniach [9]

Liczba przejść ryłca	Rozdzielczość grawerowania [l/cm]	Liniatura rastra [l/cm]
R4	100	50
R6	160	52
	200	67
	230	78
R10	100	20

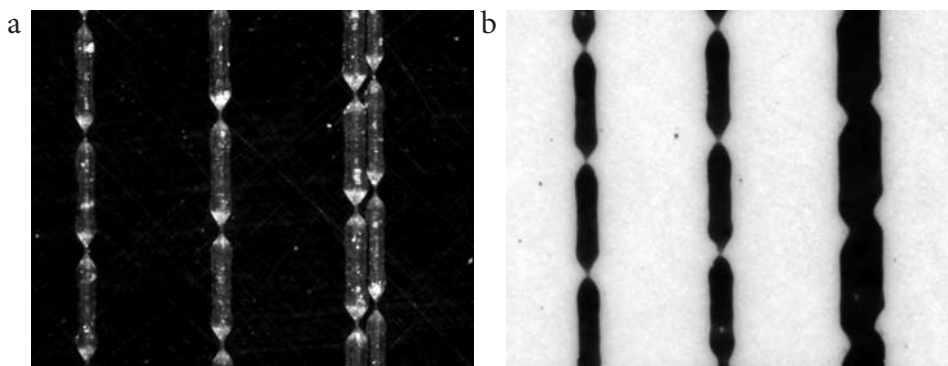
Formę drukową wykonaną tradycyjną metodą wibracyjną wygrawerowano z liniaturą kałamarzyków 100 l/cm, kątem rastra 45°(symbol – 0), rylcem o kącie zaostrenia 120° (*Conventional 100/0/120*). Takie warunki grawerowania tradycyjnego uznawane są za optymalne z punktu widzenia jakości odwzorowania elementów kreskowych.

Wydruki z cylindra z wygrawerowanymi formami wykonywano na białym, orientowanym podłożu polipropylenowym (OPP) o grubości 35 µm. Wybrane podłoże charakteryzuje się dobrymi właściwościami drukowymi i wysoką stabilnością wymiarową. W badaniach zastosowano farbę wkleśłodrukową, granatową, o symbolu 133-1 Reflex Blue (Siegwerk), utrwalaną przez odparowanie rozpuszczalnika. Farba ta daje nadruk o wysokim kontraście, ułatwiającym wizualną ocenę odbitek. Wydruki wykonano farbą o różnych lepkościach kinetycznych – 23 s, 26 s i 29 s, mierzonych kubkiem wypływowym Forda Ø 4 mm. Do oceny jakości odwzorowania elementów obrazu testowego wybrano odbitki wykonane farbą o lepkości 29 s, dla której uzyskano najlepsze odwzorowanie negatywowych i pozytywowych elementów obrazu testowego. Proces drukowania przeprowadzono w maszynie do wykonywania wkleśłodrukowych odbitek próbnych firmy JM Heaford Limited. Wydruki wykonano z prędkością 40 m/min i naciskiem 800 kG.

### Wyniki badań

Podstawą oceny jakości odwzorowania poszczególnych elementów kreskowych był obraz testowy na odbitkach i formach drukowych. Różnice w ocenie dokonywanej na podstawie obrazów odbitek i form drukowych były niekiedy znaczne. Charakterystyczne dla procesu drukowania powiększenie wymiarowe elementów obrazu na odbitce jest podstawową przyczyną różnic w ocenie odwzorowania mikrolinii negatywowych i pozytywowych, a także pozwala ukryć pewne niedostatki obrazu formy drukowej. Dlatego różnej jakości odwzorowanie np. liter na formach drukowych oceniane jest na odbitkach jako podobne. Przykładowe różnice jakości obrazów form drukowych i wykonanych z nich odbitek przedstawiono na rys. 6.

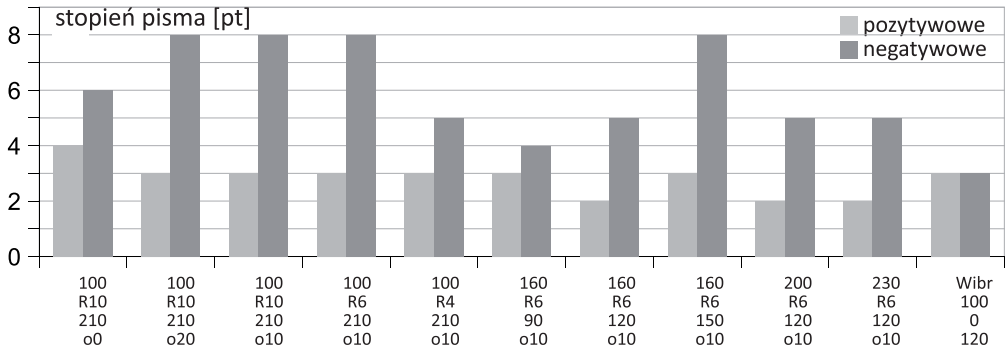
Rys. 6. Porównanie odbitki (b) i obrazu formy drukowej *Xtreme 100 R10 210 outlining* (a)





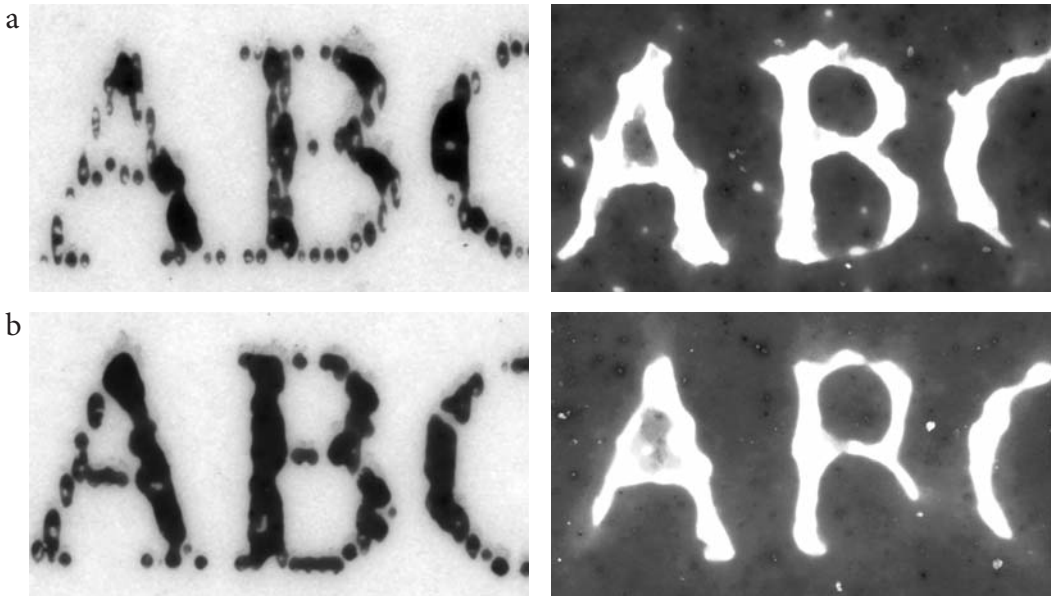
### Odwzorowanie pisma

Jakość odwzorowania pisma oceniano pod lupą oraz mikroskopem i wyrażano poprzez określenie najmniejszego, podawanego w punktach typograficznych, stopnia, przy którym pismo zachowywało pełną czytelność. Najmniejsze stopnie pisma w jego wersji pozytywowej i negatywowej, reprodukowane przy różnych parametrach procesu grawerowania metodą *Xtreme* i wibracyjną ilustruje wykres słupkowy przedstawiony na rys. 7. Powiększenia obrazu pisma trzypunktowego w wersji pozytywowej i negatywowej dla różnych wartości parametru szerokość linii testowej (*test cut width*) przedstawiono na rys. 8.

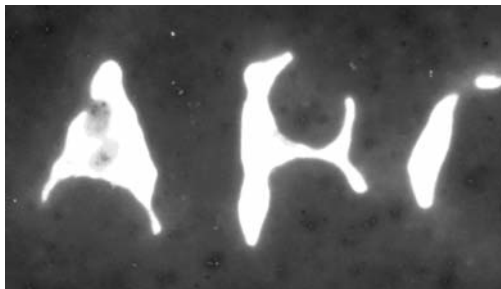
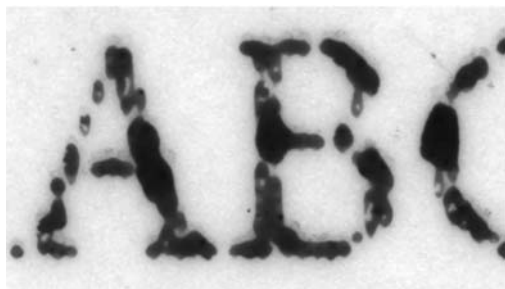


Rys. 7. Najmniejszy odwzorowany stopień pisma przy różnych ustawieniach parametrów grawerowania

Rys. 8. Obraz pisma 3 pt w wersji pozytywowej i negatywowej dla różnych szerokości linii testowej (*test cut width*): a) 90, b) 120, c) 150



C



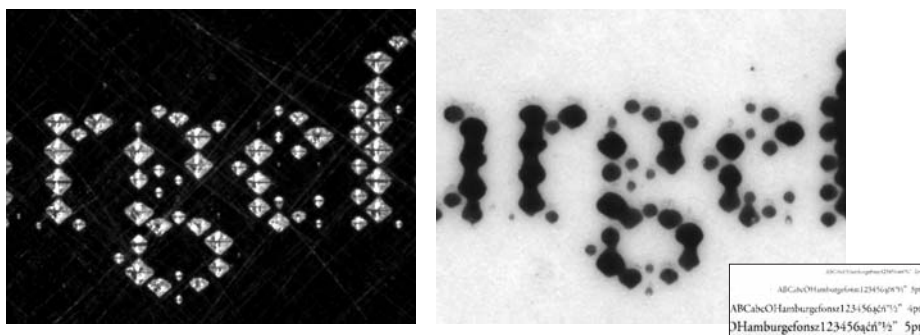
Jak wynika z wykresów przedstawionych na rysunku 7:

- W każdym przypadku grawerowania *Xtreme* jakość odwzorowania pisma w jego wersji pozytywowej jest wyższa niż w wersji negatywowej. Jedynie w przypadku grawerowania tradycyjnego najmniejszy stopień pisma odwzorowywanego w wersji pozytywowej i negatywowej określono na identycznym poziomie 3 pt.
- Parametry grawerowania w niewielkim stopniu decydują o czytelności pisma w jego wersji pozytywowej. Najmniejszy stopień pisma odwzorowywanego w pozytywie dla różnych warunków grawerowania waha się jedynie w przedziale 2–4 pt, podczas gdy w negatywie od 3 do 8 pt.
- Najlepsze odwzorowanie pisma w jego wersji pozytywowej (2 pt) uzyskano dla szerokości linii testowej 120, dla wszystkich badanych rozdzielczości grawerowania: 160, 200, 230 lpc i liczby przejść rylca R6, najgorsze (4 pt) – dla grawerowania oznaczonego *Xtreme* 100 R10 210 *outlining* 0.
- *Outlining* w niewielkim stopniu wpływa na odwzorowanie liter w ich wersji pozytywowej. Zastosowanie *outliningu* na poziomie 10 i 20 obniżyło najmniejszy stopień odwzorowywanego pisma jedynie do 3 pt, z 4 pt uzyskanych dla ustawienia 0.
- Odwzorowanie pisma przy stosowaniu tradycyjnej metody grawerowania oceniane w dużym powiększeniu (rys. 9a) wydaje się zdecydowanie mniej

Rys. 9. Obraz pisma 3 pt grawerowanego *Xtreme* 230 R6 120 *outlining* 10 (a) i metodą tradycyjną (b), w powiększeniu na formie i odbitce oraz w skali 1:1 na odbitce



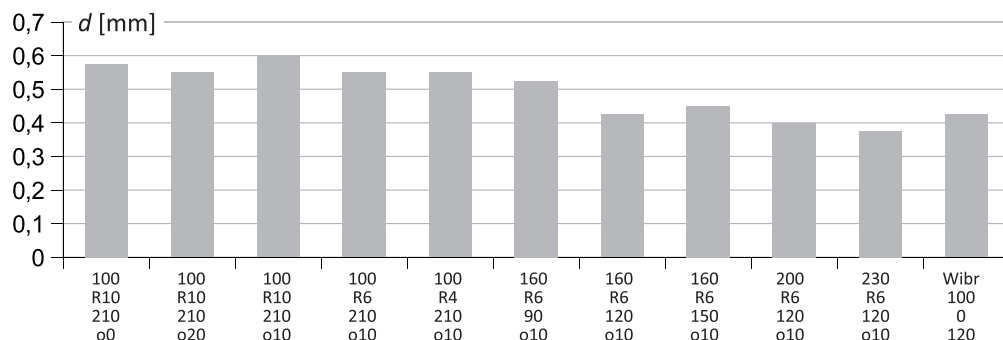
ABCabcOHamburgefonsz123456q6789 3pt  
 ABCabcOHamburgefonsz123456q6789 4pt  
 Hburgefonsz123456q6789 5pt



precyzyjne niż w przypadku grawerowania *Xtreme* (rys. 9b). Tym niemniej jego czytelność, zgodnie z przyjętą metodyką badań, ustalono na zbliżonym do *Xtreme* poziomie – 3 pt.

### Odwzorowanie pierścieni Landolta

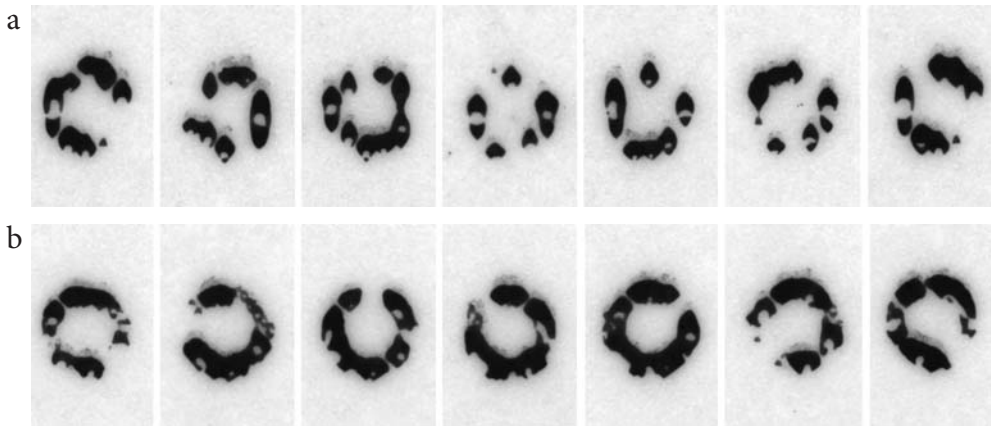
Jakość odwzorowania pierścieni Landolta oceniano pod lupą i mikroskopem i wyrażano poprzez określenie ich najmniejszej, podawanej w milimetrach, średnicy, dla której można było w poprawny sposób zidentyfikować wszystkie pięć prezentowanych na obrazie testowym kierunków ich otwarcia. Najmniejsze średnice poprawnie odwzorowanych pierścieni Landolta przy różnych parametrach procesu grawerowania metodą *Xtreme* i wibracyjną przedstawiono na rys. 10. Powiększenia przykładowych obrazów pierścieni Landolta uzyskanych z formy *Xtreme* 100 R10 210 *outlining* 10 i z formy *Xtreme* 230 R6 120 *outlining* 10 przedstawiono na rys. 11.



Rys. 10. Najmniejsze średnice poprawnie odwzorowanych pierścieni Landolta przy różnych ustawieniach parametrów grawerowania

Jak wynika z wykresu przedstawionego na rysunku 10:

- Średnice poprawnie odwzorowanych pierścieni Landolta mieściły się w przedziale od 0,4 do 0,6 mm, w zależności od zastosowanej metody i parametrów grawerowania form drukowych.
- Jakość odwzorowania pierścieni Landolta rośnie wraz ze wzrostem rozdzielczości grawerowania. Grawerowanie z rozdzielczością 100 lpc umożliwia po-



Rys. 11. Powiększenia obrazów pierścieni Landolta uzyskanych z formy *Xtreme 100 R10 210 outlining 10* (a) i z formy *Xtreme 230 R6 120 outlining 10* (b)

prawne odwzorowanie pierścieni o średnicy ok. 0,55 mm, 160 lpc – 0,425–0,525, 200 lpc – 0,400 mm.

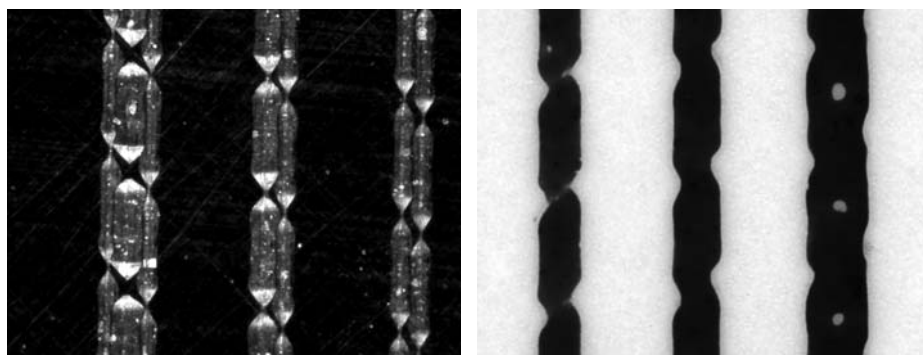
- Najlepszą jakość odwzorowania pierścieni Landolta ( $d = 0,375$  mm) stwierdzono w przypadku formy grawerowanej *Xtreme 230 R6 120 outlining 10*.
- Relatywnie dobrze ( $d = 0,425$  mm) pierścienie Landolta zostały odwzorowane tradycyjną metodą grawerowania wibracyjnego.

#### Odwzorowanie mikrolinii oraz pierścieni pozytywowych i negatywowych

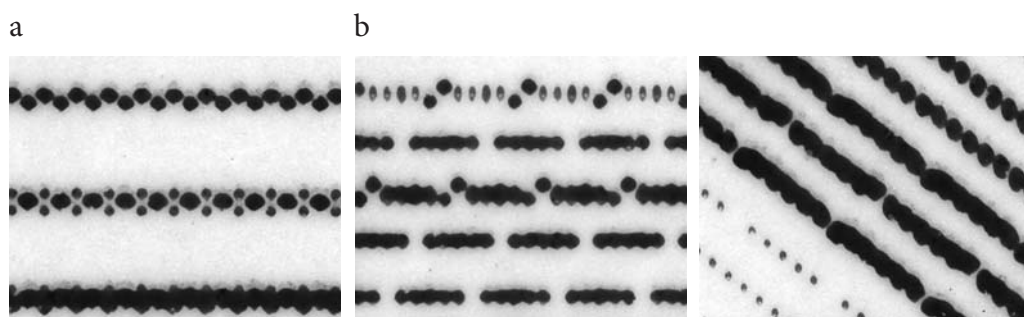
Jakość odwzorowania pierścieni i mikrolinii oceniano pod lupą i mikroskopem i wyrażano poprzez określenie najmniejszej, podawanej w mikrometrach, szerokości linii reprodukowanych na odbitkach. Badania prowadzono dla obrazów w wersji pozytywowej i negatywowej. Mikrolinie oceniano również w zależności od kąta ich ustawienia –  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  i  $135^\circ$  – względem kierunku grawerowania i drukowania. Z powodu trudności z jednoznaczną oceną odwzorowania linii w badaniach przyjęto i wykorzystano dwa kryteria:

- **Kryterium 1:** za odwzorowane uznaje się linie identyfikowane w powiększeniu bez względu na ich ciągłość, strukturę i podobną lub różną szerokość. Przykładowo na rys. 12 przedstawiono fotografie odwzorowanych niejednakowo pod względem szerokości na formie drukowej i odbitce mikrolinii o nominalnej szerokości  $150\ \mu\text{m}$  (*100 R10 210 outlining 10*), a na rys. 13 – różny sposób odwzorowania struktury położonych obok siebie mikrolinii.
- **Kryterium 2:** za odwzorowane uznaje się linie identyfikowane w powiększeniu jako ciągłe i o podobnej szerokości.

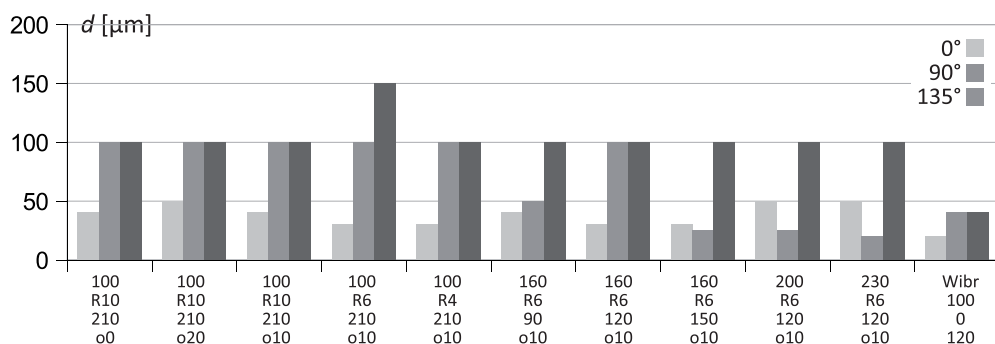
Wyniki oceny odwzorowania ustawionych pod różnymi kątami mikrolinii negatywowych i pozytywowych, zarówno dla kryterium 1, jak i dla kryterium 2 ilustrują wykresy przedstawione na rysunkach 14, 15 oraz 17, 18.



Rys. 12. Niejednakowo odwzorowane pod względem szerokości linie o zadanej szerokości 150 μm i kącie ustawienia 0° (grawerowanie Xtreme 100 R10 210)



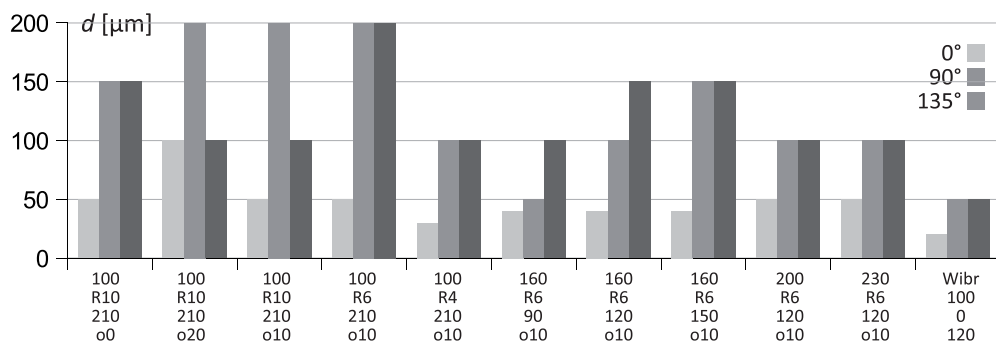
Rys. 13. Różne struktury odwzorowania położonych obok siebie mikrolinii a) linia 100 μm grawerowana metodą tradycyjną b) linia 50 μm grawerowana metodą Xtreme 100 R6 210



Rys. 14. Najmniejsze, według kryterium 1, szerokości linii pozytywnych odwzorowanych przy różnych ustawieniach parametrów grawerowania

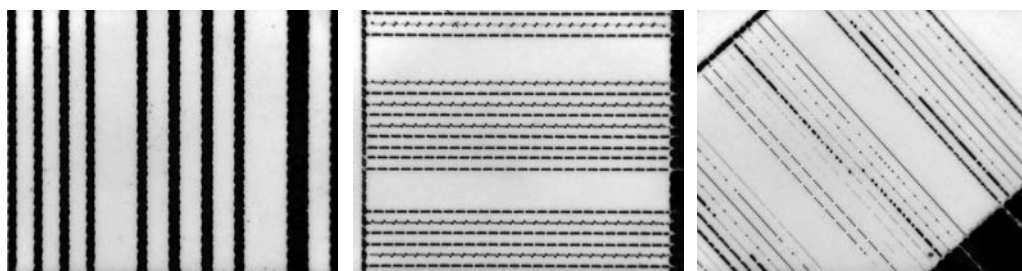
Jak wynika z wykresów przedstawionych na rysunkach 14 i 15 (**kryterium 1**):

- Najmniejsza szerokość odwzorowywanych mikrolinii w dużym stopniu zależy od kąta ich ustawienia względem kierunku grawerowania. Zarówno w przypadku mikrolinii negatywnych, jak i pozytywnych najlepiej odwzo-



Rys. 15. Najmniejsze, według kryterium 1, szerokości linii negatywowych odwzorowanych przy różnych ustawieniach parametrów grawerowania

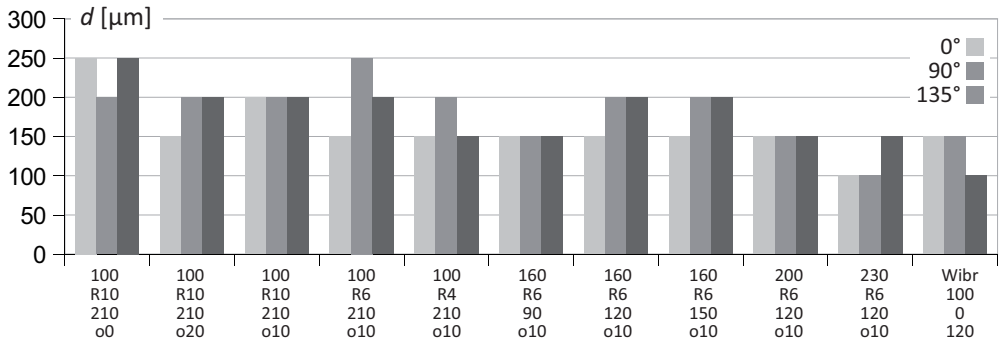
rowywane są linie ustawione pod kątem 0°. Dla kąta ustawienia 135° odwzorowywane są dopiero linie o dwukrotnie lub nawet czterokrotnie większej szerokości. Na rys. 16 przedstawiono linie o szerokości 25 μm ustawione pod różnymi kątami, wygrawerowane metodą *Xtreme 100 R6 150 outlining 10*.



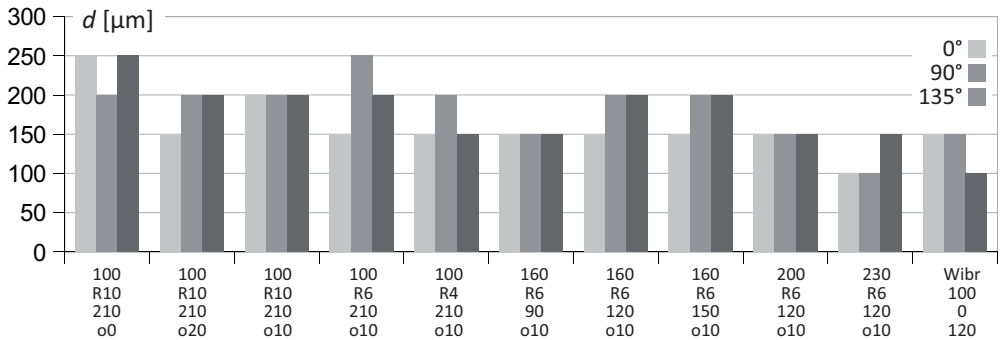
Rys. 16. Różnice w odwzorowaniu szerokości linii w zależności od kąta ich ustawienia. Na zdjęciach linie 25 μm pod różnymi kątami, grawerowane metodą *Xtreme 100 R6 150 outlining 10*

- Jakość odwzorowania mikrolinii pozytywowych ustawionych pod kątami 90° i 135° dla R10 i R4 jest praktycznie identyczna. W przypadku R6 odwzorowanie mikrolinii ustawionych pod kątem 90° jest zdecydowanie lepsze niż dla 135° i w większości przypadków porównywalne z odwzorowaniem linii ustawionych pod kątem 0°.
- Jakość odwzorowania mikrolinii negatywowych była znacznie niższa od jakości odwzorowania mikrolinii pozytywowych dla tych samych warunków grawerowania formy drukowej. W większości przypadków najmniejsza szerokość odwzorowywanych mikrolinii negatywowych była, zależnie od kąta ich ustawienia, większa o 50 do nawet 100 μm od najmniejszej szerokości odwzorowywanych linii pozytywowych.
- Najlepsze odwzorowanie mikrolinii pozytywowych w technologii *Xtreme* uzyskano w przypadku formy grawerowanej z parametrami *Xtreme 160 R6 150 outlining 10*: 0° – 30 μm; 90° – 25 μm; 135° – 100 μm.

- Dobre odwzorowanie mikrolinii pozytywowych uzyskano z formy grawerowanej metodą tradycyjną: 0° – 20 μm; 90° – 40 μm; 135° – 40 μm.



Rys. 17. Najmniejsze, według kryterium 2, szerokości linii pozytywowych odwzorowanych przy różnych ustawieniach parametrów grawerowania

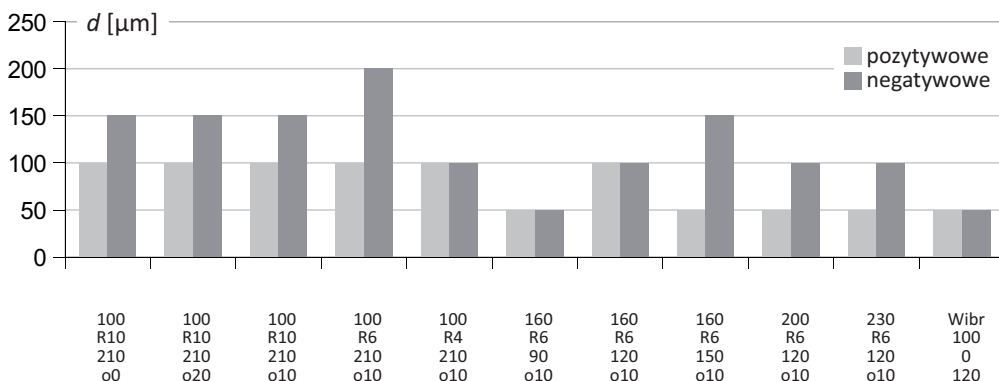


Rys. 18. Najmniejsze, według kryterium 2, szerokości linii negatywowych odwzorowanych przy różnych ustawieniach parametrów grawerowania

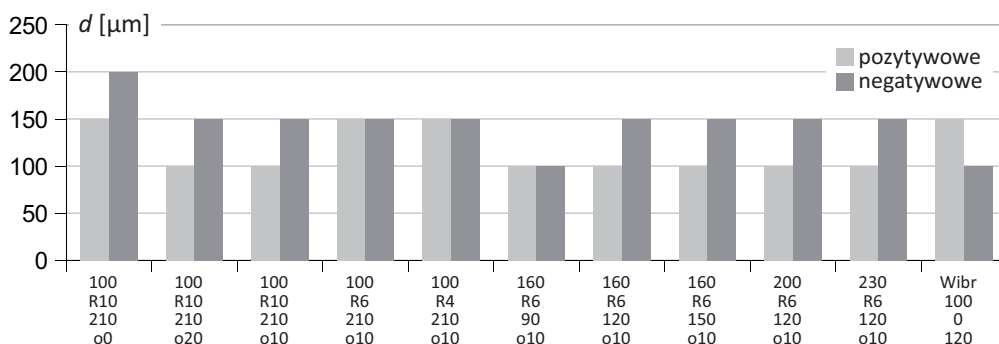
Ocena jakości odwzorowania mikrolinii pozytywowych i negatywowych przy zastosowaniu **kryterium 2** (rys. 17 i 18) prowadzi do następujących wniosków:

- Przyjęcie **kryterium 2** do oceny jakości odwzorowania mikrolinii w mniejszym stopniu niż miało to miejsce w przypadku stosowania **kryterium 1** różnicuje wpływ warunków grawerowania, kąta ustawienia linii i ich charakteru (pozytywowe/negatywowe) na uzyskiwane wyniki, a najmniejsze szerokości odwzorowywanych mikrolinii pozytywowych i negatywowych dla większości przypadków są na poziomie wyższym o ok. 50–100 μm.
- Najlepsze i identyczne pod względem szerokości odwzorowanie mikrolinii pozytywowych i negatywowych uzyskano, stosując najwyższą rozdzielczość grawerowania w technologii Xtreme z parametrami 230 R6 120 *outlining* 10: 0° – 100 μm, 90° – 100 μm, 135° – 150 μm.
- Odwzorowanie mikrolinii pozytywowych i negatywowych z formy grawerowanej metodą tradycyjną ustalono na poziomie: 0° – 150 μm, 90° – 150 μm, 135° – 100 μm.

Wyniki oceny jakości odwzorowania pierścieni w ich negatywowych i pozytywnych wersjach, zarówno dla kryterium 1, jak i dla kryterium 2 ilustrują wykresy przedstawione na rysunkach 19 i 20.



Rys. 19. Najmniejsze, według kryterium 1, szerokości pierścieni kołowych pozytywnych i negatywnych odwzorowanych przy różnych ustawieniach parametrów grawerowania



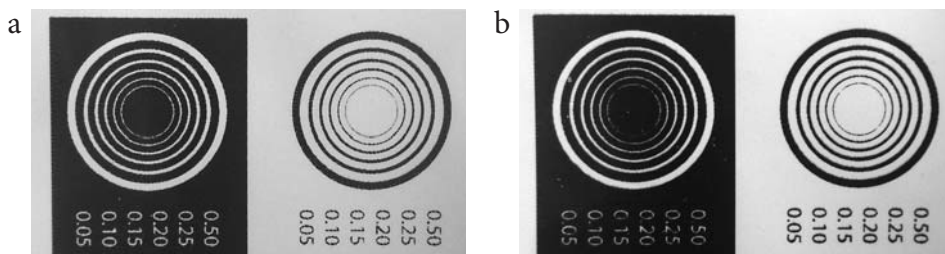
Rys. 20. Najmniejsze, według kryterium 2, szerokości pierścieni kołowych pozytywnych i negatywnych odwzorowanych przy różnych ustawieniach parametrów grawerowania

Jak wynika z wykresów przedstawionych na rysunkach 19 i 20:

- Podobnie jak miało to miejsce w przypadku odwzorowania mikrolinii, zastosowanie do oceny odwzorowania pierścieni kryterium 2 zwiększyło szerokość ich najwęższych zreprodukowanych linii średnio o 50 µm w stosunku do oceny z zastosowaniem kryterium 1.
- Najlepsze odwzorowanie rysunku pierścieni negatywnych i pozytywnych na tej samej formie – 50 µm według kryterium 1 i 100 µm według kryterium 2 – uzyskano, grawerując ją z parametrami Xtreme 160 R6 90 outlining 10.
- Jakość odwzorowania pierścieni przy stosowaniu tradycyjnej metody grawerowania formy drukowej jest, w zależności od zastosowanego kryterium oceny, podobna lub nieco niższa niż przy stosowaniu techniki Xtreme.



Przykładowe fotografie reprodukcji pierścieni w ich wersjach negatywowych i pozytywowych z form grawerowanych przy ustawieniach *Xtreme 160 R6 90 outlining 10* i *Xtreme 160 R6 120 outlining 10* przedstawiono na rys. 21.

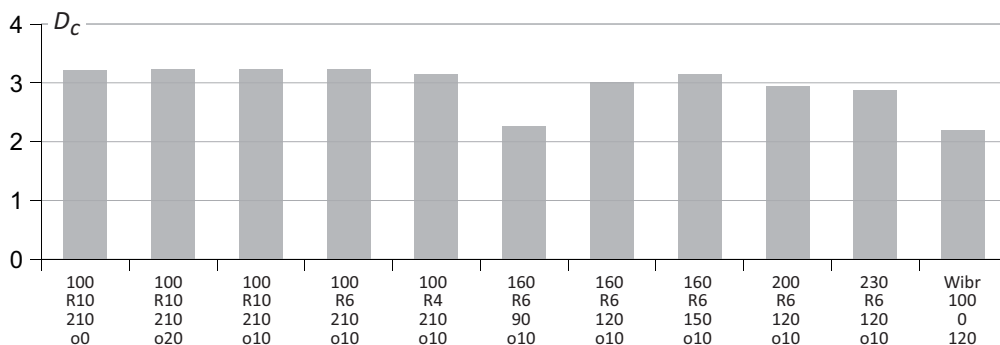


Rys. 21. Reprodukcja pierścieni negatywowych i pozytywowych z form grawerowanych przy ustawieniach a) *Xtreme 160 R6 90 outlining 10* i b) *Xtreme 160 R6 120 outlining 10*

### Gęstość optyczna / względna grubość nadrukowanej warstwy farby

Względną grubość warstwy nadrukowanej farby określono na podstawie wyników pomiarów densytometrycznych pól pełnych przygotowanych odbitek. Pomiaru wykonywano w świetle przechodzącym, zerując densytometr na podłożu drukowe. Biorąc pod uwagę niebieskie zabarwienie farby, posługiwano się filtrem czerwonym, dopełniającym do barwy zielononiebieskiej. W ocenie korzystano z zależności opisanej wzorem Lamberta, z której wynika, że gęstość optyczna (ekstynkacja) jest wprost proporcjonalna do grubości próbki [8]. Wyniki pomiarów przedstawiono w postaci wykresu na rys. 22. Jak wynika z wykresu:

- Podstawowym parametrem grawerowania techniką *Xtreme*, decydującym o ilości przenoszonej przez formę drukową farby, jest szerokość linii testowej (*test cut width*). Z porównania wyników grawerowania w ustawieniach: 160 R6 90 *outlining 10*, 160 R6 120 *outlining 10* i 160 R6 150 *outlining 10* widać, że wraz ze wzrostem szerokości linii testowej rośnie również grubość nadrukowanej warstwy farby. Dla 150 jest o ok. 40% większa niż dla 90. Zróżnic-



Rys. 22. Gęstości optyczne (średnie grubości) warstwy farby nadrukowanej z form uzyskanych przy różnych ustawieniach parametrów grawerowania

wanie ilości przenoszonej farby jest wynikiem różnej głębokości grawerowania form przy różnych ustawieniach parametru szerokość linii testowej.

- Ilość farby przenoszonej z formy grawerowanej metodą tradycyjną jest na poziomie zbliżonym do ilości przenoszonej z formy grawerowanej techniką *Xtreme* o najmniejszej głębokości, tzn. przy ustawieniach 160 R6 90 *outlining* 10.

### Podsumowanie

Przeprowadzona ocena, analiza i porównanie jakości odwzorowania poszczególnych elementów kreskowych obrazu testowego na badanych formach wklęsłodrukowych i wykonanych z nich odbitkach pozwala stwierdzić m.in., że:

- Jakość odwzorowania drobnych elementów kreskowych w technice druku wklęsłego z cylindrów grawerowanych techniką *Xtreme* i z cylindrów grawerowanych tradycyjną metodą wibracyjną może być zbliżona, pod warunkiem dobrania odpowiednich parametrów obu porównywanych ze sobą technologii. Różna jest wówczas oglądana w dużym powiększeniu struktura, zwłaszcza krawędzi reprodukowanych elementów kreskowych, tym niemniej ich wizualna ocena daje wyniki podobne.
- Najmniejsza szerokość odwzorowywanych linii, zarówno pozytywowych, jak i negatywowych w dużym stopniu zależy od kąta ich ustawienia względem kierunku grawerowania. Z reguły najlepiej reprodukowane są linie ustawione pod kątem 0°. Jakość ich odwzorowania dla kątów 90° i 135° jest zdecydowanie niższa.
- W sposób powtarzalny pod względem struktury i szerokości linii oraz niezależny od kąta ich ustawienia udało się odwzorować pierścienie i mikrolinie, zarówno w ich wersji pozytywowej, jak i negatywowej dopiero przy 100–150 μm. Linie o niekiedy znacznie mniejszych szerokościach odwzorowywane były jedynie przy niektórych kątach ich ustawienia i w sposób niepowtarzalny, zarówno pod względem szerokości, jak i struktury konturu.
- Najmniejszy stopień pisma możliwy do zreprodukowania techniką wklęsłodrukową z form grawerowanych mechanicznie w technologii *Xtreme* określono na poziomie 2 punktów typograficznych w jego wersji pozytywowej i na poziomie 3 punktów typograficznych w wersji negatywowej. Metodą tradycyjnego grawerowania wibracyjnego udało się odwzorować zarówno pozytywowe, jak i negatywowe pismo wielkości 3 pt.
- Jakość odwzorowania mikrolinii określana przy stosowaniu kryterium stałej szerokości położonych obok siebie identycznych linii w dużym stopniu zależy od wzajemnych relacji między ich zadeklarowaną szerokością a rozdzielczością grawerowania.

### Bibliografia:

1. *Xtreme Engraving*, Hell Gravure Systems Knowledge Base, November 2003.
2. *High resolution cylinder engraving*, Hell article, Hell Gravure Systems, 2009.
3. Sienkiewicz A., *A comparative analysis of the latest electromechanical processes by Daetwyler and Hell Gravure Systems*, March 2005.

4. Beißwenger S., Rid K. M., *The physics of the gravure cell and the consequences for engraving copper gravure forms*, Special Print April 2004 E 2, Hell Gravure Systems.
5. Kipphan H., *Handbook of print media*, Springer Berlin Heidelberg, 2001.
6. *Gravure: Process and Technology*, The Gravure Education Foundation and Gravure Association of America (GAA), Rochester (NY) 1997.
7. Ollech B., *Tiefdruck (Grundlagen und Verfahrensschritte der modernen Tiefdrucktechnik)*, Polygraph-Verlag, Frankfurt/Main 1993.
8. Felhorski W., Stanioch W., *Kolorymetria trójchromatyczna*, Warszawa 1973.
9. *HelioKlischograph K500 – User's guide*, Hell Gravure Systems, 2006.
10. Markowski L., Dąbrowa T., Kasprzak S., *Odzworowanie szczegółów obrazów skanowanych w systemach DTP*, „Poligrafika” 1994, nr 2.

## Abstract

### *Evaluation of linework elements reproduction in gravure printing for different methods and parameters of electromechanical engraving*

Gravure printing is used for high-volume production of high quality magazines and packagings. The method of printing form preparation, while satisfying the requirement for uniform and ink transfer and low image granularity, restricts the precision of linework elements, especially those used in securities and special printing. To overcome this problem, novel engraving methods have been developed. The paper presented deals with the quality of linework reproduction using different combination of engraving parameters.

The quality was assessed by printing a prepared test image containing commonly used linework elements, while using forms engraved with different parameters combinations. A printout with standard engraving parameter set was used as a reference point. Line separation, details reproduction, image resolution and ink optical density were measured to quantify the results. Printing parameters were identical for all samples.

It was found that engraving parameters have negligible influence on text readability, but other linework elements, e.g. microlines, Landolt rings and concentric circles, may differ significantly if printed from a form engraved with different parameters. Moreover, the linework element reproduction depends on relation of element direction and engraving direction, as well as the convergence of engraving screen and linework elements' distance. The minimum linework thickness required for stable reproduction for all electromechanical engraving methods and parameters was found to be between 100 and 150 microns.