

Wpływ rozmiaru kodu QR na otrzymywaną jakość kodu wykonanego za pomocą urządzeń drukujących metodą elektrofotograficzną

Wprowadzenie

Kod QR (z ang. Quick Response – szybka reakcja, szybka odpowiedź), opracowany przez firmę Denso Wave Incorporated, należy do najnowszej generacji kodów kreskowych, tzw. kodów dwuwymiarowych, które zbudowane są z modułów (komórek, pikseli) tworzących dwuwymiarową matrycę znaków danych. Kod QR jest coraz powszechniej stosowany ze względu na upowszechnienie się jego czytników, którymi stały się smartfony, tablety czy komputery z wbudowaną kamerą. Brak licencji na stosowanie tego kodu, dostępność darmowego oprogramowania do jego generowania i odczytywania przyczyniły się do wzrostu popularności i stosowania kodu QR poza pierwotnym wykorzystaniem przemysłowym. Kod QR stosowany jest coraz częściej w materiałach reklamowych i informacyjnych (banery, billboardy, plakaty, ulotki, reklamy prasowe, etykiety itp.) w celu łatwego, szybkiego i bezbłędnego wprowadzenia do smartfona lub komputera krótkiej treści, jaką może być adres internetowy, dane kontaktowe, sms z treścią itp. Główną zaletą kodu QR jest możliwość kodowania dużej liczby danych na stosunkowo niewielkiej powierzchni. Maksymalna liczba znaków możliwych do zakodowania to 4296 znaków alfanumerycznych lub 7089 cyfr, lub 1817 znaków kanji (elementów pisma japońskiego). Informacje można kodować w czterech trybach: numerycznym, alfanumerycznym, danych 8-bitowych oraz kanji. Standard dla tej technologii został opisany w międzynarodowej normie ISO/IEC 18004.

Budowa kodu QR

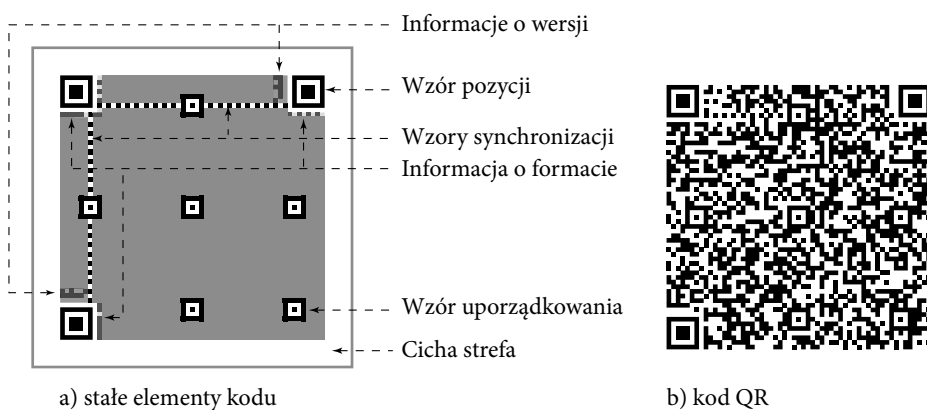
Kod QR to kod modułarny. Nośnikiem danych w kodzie QR nie są kreski, lecz kwadratowe ciemne i jasne moduły – pojedyncze komórki (piksele) mające kształt kwadratu. Stosowana najczęściej wersja kodu QR to tzw. Model 2, i ta wersja zostanie tu omówiona.

Najbardziej charakterystycznym, stałym elementem takiego kodu są trzy wzory koncentrycznych kwadratów znajdujące się w trzech rogach kodu (górnych prawym i lewym oraz lewym dolnym). Są to wzory pozycji (ang. *position detection patterns*) służące do pozycjonowania obrazu kodu w trakcie skanowania i ustalania jego orientacji. Pomiędzy wzorami pozycji występują dwa wzory synchronizacji (ang. *timing patterns*). Zbudowane są z ułożonych na przemian ciemnych i jasnych komórek. Umożliwia to czytnikowi sprawne określenie wielkości jednego modułu, współrzędnych położenia siatki modułów oraz wersji kodu.

W kodzie występuje również wzór wyrównania (ang. *alignment patterns*). Jest to ciemny moduł otoczony jasną i ciemną ramką. Znacznik ten nie występuje w najmniejszej wersji kodu, a im większa wersja kodu, tym więcej wzorów wyrównania jest symetrycznie rozmieszczonych w kodzie.

W stałym miejscu kodu QR (w wersji od 7 wzwyż) zapisywana jest informacja o jego wersji (ang. *version information*). Występuje 40 wersji kodu QR, które różnią się pomiędzy sobą liczbą modułów, a tym samym ilością przechowywanych danych. Wersja 1 ma wielkość 21×21 modułów, zaś wersja 40 – 177×177 modułów. Również w stałym miejscu kodu zapisywana jest informacja o formacie (ang. *format information*), wskazująca zastosowany poziom korekcji błędów i wzór maski.

Kod QR powinien być z czterech stron otoczony cichą strefą (ang. *quiet zone*), czyli powierzchnią pozbawioną jakichkolwiek znaków i obcych elementów graficznych. Szerokość cichej strefy dla kodów QR jest równa czterem modułom.



Rys. 1. Budowa symbolu kodu QR

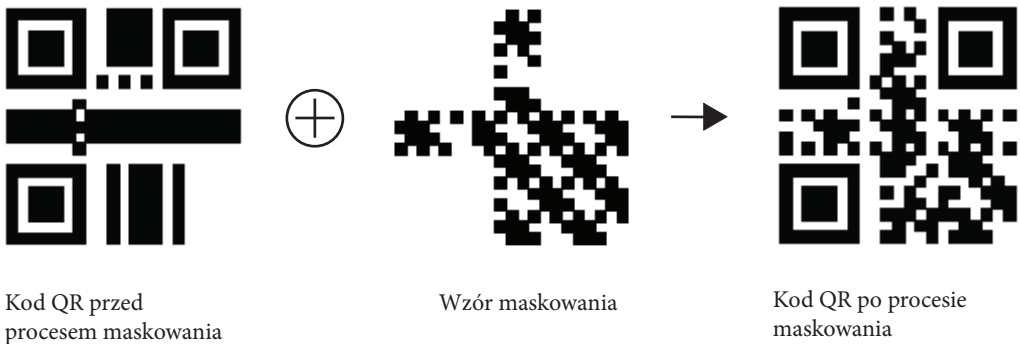


Rys. 2. Kod QR

W kodach QR wykorzystywana jest metoda korekcji błędów (Reeda-Solomona). Oznacza to, że kod QR może być odczytany również wtedy, gdy jego fragment został zniszczony albo jest nieczytelny z innych przyczyn. W zależności od poziomu korekcji można przywrócić od 7 do 30% danych. Im wyższy jest poziom korekcji kodu, tym mniej danych możemy w nim zapisać dla określonej wersji kodu, jednak ich odzyskanie będzie możliwe przy uszkodzonej większej po-

wierzchni. Jest to wykorzystywane m.in. podczas celowego „niszczenia” obrazu kodu poprzez wstawianie w jego obraz logo lub innej grafiki ozdobnej. Przy generowaniu wzorca kodu można wybrać jeden z czterech poziomów korekcji błędów: L – 7%, M – 15%, Q – 25%, H – 30%.

Dla niezawodnego i szybkiego odczytu kodu przez czytnik zalecane jest, aby ciemne i jasne moduły były rozmieszczone w miarę równomiernie, i nie tworzyły większych jednorodnych skupisk. Aby uzyskać taki efekt niezależnie od kodowanej informacji, stosuje się metodę maskowania, czyli zamiany jasnych modułów na ciemne i na odwrót, w określonych miejscach wyznaczonych przez wzór maski. Zdefiniowanych jest 8 wzorów masek, a zastosowana powinna być ta z nich, która daje najlepszy efekt równomiernego rozłożenia jasnych i ciemnych modułów. Dobrej maski zazwyczaj dokonuje automatycznie oprogramowanie generujące kod QR. Ze względu na zastosowanie innej maski przez dwa różne generatory kodu może okazać się, że dla tych samych danych i parametrów kodu wygenerowane obrazy różnią się od siebie. Informacja o zastosowanej masce zapisywana jest w informacji o formacie. Maskę stosowaną jest tylko dla modułów danych i nie dotyczy stałych elementów kodu, takich jak znaki, wzory pozycji, synchronizacji, informacja o wersji itd.



Rys. 3. Zastosowanie maskowania w kodzie QR

Do stworzenia kodu QR nie jest niezbędna szeroka wiedza na jego temat. Mimo to, aby kod mógł przysłużyć się potencjalnym użytkownikom i jego umieszczenie nie stało się bezcelowe lub niezasadne, warto zasięgnąć szerszej wiedzy na temat praktycznego stosowania kodu QR.

Przy tworzeniu kodu QR należy zwrócić uwagę na jego rozmiar. Teoretycznie wymiary nie mają ograniczeń, ale kod musi być czytelny dla czytnika. Zarówno za mała wielkość kodu (problem z rozróżnieniem przez czytnik/kamerę poszczególnych modułów), jak i wielkość za duża (problem z objęciem przez czytnik/kamerę całego kodu) może utrudnić jego odczytanie. W przypadku bardzo dużych kodów problem związany z wielkością można rozwiązać, umieszczając czytnik w odpowiednio dużej odległości. Istotne jest, aby wielkość kodu dostosowana była do zakładanych warunków odczytywania i aby użytkownik nie miał problemu

z wygodnym i szybkim zeskanowaniem kodu. Zastosowana wielkość kodu powinna zależeć od zakładanej odległości odczytu przez czytnik i od zastosowanej wersji kodu (ilości zakodowanych danych, czyli liczby modułów). Aby pojedynczy moduł nie był zbyt mały i aby mógł być rozróżniany przez czytnik/kamerę, należy wraz ze wzrostem przewidywanej odległości skanowania oraz wersji kodu zwiększać rozmiar kodu. Oczywiście duże znaczenie ma tu także rozdzielczość samego czytnika. Nowoczesne smartfony z wbudowaną kamerą o dużej rozdzielczości będą potrafiły odczytać kod o mniejszym module niż starsze smartfony z aparatem o gorszych parametrach rozdzielczości.

W niektórych źródłach można spotkać pewne praktyczne zasady dotyczące wielkości kodu. Najczęściej spotyka się proste zasady nie uwzględniające ilości kodowanych danych i odległości odczytu. Zalecenia te określają najmniejszą wielkość kodu QR. W zależności od źródła są to wartości: 3 cm, 2 cm lub 1,5 cm. W domyśle należy przyjmować, że dotyczy to najmniejszych wersji kodu, stosowanych w kampaniach marketingowych (zakodowany adres strony internetowej).

Na stronie QRcode.com, prowadzonej przez Denso Wave (twórcę kodu), podana jest rekomendacja, aby moduł kodu zbudowany był przynajmniej z 4 do 6 plamek podstawowych urządzenia obrazującego wynikających z jego rozdzielczości. Przykładowo dla drukarki o rozdzielczości 600 dpi (najmniejsza możliwa do wytworzenia plamka obrazu ma wielkość $25,4 \text{ mm} / 600 = 0,0423 \text{ mm}$) będą to następujące szerokości modułu: dla 4 plamek 0,17 mm, dla 5 plamek 0,21 mm, dla 6 plamek 0,24 mm. Z drugiej strony podane są także zalecane minimalne wielkości modułów w zależności od rodzaju czytnika: standardowy czytnik kodów – 0,25 mm, czytnik o wysokiej rozdzielczości – w zależności od modelu 0,1 lub 0,2 mm, kamera cyfrowa – niezdefiniowane wartości, bowiem zależą one od rozdzielczości i optyki.

Na stronie blog.QRStuff.com podano minimalne wielkości kodu w zależności od liczby modułów i odległości skanowania dla odczytu aparatem 3–4 MP (patrz tabela 1).

Tabela 1. Minimalna wielkość kodu w zależności od odległości skanowania

Liczba modułów	Liczba znaków	Minimalna wielkość kodu przy skanowaniu z odległości:		
		150 mm	300 mm	450 mm
25 × 25	26	15 mm	30 mm	46 mm
35 × 35	72	21 mm	42 mm	64 mm
45 × 45	125	27 mm	54 mm	82 mm
60 × 60	249	36 mm	72 mm	109 mm
80 × 80	468	48 mm	96 mm	146 mm
100 × 100	739	60 mm	120 mm	182 mm

Źródło: <http://blog.QRStuff.com/2011/11/23/qr-code-minimum-size>

Na tym samym blogu, jak i w innych źródłach można spotkać następujący wzór ogólny do wyliczenia minimalnej wielkości kodu QR (dający wyniki zgodne z treścią podanej wyżej tabeli):

$$\text{Minimalny rozmiar kodu QR} = \frac{\text{odległość odczytu}}{\text{współczynnik warunków odczytu}} \cdot \text{współczynnik gęstości danych},$$

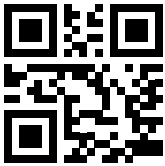
gdzie:

odległość odczytu – odległość pomiędzy czytnikiem a obrazem kodu w momencie odczytywania

współczynnik warunków odczytu – standardowo równy 10. Współczynnik należy zmniejszyć o 1 w przypadku istnienia warunków utrudniających odczyt, jak np. słabe oświetlenie, jasny kolor kodu (słaby kontrast), odczyt z ukosa itp.

współczynnik gęstości danych – liczba modułów na szerokości kodu / 25

Firma Denso Wave Incorporated opracowała również dwa dodatkowe standardy kodów dwuwymiarowych: Micro QR Code (ma tylko jeden wzór pozycji, przez co umożliwia zakodowanie informacji na mniejszej powierzchni) oraz iQR Code (zakres maksymalnej ilości informacji do zakodowania zwiększony do 40000 cyfr, kodowanie informacji na mniejszej powierzchni, możliwość zastosowania korekcji błędów na poziomie nawet 50%, możliwość nadania kodowi kształtu prostokątnego). Kody te stosuje się jednak głównie w przemyśle i oprogramowanie do ich generowania i odczytywania jest, jak na razie, mniej upowszechnione i dostępne.



a) QR Code



b) micro QR Code



c) iQR Code



d) iQR Code w układzie prostokątnym

Rys. 4. Symbole kodów dwuwymiarowych

Cel i zakres badań

Celem badania było wyznaczenie minimalnych wielkości kodów QR wydrukowanych przy użyciu różnych drukarek elektrofotograficznych i uzyskujących akceptowalną jakość w ramach oceny z zastosowaniem weryfikatora.

Ogólna metodyka badań

Obraz testowy

Dla celów badawczych zaprojektowano dwa obrazy testowe zawierające kody QR o różnych wymiarach. Kod na pierwszym obrazie testowym miał zakodowany adres strony internetowej: <http://www.cobrpp.com.pl> (wersja 2 – 25 × 25 modułów, poziom korekcji błędów – L) i umieszczony był w sześciu wersjach, w wymiarach podanych w tabeli 2.

Tabela 2. Wymiary kodów QR oraz ich modułów

Oznaczenie	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Szerokość/wysokość kodu bez marginesów [mm]	11,465	10,142	9,26	8,379	7,937	7,056	6,394
Szerokość/wysokość modułu [mm]	0,459	0,406	0,370	0,335	0,318	0,282	0,256

Obraz testowydrudru giego kodu miał zakodowaną wizytówkę o treści: *COBRPP Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Poligraficznego ul. Miedziana 11, 00-958 Warszawa 226208070 cobrpp@cobrpp.com.pl www.cobrpp.com.pl* (wersja 8 – 49×49 modułów, poziom korekcji błędów – L) i umieszczony był w siedmiu wersjach, w wymiarach podanych w tabeli 3.

Tabela 3. Wymiary kodów QR oraz ich modułów

Oznaczenie	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Szerokość/wysokość kodu bez marginesów [mm]	24,299	21,138	18,768	16,792	14,817	14,027	12,841
Szerokość/wysokość modułu [mm]	0,496	0,431	0,383	0,343	0,302	0,286	0,262



Rys. 5. Kod QR z zakodowanym adresem strony internetowej



Rys. 6. Kod QR z zakodowaną wizytówką

Wykonanie próbek do badań

Zaprojektowane obrazy testowe zostały wydrukowane przy użyciu siedmiu różnych drukarek elektrofotograficznych (oznaczonych jako: D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), w tej samej rozdzielczości 600 dpi.

Ocena czytelności kodów

Oceny czytelności kodów kreskowych na wykonanych odbitkach z siedmiu drukarek elektrofotograficznych dokonano za pomocą weryfikatora INTEGRA 9510 firmy Label Visions Systems. Ocena kodu QR została przeprowadzona w oparciu o standard ISO/IEC 15415 – „Technologia informatyczna; techniki automa-

tycznej identyfikacji i gromadzenia danych; wymagania techniczne dotyczące testowania jakości wydruku kodów kreskowych; symbole dwuwymiarowe”. Zgodnie z nim w procesie weryfikowania jakości poddawane są ocenie następujące parametry:

- dekodowanie,
- kontrast,
- modulacja,
- niejednorodność osiowa,
- niejednorodność siatki,
- niewykorzystane korygowanie błędów,
- uszkodzenie ustalonego wzoru,
- jakość segmentów: A1, A2, A3, B1, B2, C, informacji o formacie i wersji.

Ponadto podczas pomiaru określana jest wysokość i szerokość komórki oraz całego kodu.

Parametr dekodowanie (ang. *reference decode*) określa, czy symbol został rozpoznany i zdekodowany przez czytnik. Dekodowane symbole powinny być zgodne ze specyfikacją symboliki, szczególnie pod względem zakodowanych danych, wzorów pozycji, znaczników wyrównania itp. Dekodowanie nie jest oceniane w skali numerycznej, a jedynie jako zaliczone/niezaliczone. Brak dekodowania uniemożliwia ocenę pozostałych parametrów jakościowych.

Parametr kontrast (ang. *symbol contrast*) jest wyrażany różnicą wartości współczynnika odbicia światła pomiędzy średnią wartością dla 10% najciemniejszych modułów a średnią wartością dla 10% najjaśniejszych modułów. Ocena kontrastu określana jest według wartości podanych w tabeli 4.

Tabela 4. Ocena kontrastu symbolu

Kontrast symbolu (SC)	Ocena
≥ 70%	4
≥ 55%	3
≥ 40%	2
≥ 20%	1
< 20%	0

Modulacja (ang. *modulation*) jest miarą jednorodności odbicia uzyskaną dla wszystkich jasnych bądź ciemnych modułów. Określa zakres różnic parametrów R_{\min} i R_{\max} dla modułów w całym symbolu. Wartość modulacji wyznaczana jest zgodnie ze wzorem:

$$\text{MOD} = 2 * [\text{abs}(R - \text{GT})] / \text{SC}$$

gdzie:

- R – odbicie modułu najbliższe progowi ogólnemu ze słowem kodowym
- GT – próg ogólny
- SC – kontrast symbolu

Tabela 5. Ocena modulacji

Modulacja	Ocena
≥ 50	4
≥ 40	3
≥ 30	2
$\geq 20\%$	1
$< 20\%$	0

Tabela 6. Ocena niejednorodności osiowej

Niejednorodność osiowa (AN)	Ocena
$\leq 0,06$	4
$\leq 0,08$	3
$\leq 0,10$	2
$\leq 0,12$	1
$> 0,12$	0

Kolejnym parametrem poddawanym ocenie jest niejednorodność osiowa (ang. *axial non-uniformity*). Kody QR, jak i ich poszczególne moduły, powinny zachowywać kształt kwadratu. Symbole, które są ściśnięte lub rozciągnięte w jednej z osi, uzyskują niższą ocenę tego parametru. Wartość parametru wyznaczana jest ze wzoru:

$$AN = \text{abs}(X_{AVG} - Y_{AVG}) / [(X_{AVG} + Y_{AVG}) / 2]$$

gdzie X_{AVG} , Y_{AVG} są średnimi wartościami rozmiaru modułu dla osi X i Y

Parametr niejednorodność siatki (ang. *grid non-uniformity*) określa dokładność położenia poszczególnych modułów względem siatki nominalnej (teoretycznej), wyznaczonej na podstawie wzorów pozycji, synchronizacji i wyrównania. Parametr ten jest określany jako wartość największej występującej różnicy położenia środka modułu względem siatki nominalnej w stosunku do wielkości modułu.

Tabela 7. Ocena niejednorodności siatki

Niejednorodność siatki	Ocena
$\leq 0,38$	4
$\leq 0,50$	3
$\leq 0,63$	2
$\leq 0,75$	1
$> 0,75$	0

Tabela 8. Ocena niewykorzystanego korygowania błędów

Niewykorzystane korygowanie błędów	Ocena
$\geq 0,62$	4
$\geq 0,50$	3
$\geq 0,37$	2
$\geq 0,25$	1
$< 0,25$	0

Niewykorzystane korygowanie błędów (ang. *unused error correction capacity*) określa zakres, w jakim uszkodzenie miejscowe w symbolu ograniczyło margines bezpieczeństwa odczytu kodu QR. Nieskorzystanie z danych korygowania błędów w trakcie algorytmu dekodowania oznacza, że nie napotkano uszkodzenia symbolu. Niewykorzystane korygowanie błędów wyznaczone jest na podstawie poniższego wzoru.

$$UEC = 1,0 - [(e + 2t) / ECAP]$$

gdzie e – liczba uszkodzeń

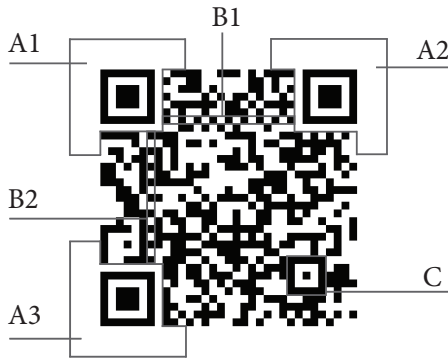
t – liczba błędów

ECAP – pojemność korekcji błędów (wybrana podczas generowania)

Uszkodzenie ustalonego wzoru (ang. *fixed pattern damage*) kodu QR, czyli stałych elementów występujących w kodzie określa, czy uszkodzenia cichej strefy, wzoru pozycji i synchronizacji nie uniemożliwiają lokalizowania i identyfikowania symbolu.

Ponadto w kodzie QR oceniane jest sześć segmentów, które oznaczane są odpowiednio:

- A1, A2, A3 – trzy narożnikowe segmenty ze wzorem pozycji (A1 – górny lewy, A2 – górny prawy, A3 – dolny lewy),
- B1 oraz B2 – dwa wzory synchronizacji (B1 – horyzontalny, B2 – wertykalny),
- C – wzory wyrównania.



Rys. 7. Segmenty w kodzie QR

Dodatkowo mierzono za pomocą mikroskopu cyfrowego przyrost wymiarowy modułu na wydruku, aby określić, w jakim stopniu ma on wpływ na ocenę jakości kodu.

Wyniki badań

Podstawą oceny czytelności kodów był wynik oceny pomiaru weryfikatorem. Zgodnie z normą 15415 oceny przedstawiane są w zmniejszającej się skali od 4,0 do 0,0, gdzie 4,0 oznacza najwyższą jakość, a za negatywne oceny przyjmuje się te z zakresu 0,4–0,0. Oceny mogą być wyrażane również (zgodnie z metodą ANSI1) w równoważnej skali alfabetycznej od A do D z negatywną oceną F. Równoważność numerycznych i alfabetycznych ocen przedstawiona jest w tabeli 9. W trakcie procesu weryfikowania jakości kodów urządzenie wykonuje wiele pomiarów kodu. Ostateczna ocena danego parametru jest średnią arytmetyczną ocen z tych pomiarów.

Tabela 9. Powiązanie ocen numerycznych i alfabetycznych

Ocena numeryczna	Ocena alfabetyczna
4,0–3,5	A
3,4–2,5	B
2,4–1,5	C
1,4–0,5	D
0,4–0,0	F

Weryfikator poddaje ocenie parametry: dekodowanie, kontrast, modulację, niejednorodność osiową, niejednorodność siatki, nieużyta korekcja błędów, zniszczenie wzorca, segment A1, segment A2, segment A3, segment B1, segment B2, segment C, informację o formacie i wersji.

W tabeli 10 znajdują się oceny ogólne dla kodów z zakodowanym adresem strony www, a w tabeli 11 – dla kodów z zakodowaną wizytówką.

Tabela 10. Ogólna ocena, kod QR z zakodowaną stroną www

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
D1	4,0 (A)	4,0 (A)	3,9 (A)	3,7 (A)	2,6 (B)	2,2 (C)	1,7 (C)
D2	4,0 (A)	4,0 (A)	3,7 (A)	2,6 (B)	2,6 (B)	1,7 (C)	1,1 (D)
D3	3,7 (A)	2,9 (B)	2,2 (C)	2,2 (C)	2,0 (C)	0,6 (D)	–
D4	3,2 (B)	1,8 (C)	1,6 (C)	1,4 (D)	0,0 (F)	–	–
D5	3,7 (A)	3,6 (A)	3,3 (B)	2,2 (C)	2,5 (B)	1,7 (C)	0,7 (D)
D6	3,5 (A)	3,4 (B)	2,7 (B)	1,4 (D)	0,6 (D)	0,0 (F)	–
D7	3,8 (A)	3,9 (A)	3,3 (B)	2,6 (B)	2,7 (B)	1,4 (D)	0,6 (D)

Tabela 11. Ogólna ocena, kod QR z zakodowaną wizytówką

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
D1	3,9 (A)	3,8 (A)	3,7 (A)	3,6 (A)	3,2 (B)	2,1 (C)	0,9 (D)
D2	4,0 (A)	4,0 (A)	3,2 (B)	3,2 (B)	3,0 (B)	1,4 (D)	0,7 (D)
D3	3,0 (B)	2,8 (B)	1,5 (C)	1,5 (C)	0,0 (F)	–	–
D4	2,7 (B)	1,9 (C)	1,4 (D)	0,5 (D)	–	–	–
D5	3,7 (A)	3,7 (A)	3,0 (B)	1,7 (C)	1,4 (D)	0,7 (D)	0,0 (F)
D6	3,5 (A)	3,4 (B)	2,7 (B)	1,4 (D)	0,6 (D)	0,0 (F)	–
D7	3,8 (A)	3,9 (A)	3,2 (B)	2,6 (B)	1,6 (C)	0,5 (D)	0,5 (D)

Z analizy otrzymanych ocen szczegółowych wynika, że decydujący wpływ na ocenę ogólną ma modulacja. W poniższych tabelach zamieszczone są oceny modulacji dla poszczególnych kodów i drukarek.

Tabela 12. Modulacja, kod QR z zakodowaną stroną www

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
D1	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	3,7 (A)	2,6 (B)	2,2 (C)	1,7 (C)
D2	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	2,6 (B)	2,6 (B)	1,7 (C)	1,1 (D)
D3	3,7 (A)	2,9 (B)	2,2 (C)	2,2 (C)	2,0 (C)	0,6 (D)	–
D4	3,2 (B)	1,8 (C)	1,6 (C)	1,4 (D)	0,0 (F)	–	–
D5	4,0 (A)	3,6 (A)	3,3 (B)	2,2 (C)	2,5 (B)	1,7 (C)	0,7 (D)
D6	4,0 (A)	3,6 (A)	2,7 (B)	1,4 (D)	0,6 (D)	0,0 (F)	–
D7	4,0 (A)	3,9 (A)	3,2 (B)	2,6 (B)	1,6 (C)	0,5 (D)	0,5 (D)

Tabela 13. Modulacja, kod QR z zakodowaną wizytówką

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
D1	4,0 (A)	4,0 (A)	3,7 (A)	3,6 (A)	3,2 (B)	2,1 (C)	0,9 (D)
D2	4,0 (A)	4,0 (A)	3,2 (B)	3,2 (B)	3,4 (B)	1,4 (D)	0,7 (D)
D3	3,5 (A)	2,8 (B)	1,5 (C)	1,5 (C)	0,0 (F)	–	–
D4	2,7 (B)	1,9 (C)	1,4 (D)	0,5 (D)	–	–	–
D5	4,0 (A)	3,9 (A)	3,0 (B)	1,7 (C)	1,4 (D)	0,7 (D)	0,0 (F)
D6	4,0 (A)	3,6 (A)	2,7 (B)	1,4 (D)	0,6 (D)	0,0 (F)	–
D7	4,0 (A)	3,9 (A)	3,2 (B)	2,6 (B)	1,6 (C)	0,5 (D)	0,5 (D)

Dekodowanie zostało zaliczone dla wszystkich czytelnych kodów. Otrzymały one też najwyższe oceny dla parametrów: niejednorodność osiowa, niejednorodność siatki oraz niewykorzystane korygowanie błędów. Wartość kontrastu tylko dla drukarki D6 uzyskała ocenę B (wartość kontrastu 68–69%, czyli niewiele poniżej poziomu oceny A), dla pozostałych drukarek niezależnie od rozmiaru kodu była to ocena A (kontrast na poziomie 70–77%). Parametrami, których oceny zmieniały się wraz ze zmniejszeniem wymiarów kodów, są: uszkodzenie ustalonego wzoru oraz oceny segmentów. W poniższych tabelach znajdują się oceny wyżej wymienionych parametrów.

Tabela 14. Uszkodzenie ustalonego wzoru, kod QR z zakodowaną stroną www

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
D1	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	2,0 (C)
D2	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	3,0 (B)
D3	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	3,0 (B)	3,0 (B)	2,0 (C)	–
D4	4,0 (A)	3,0 (B)	2,0 (C)	2,0 (C)	3,0 (B)	–	–
D5	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	2,0 (C)	2,0 (C)	3,0 (B)	2,0 (C)
D6	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	3,0 (B)	2,0 (C)	2,0 (C)	–
D7	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	3,0 (B)	3,0 (B)	2,0 (C)	2,0 (C)

Tabela 15. Uszkodzenie ustalonego wzoru, kod QR z zakodowaną wizytówką

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
D1	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	2,0 (C)
D2	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	3,0 (B)	1,0 (D)
D3	3,0 (B)	3,0 (B)	3,0 (B)	2,0 (C)	2,0 (C)	–	–
D4	3,0 (B)	3,0 (B)	3,0 (B)	2,0 (C)	–	–	–
D5	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	2,0 (C)	2,0 (C)	3,0 (B)	2,0 (C)
D6	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	3,0 (B)	2,0 (C)	2,0 (C)	–
D7	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	3,0 (B)	3,0 (B)	2,0 (C)	2,0 (C)

Tabela 16. Najniższa z ocen segmentów dla poszczególnych kodów QR z zakodowaną stroną www

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
D1	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	2,0 (C)
D2	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	3,0 (B)
D3	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	3,0 (B)	3,0 (B)	2,0 (C)	–
D4	4,0 (A)	3,0 (B)	2,0 (C)	2,0 (C)	3,0 (B)	–	–
D5	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	2,0 (C)	2,0 (C)	3,0 (B)	2,0 (C)
D6	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	3,0 (B)	2,0 (C)	2,0 (C)	–
D7	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	3,0 (B)	3,0 (B)	2,0 (C)	2,0 (C)

Tabela 17. Najniższa z ocen segmentów dla poszczególnych kodów QR z zakodowaną wizytówką

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
D1	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	2,0 (C)
D2	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	3,0 (B)	1,0 (D)
D3	3,0 (B)	3,0 (B)	3,0 (B)	2,0 (C)	2,0 (C)	–	–
D4	3,0 (B)	3,0 (B)	3,0 (B)	2,0 (C)	–	–	–
D5	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	2,0 (C)	2,0 (C)	3,0 (B)	2,0 (C)
D6	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	3,0 (B)	2,0 (C)	2,0 (C)	–
D7	4,0 (A)	4,0 (A)	3,0 (B)	3,0 (B)	3,0 (B)	2,0 (C)	2,0 (C)

Za pomocą mikroskopu cyfrowego zmierzono przyrost wymiarów modułu na wydruku względem modułu zadanego we wzorcu cyfrowym. Uśrednione wartości pomiarów znajdują się w tabeli 18.

Tabela 18. Przyrost wymiarów modułu na wydruku (w mm)
dla poszczególnych drukarek

D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
0,028	0,038	0,095	0,110	0,049	0,080	0,048

Podsumowanie

Przeprowadzona ocena, analiza i porównanie jakości kodów QR pozwala stwierdzić m.in., że:

- Parametrem, który decydował o ocenie ogólnej kodu, była modulacja. Najniższe oceny modulacji dla danej wielkości kodu odnotowano dla drukarek D3, D4 i D6. Badania przeprowadzone przy użyciu mikroskopu wykazały dla nich największy przyrost wymiarów modułu na wydruku względem wzorca cyfrowego. Wskazuje to, że przyczyną niskiej oceny modulacji jest przyrost wymiarów modułu. Ocena modulacji spadała również wraz ze zmniejszaniem wymiarów modułu. Wpływ na to ma zapewne przyrost wymiarów modułu, coraz większy procentowo względem jego wielkości. Zasadne wydaje się zastosowanie redukcji wielkości modułu w zależności od występującego przyrostu w celu uzyskania lepszej jakości kodu. Istotne jest to szczególnie dla kodów o mniejszych rozmiarach.
- Zgodnie ze specyfikacją ogólną GS1 (minimalna ocena powinna wynosić C – 1,5) zadowolającą ocenę wydruków na wszystkich drukarkach otrzymały kody z wymiarem modułu 0,370 mm dla kodu QR z zakodowaną stroną www oraz 0,431 mm z zakodowaną wizytówką.
- Zgodnie z normą ISO 15415 zaliczającą ocenę (minimum D – 0,5) dla wydruków na wszystkich drukarkach otrzymały kody z wymiarem modułu 0,335 mm dla kodu QR z zakodowaną stroną www oraz 0,343 mm dla kodu QR z zakodowaną wizytówką.
- Minimalne wielkości modułów, przy których kod uzyskuje akceptowalną jakość zależą m.in. od przyrostu wymiarowego modułu na wydruku względem wzorca cyfrowego, który to przyrost jest różny dla różnych drukarek. W celu określenia minimalnej wielkości modułu, jaki można bezpiecznie wydrukować na danej drukarce, niezbędne jest zbadanie wyżej wymienionego przyrostu lub doświadczalna ocena jakości kodu dla różnych jego rozmiarów.
- Podawane przez firmę Denso Wave Incorporated na stronie Qrcode.com zalecenie, aby moduł miał przynajmniej wielkość 4–6 plamek wynikających z rozdzielczości urządzenia, należy uznać w badanych przypadkach za zbyt ryzykowne, gdyż na otrzymanych wydrukach kody o takiej wielkości modułu uzyskały ocenę D lub F, lub w ogóle nie były odczytywane przez weryfikator. Tylko w jednym przypadku kod uzyskał ocenę C.

- Zalecenia dotyczące wyznaczania minimalnej wielkości kodu na podstawie wzoru: minimalny rozmiar kodu QR = (odległość odczytu / współczynnik warunków odczytu) * współczynnik gęstości danych, należy uznać za właściwe, choć trzeba mieć świadomość, że są nawet zbyt zachowawcze. Według tej metody zalecana wielkość modułu dla kodów jak na obrazie testowym, przy założeniu, że odległość odczytu to 150 mm, powinna wynosić 0,6 mm, tymczasem akceptowalną jakość uzyskały wszystkie kody z modułem 0,43 mm. Należy jednak pamiętać, że zawsze lepiej jest zachować margines bezpieczeństwa. Zatem w przypadku, gdy zależy nam na wydrukowaniu kodu o możliwie najmniejszej wielkości, można przyjąć mniejsze wartości modułu, lecz należy bezwzględnie na bieżąco kontrolować jakość wykonywanych kodów. Istotne jest również to, że ocena weryfikatorem dokonywana jest w ściśle określonych, standardowych warunkach, natomiast codzienne wykorzystywanie konkretnego kodu może wiązać się ze specyficznymi warunkami (słabe oświetlenie, inna odległość odczytu itp.) utrudniającymi odczyt. Zawsze zatem zalecane są również testy praktyczne różnymi czynnikami/smartfonami w przewidywanych warunkach docelowych.
- Weryfikator kodu kreskowego dokonuje oceny jego jakości przy ustalonej odległości względem kamery analizującej. Nie jest zatem możliwe określenie tą metodą wpływu odległości odczytu na jego jakość, np. czy wielkość modułu powinna się zmieniać proporcjonalnie do przewidywanej odległości odczytu. Zagadnienie to jest istotne i zapewne będzie przedmiotem kolejnego badania z zastosowaniem innej metody.

Bibliografia

1. Hałas E. (red. nauk.), *Kody kreskowe i inne globalne standardy w biznesie*, Poznań 2012.
2. Hałas E. (red. nauk.), *Kody kreskowe. Rodzaje – standardy – sprzęt – zastosowania*, Poznań 2000.
3. PN-EN ISO/IEC 15415:2007 *Technologia informatyczna – Techniki automatycznej identyfikacji i gromadzenia danych – Wymagania techniczne dotyczące badania jakości wydruku kodów kreskowych – Symbole dwuwymiarowe*.
4. ISO/IEC 18004:2015 *Information technology – Automatic identification and data capture techniques – QR Code bar code symbology specification*.
5. Palmer R. C., *The Bar Code Book: Fifth Edition – A Comprehensive Guide To Reading, Printing, Specifying, Evaluating, And Using Bar Code and Other Machine-Readable Symbols*, Bllomington 2007 .
6. Price K., *QR Codes Made EZ: A Complete Guide to Creating and Implementing QR Codes*, amazon.com 2014.
7. *Specyfikacje Ogólne GS1, Wersja 15.0, wydanie 1*, styczeń 2015.
8. Winter M., *Scan Me: Everybody's Guide to the Magical World of QR Codes*, amazon.com 2011.
9. Blog QRStuff, <http://blog.QRStuff.com/2011/11/23/qr-code-minimum-size>.
10. Strona internetowa Qrcode.com, Denso Wave Incorporated.

Abstract

The influence of QR Code size on resulting code quality printed with electrophotographic devices

The QR Code is modular. Data in QR Code is represented by dark and clear square modules – single square-shaped cells (pixels).

The article presents the calculation of minimum QR Code sizes printed with various electrophotographic printing devices to obtain minimum acceptable quality using the code verifier. For the research purposes, two test QR Code images with different sizes were created. The first image contained Web page address <http://www.cobrpp.com.pl> and was used six times with different sizes. The other image contained the coded vCard: *COBRPP Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Poligraficznego ul. Miedziana 11, 00-958 Warszawa 226208070 cobrpp@cobrpp.com.pl www.cobrpp.com.pl* and was used seven times in different sizes. Test images were printed with seven different electrophotographic devices using the same 600 dpi print resolution. Those prints were then verified for code quality and readability using the Label Visions Systems INTEGRA 9510 verifier according to ISO/IEC 15415 standard. During the measurements, height and width of the single cell as well as entire code was checked.

The research leads to conclusion that minimum code size to obtain acceptable quality level depends, among other factors, of the module size increase in print versus the digital original, which is different for different printers. To find out the minimum module size to be safely printed on any given device, this increase must be measured, or otherwise different code sizes must be experimentally verified for acceptable quality.