

Analiza mikro- i makrostruktury powierzchniowej papierów offsetowych oraz naniesionej na nią warstwy natryskowej farby fotoutwardzalnej

Wstęp

W badaniach przeprowadzonych w ramach rozprawy doktorskiej pt. *Wpływ parametrów papieru offsetowego na jakość zadruku cyfrowego natryskowego* [1] zajęto się techniką coraz popularniejszą w produkcji poligraficznej (przewiduje się, że w 2025 roku ogół druków cyfrowych stanowić będzie 26% wszystkich druków [2]). Wzrost popularności cyfrowej techniki druku wynika z faktu realizowania przez drukarnie coraz mniejszych nakładów. Wówczas analogowe techniki drukowania, takie jak offset, stają się mniej opłacalne. Technika cyfrowa jest dość nowa, a więc jej użytkownicy wciąż ją poznają. W związku z tym w trakcie produkcji napotyka się na różne problemy, w tym problemy związane z jakością wydruków.

W rzeczonych badaniach wykorzystano potencjał maszyn cyfrowych popularnych na rynku. Proces drukowania przeprowadzono z użyciem dwóch typów maszyn natryskowych. Różnice wynikają z rodzajów farb, w które są wyposażone (tu zastosowano farby wodorozcieńczalne i fotoutwardzalne). Dokonano ustawień sterownika maszyny umożliwiających uzyskanie odbitek o jak największym gamacie (zwanym również rozpiętością barw). Zrobiono to bez użycia dostępnych profili urządzenia, gdyż żaden z nich nie pasuje do badanych podłoży, co może stanowić problem dla drukarzy. Podłoża te nie są dedykowane do technik cyfrowych, a do analogowych, jednak z uwagi na mniejszy koszt zakupu wykorzystywanie ich w technikach cyfrowych jest istotne z punktu widzenia przedsiębiorstwa. Z kolei maszyny cyfrowe natryskowe stawiają podłożom mniejsze ograniczenia niż urządzenia elektrofotograficzne. Firmy poligraficzne, na co dzień zaangażowane w realizację otrzymanych zleceń, nie mają możliwości czasowych, a także odpowiedniej aparatury badawczej, aby móc zweryfikować, czy dany rodzaj papieru offsetowego nadaje się do cyfrowej techniki natryskowej. Przeprowadzone badania pozwalają sprawdzić użyteczność podłoży oraz przedstawić parametry predestynujące dane podłoże do techniki natryskowej.

Wspomniany eksperyment obejmował badanie jakości odbitek (sprawdzano objętość rozpiętości przestrzeni barwnych), właściwości fizykochemicznych i mechanicznych wykorzystanych rodzajów papieru, a także analizę mikro- i makrostruktury jego powierzchni. W niniejszym artykule przedstawiono ostatnie z wymienionych zagadnień.

Badanie mikroskopowe

Do badania mikrostruktury papierów zwyczajowo stosowanych w technice offsetowej wykorzystano elektronowy mikroskop skaningowy (SEM) JSM 7600F firmy Jeol z emisją polową (typu Schottky), wyposażony w spektrometr rentgenowski z dyspersją energii INCA 250 firmy OXFORD (rys. 1).

Podstawowe parametry pracy mikroskopu to:

- napięcie przyspieszające 0,1 ÷ 30 kV,
- rozdzielczość 1,0 nm (przy 15 kV), 1,5 nm (przy 1 kV),
- zakres powiększeń 25x ÷ 1000 000x,
- detektory elektronów wtórnych wewnątrzsoczewkowy (SE) oraz pozasoczewkowy (LE),
- detektory elektronów wstecznie rozproszonych pozasoczewkowy (BE) oraz pozasoczewkowy elektronów wstecznie rozproszonych pod małym kątem (LBE). [3]



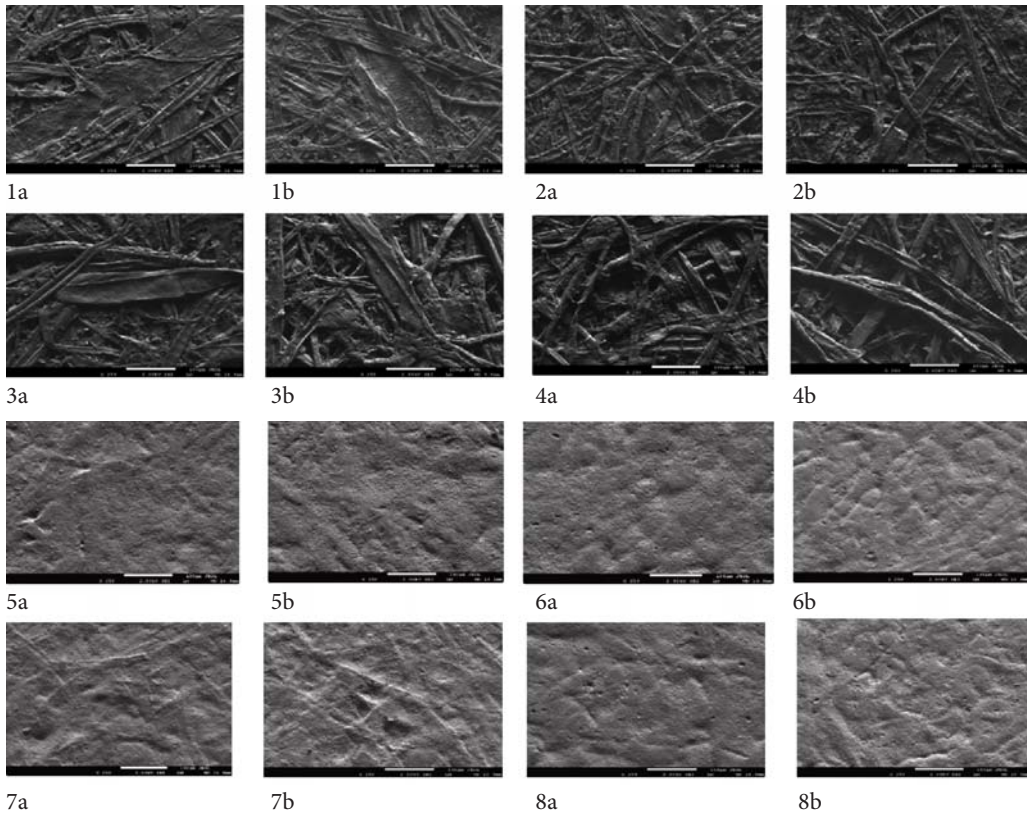
Rys. 1.
Skaningowy
mikroskop
elektronowy
firmy Jeol [4]

Papier to materiał trudno przewodzący (jego przewodność zależy od zawartości wody), dlatego w przeprowadzonym doświadczeniu na próbki napyłono węgiel, który stworzył na papierze warstwę przewodzącą o grubości od 15 do 30 nanometrów. Zastosowano napięcie przyspieszające 2 kV.

Do obserwacji próbek wykorzystano detektor elektronów wtórnych. Na załączonych obrazach można zaobserwować topografię powierzchni papieru, wszystkie jej nierówności. Właśnie te nierówności są źródłem kontrastu dla elektronów wtórnych. Gdyby papier był idealnie gładki, nie udałooby się przeprowadzić badań za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego.

Wykonano zdjęcia obu stron papieru ze względu na jego dwustronność, która powstaje jeszcze na etapie tworzenia wstęgi (dodatki masowe i włókna rozkładają się niejednakowo po stronie dolnej, zwanej zwyczajowo sitową, i po stronie górnej, zwanej filcową). Obecnie w papierach przeznaczonych do techniki offsetowej dwustronność nie jest już tak widoczna, ale wciąż ma wpływ na powstawanie różnic w poszczególnych parametrach stron papieru [5].

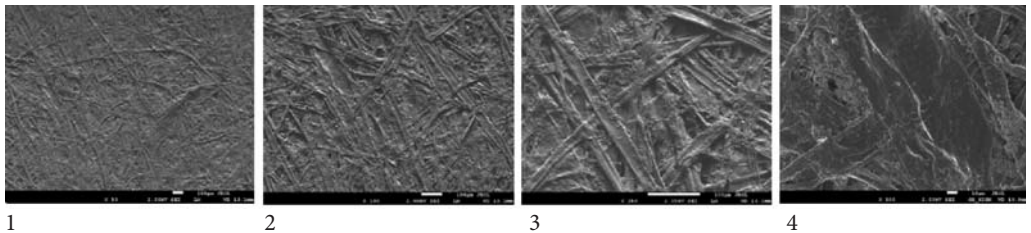
Na zamieszczonych fotografiach z mikroskopu skaningowego przedstawiono powierzchnię próbek papieru powiększoną 250 razy (rys. 2).

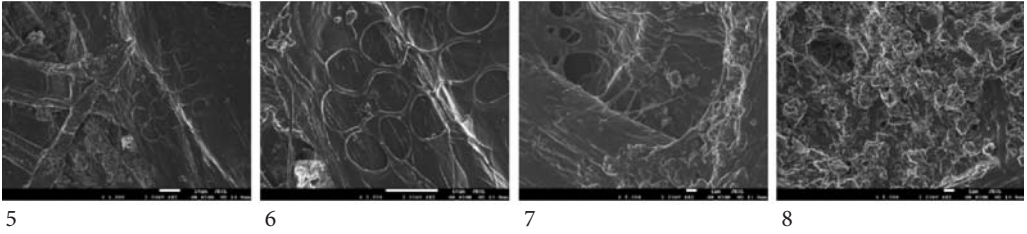


Rys. 2. Zdjęcia próbek papieru wykonane za pomocą mikroskopu skaningowego:
 a – strona górna, b – strona sitowa, 1 – papier niepowlekany biały 60 g/m²,
 2 – tektura niepowlekana biała 450 g/m², 3 – papier niepowlekany pulchny kremowy 70 g/m²,
 4 – tektura niepowlekana pulchna kremowa 350 g/m², 5 – papier powlekany biały 90 g/m²,
 6 – papier powlekany biały 250 g/m², 7 – papier powlekany pulchny biały 90 g/m²,
 8 – papier powlekany pulchny biały 250 g/m²

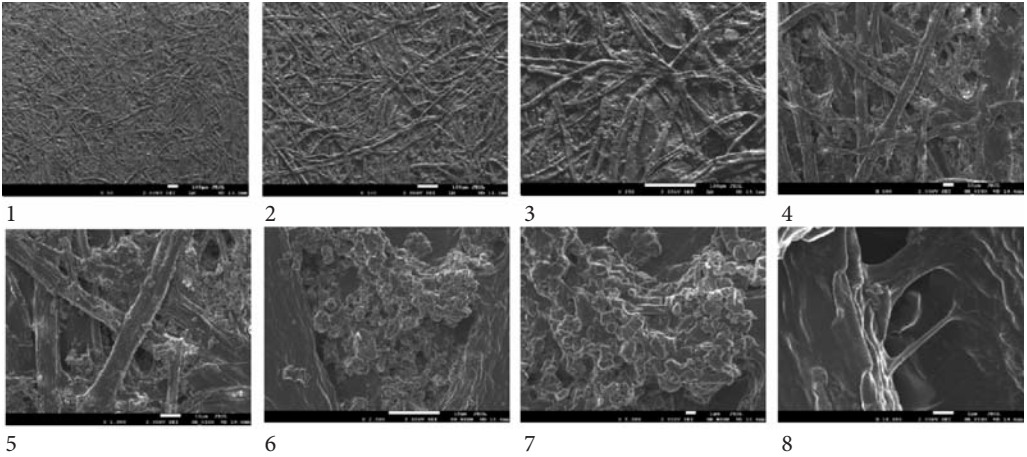
Dodatkowo wykonano zdjęcia wszystkich próbek z jednej strony (sfotografowano stronę górną) w różnych powiększeniach (rys. 3–10).

Rys. 3. Papier niepowlekany biały 60 g/m², [druga część rysunku na następnej stronie]

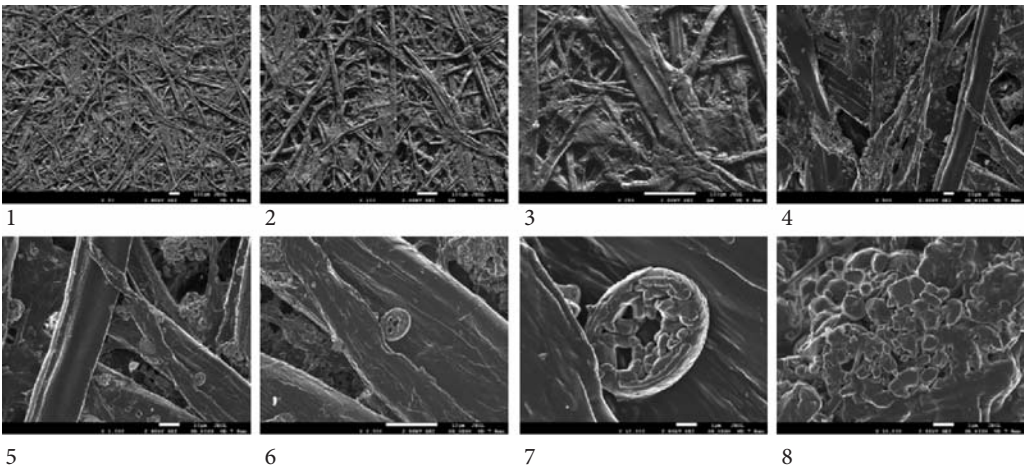




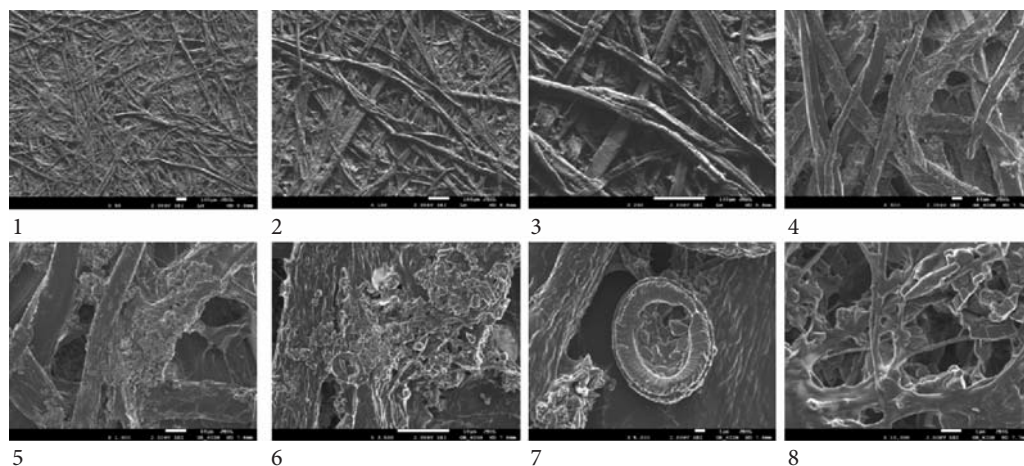
Rys. 3. Papier niepowlekany biały 60 g/m², powiększenia: 1- x50, 2 - x100, 3 - x250, 4 - x500, 5 - x1000, 6 - x2500, 7 - x5000, 8 - x5000



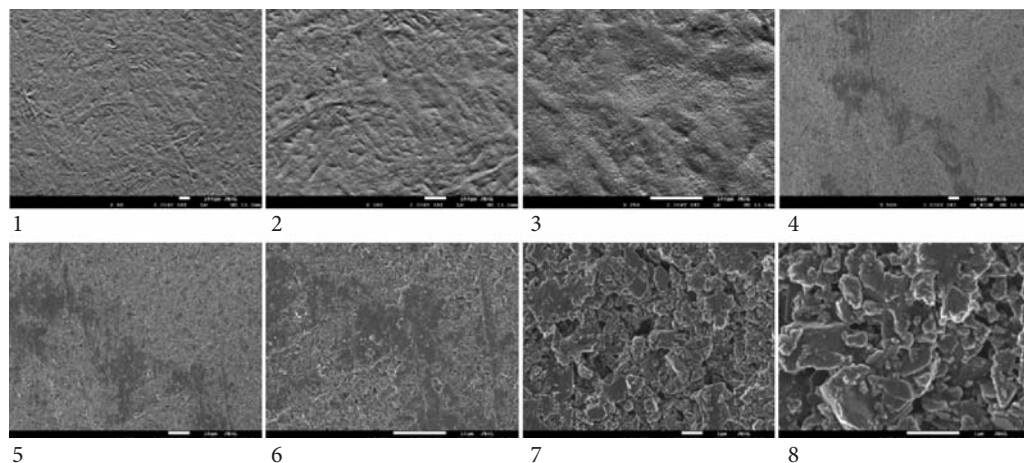
Rys. 4. Papier niepowlekany biały 450 g/m², powiększenia: 1- x50, 2 - x100, 3 - x250, 4 - x500, 5 - x1000, 6 - x2500, 7 - x5000, 8 - x10000



Rys. 5. Papier niepowlekany biały 70 g/m², powiększenia: 1- x50, 2 - x100, 3 - x250, 4 - x500, 5 - x1000, 6 - x2500, 7 - x10000, 8 - x10000

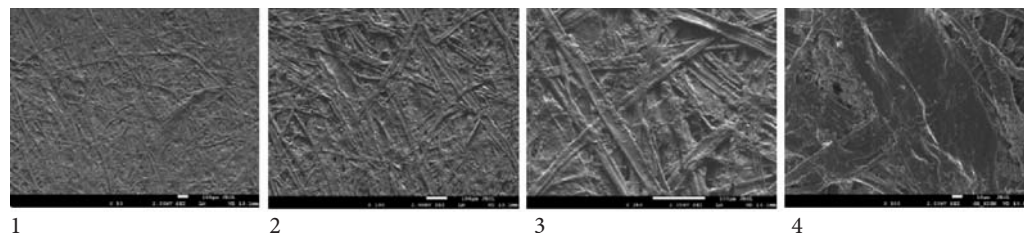


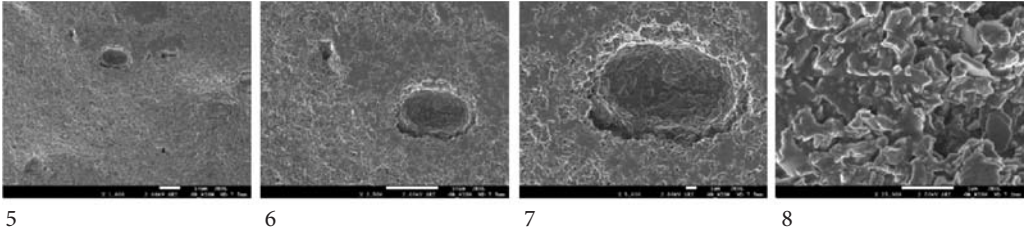
Rys. 6. Papier niepowlekany kremowy 350 g/m², powiększenia: 1- x50, 2 - x100, 3 - x250, 4 - x500, 5 - x1000, 6 - x2500, 7 - x5000, 8 - x10000



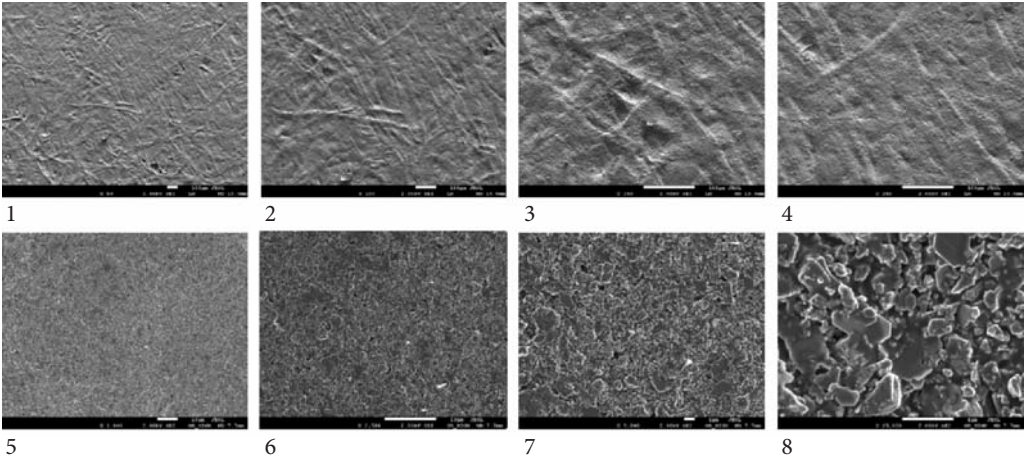
Rys. 7. Papier powlekany biały 90 g/m², powiększenia: 1- x50, 2 - x100, 3 - x250, 4 - x500, 5 - x1000, 6 - x2500, 7 - x10000, 8 - x25000

Rys. 8. Papier powlekany biały 250 g/m², [druga część rys. na następnej stronie]

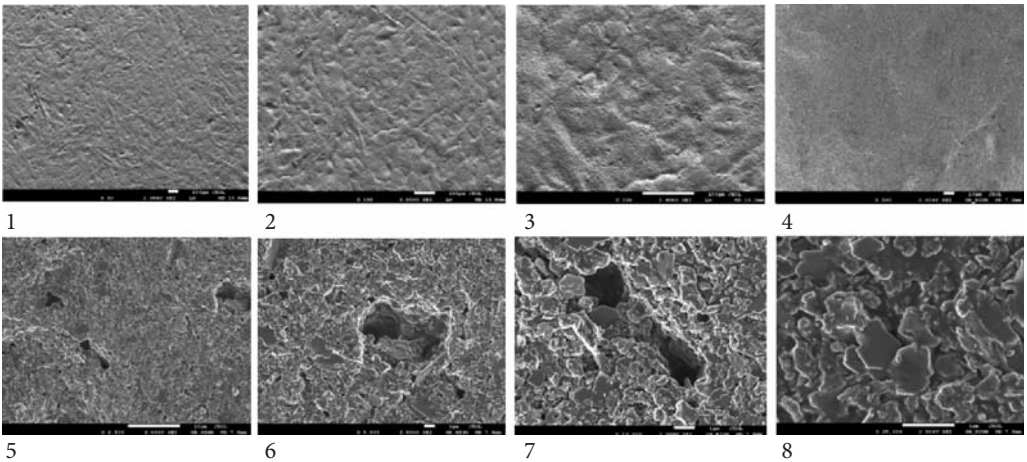




Rys. 8. Papier powlekany biały 250 g/m², powiększenia: 1- x50, 2 - x100, 3 - x250, 4 - x500, 5 - x1000, 6 - x2500, 7 - x5000, 8 - x25000



Rys. 9. Papier powlekany pulchny biały 90 g/m², powiększenia: 1- x50, 2 - x100, 3 - x250, 4 - x500, 5 - x1000, 6 - x2500, 7 - x5000, 8 - x25000



Rys. 10. Papier powlekany pulchny biały 250 g/m², powiększenia: 1- x50, 2 - x100, 3 - x250, 4 - x500, 5 - x2500, 6 - x5000, 7 - x10000, 8 - x25000

Pomiar szorstkości powierzchni metodą PPS

W ramach badań zmierzono również szorstkość powierzchni próbek. Wykorzystano do tego metodę PPS₁₀ (Parker Paper Surf). Jest to metoda pneumatyczna, w której mierzony jest przepływ powietrza między głowicą pomiarową a papierem [5]. W opisywanym doświadczeniu różnica ciśnień wynosiła 1 MPa. Wyniki umieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Szorstkość badanych próbek wykonana metodą PPS₁₀ [μm]²

Nr próbki	Papier/tekstura	Gramatura [g/m ²]	PPS ₁₀ [μm]	
			strona górna	strona sitowa
1	Papier niepowlekany biały	60	4,06	4,11
2	Tektura niepowlekana biała	450	4,48	4,52
3	Papier niepowlekany pulchny kremowy	70	4,62	4,81
4	Tektura niepowlekana pulchna kremowa	350	5,13	5,21
5	Papier powlekany biały	90	1,9	1,93
6	Papier powlekany biały	250	2,47	2,62
7	Papier powlekany pulchny biały	90	3,24	3,64
8	Papier powlekany pulchny biały	250	3,06	3,23

Szorstkość mierzona metodą Bendstena

Parametr ten wyznaczono w oparciu o normę PN-93/P-50166/02 [6]. Wyniki podano w ml/min, a wyrażają one prędkość przepływu powietrza między głowicą pierścieniową a papierem. Zestawiono je w tabeli 2.

Można zauważyć, że szorstkość obu stron papierów, również powlekanych, różni się. Największa charakteryzuje teksturę niepowlekaną pulchną kremową, natomiast najmniejsza – papier powlekany biały o małej gramaturze.

Tabela 2. Szorstkość próbek zbadana metodą Bendstena [ml/min]

Rodzaj papieru/tekstury	niepowlekany biały				niepowlekany pulchny kremowy			
	60 a	60 b	450 a	450 b	70 a	70 b	350 a	350 b
Gramatura [g/m ²] strony (a, b)	60 a	60 b	450 a	450 b	70 a	70 b	350 a	350 b
Liczba pomiarów	10	10	10	10	10	10	10	10
Wartość maksymalna	220,000	260,000	260,000	320,000	260,000	320,000	440,000	500,000
Wartość minimalna	140,000	180,000	240,000	240,000	240,000	280,000	400,000	420,000
Wartość średnia	164,000	210,000	246,000	268,000	250,000	302,000	422,000	458,000
Odchylenie standardowe	24,5855	25,3859	9,6609	26,9979	10,5409	14,7573	14,7573	27,4064
Wariancja	604,4444	644,4444	93,3333	728,8889	111,1111	217,7778	217,7778	751,1111
Współczynnik zmienności	0,1499	0,1209	0,0393	0,1007	0,0422	0,0489	0,035	0,0598

Rodzaj papieru/tektury	powlekany biały				powlekany pulchny biały			
Gramatura [g/m ²] strony (a, b)	90 a	90 b	250 a	250 b	90 a	90 b	250 a	250 b
Liczba pomiarów	10	10	10	10	10	10	10	10
Wartość maksymalna	40.000	55.000	50.000	65.000	160.000	200.000	85.000	100.000
Wartość minimalna	30.000	35.000	40.000	40.000	100.000	120.000	60.000	75.000
Wartość średnia	36.000	47.000	47.500	52.000	121.500	150.000	72.000	91.000
Odchylenie standardowe	3.9441	7.1492	3.5355	7.5277	24.0428	30.1846	8.5635	9.9443
Wariancja	15.56	51.11	12.5	56.6667	578.0556	911.1111	73.3333	98.8889
Współczynnik zmienności	0.1096	0.1521	0.0744	0.1448	0.1979	0.2012	0.1189	0.1093

Gładkość Bekka

Właściwość tę zbadano w oparciu o normę PN-ISO 5627:1998 [7]. Jednostką gładkości są sekundy, ponieważ wyraża się ją czasem przepływu powietrza między powierzchnią papieru a płytką szklaną [5]. Parametr zmierzono za pomocą aparatu Bekka (rys. 11).

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że jest nieduża różnica gładkości pomiędzy górną a dolną stroną papieru. Największe wartości wykazują papiery powlekane niepulchne.



Tabela 3. Gładkość badanych próbek wykonana metodą Bekka [s]

Rodzaj papieru/tektury	niepowlekany biały				niepowlekany pulchny kremowy			
Gramatura [g/m ²] strony (a, b)	60 a	60 b	450 a	450 b	70 a	70 b	350 a	350 b
Liczba pomiarów	10	10	10	10	10	10	10	10
Wartość maksymalna [s]	31,0	45,0	2,8	2,9	15,7	19,2	2,9	3,1
Wartość minimalna	28,0	40,0	2,3	2,6	12,6	15,3	2,4	2,5
Wartość średnia	29,20	42,00	2,52	2,73	13,75	16,94	2,62	2,82
Odchylenie standardowe	2,0356	2,4231	0,1814	0,0949	1,0102	1,2411	0,1874	0,1874
Wariancja	0,2187	0,9674	0,0329	0,0090	1,0206	1,5404	0,0351	0,0351
Współczynnik zmienności	0,0364	0,0465	0,072	0,0348	0,0735	0,0733	0,0715	0,0664

Rodzaj papieru/tektury	powlekany biały				powlekany pulchny biały			
Gramatura [g/m ²] strony (a, b)	90 a	90 b	250 a	250 b	90 a	90 b	250 a	250 b
Liczba pomiarów	10	10	10	10	10	10	10	10
Wartość maksymalna [s]	245,9	281,00	43,1	43,7	68,2	67,8	20,5	22,6
Wartość minimalna	144,4	186,8	36,6	37,1	53,8	54,6	18,3	19,5
Wartość średnia	194,04	231,11	38,96	39,77	59,2	60,29	19,36	20,49
Odchylenie standardowe	45,8758	40,7795	2,2062	2,0758	4,2466	4,3057	0,7306	1,0397
Wariancja	2,104.59	1,662.97	4,8671	4,309	18,0333	18,5388	0,5338	1,081
Współczynnik zmienności	0,2364	0,1765	0,0566	0,0522	0,0717	0,0714	0,0377	0,0507

Przenikalność powietrza

Parametr ten wyznaczono w oparciu o metodę Bendstena, zgodnie z normą PN-P-50176-3:1994 [9]. Jednostką przenikalności powietrza jest ml/min.

Tabela 4. Przenikalność powietrza [ml/min]

Rodzaj papieru/tektury	niepowlekany biały		niepowlekany pulchny kremowy					
Gramatura [g/m ²] strony (a, b)	60 a	60 b	450 a	450 b	70 a	70 b	350 a	350 b
Liczba pomiarów	10	10	10	10	10	10	10	10
Wartość maksymalna	1300,000	1300,000	220,000	200,000	1900,000	1900,000	440,000	460,000
Wartość minimalna	1100,000	1100,000	160,000	180,000	1600,000	1600,000	400,000	400,000
Wartość średnia	1230,000	1240,000	198,000	196,000	1780,000	1790,000	426,000	434,000
Odchylenie standardowe	67,4949	69,9206	17,5119	8,4327	103,2796	87,5595	13,4990	16,4655
Wariancja	4555,5556	4888,8889	306,6667	71,1111	10666,6667	7666,6667	182,2222	271,1111
Współczynnik zmienności	0,0549	0,0564	0,0884	0,043	0,058	0,0489	0,0317	0,0379
Rodzaj papieru/tektury	powlekany biały		powlekany pulchny biały					
Gramatura [g/m ²] strony (a, b)	90 a	90 b	250 a	250 b	90 a	90 b	250 a	250 b
Liczba pomiarów	10	10	10	10	10	10	10	10
Wartość maksymalna	5,000	5,000	10,000	10,000	15,000	20,000	10,000	10,000
Wartość minimalna	5,000	5,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Wartość średnia	5,000	5,000	10,000	10,000	10,500	14,000	10,000	10,000
Odchylenie standardowe	0,000	0,000	0,000	0,000	1,581	3,162	0,000	0,000
Wariancja	0,000	0,000	0,000	0,000	2,500	10,000	0,000	0,000
Współczynnik zmienności	0,000	0,000	0,000	0,000	0,1506	0,2259	0,0000	0,0000

Wnioski

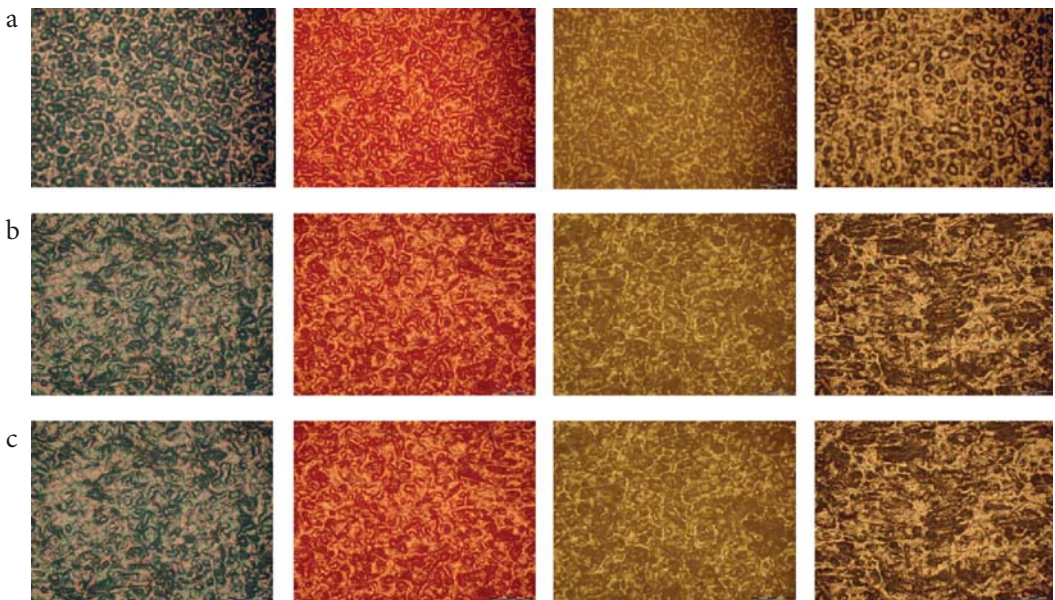
Największe nierówności, zwane makronierównościami (makrostruktura), zaobserwowano dla papierów niepowlekanych, szczególnie tych pulchnych (tj. z wysokim wolumenem). Można to zauważyć nie tylko na zdjęciach (rys. 2, próbki od 1 do 4), ale również na podstawie wyników pomiaru szorstkości. Na tak rozwiniętych nierównościach powierzchni nie jest możliwe równomierne pokrycie farbą w technice druku farbami wodorozcieńczalnymi. Potwierdziły to wyniki pomiarów objętości rozpiętości barwnej (gamutu). Odbitki wykonane na tych papierach, szczególnie o małej gramaturze, charakteryzowały się najmniejszą objętością rozpiętości barwy. Widoczne nawet nierównomierności niepowlekanych tektur nie miały znaczenia w przypadku techniki druku z zastosowaniem farb fotoutwardzalnych, dla których otrzymano bardzo duże objętości gamutu.

W przypadku papierów powlekanych (rys. 2, próbki od 5 do 8) nierównomierności są dużo mniejsze i są to tzw. mikronierówności (mikrostruktura). Najmniej szorstki papier to ten powlekany biały o małej gramaturze (próbka 5), co jest widoczne zarówno na fotografii, jak i w tabeli wyników pomiaru szorstkości. Można zauważyć również różnice w mikrostrukturze stron górnej i sitowej. Dotyczy to nie tylko papierów niepowlekanych, ale również powlekanych.

Jak już wcześniej wspomniano, to dla próbek powlekanych otrzymano największe wartości objętości gamutu. W przypadku odbitek wykonanych farbami fotoutwardzalnymi na wszystkich papierach powlekanych niezależnie od gramatury uzyskano duże objętości rozpiętości przestrzeni barwnej. Natomiast jeśli chodzi o technikę natryskową z wykorzystaniem farb wodorozcieńczalnych, najlepsze wyniki uzyskano dla odbitek wydrukowanych na papierach powlekanych niepulchnych, czyli jak wykazano na zdjęciach mikrostruktury oraz w tabeli z wartościami PPS10, tych o najniższej szorstkości. Wynika to stąd, że w tej technice farba zostaje utrwalona poprzez absorpcję i parowanie. Typ mikrostruktury oraz gładkość mają więc w tym przypadku dużo większe znaczenie niż w technice z zastosowaniem farb fotoutwardzalnych, w której farba nie wnika w głąb papieru.

Badanie mikrostruktury warstwy farby fotoutwardzalnej

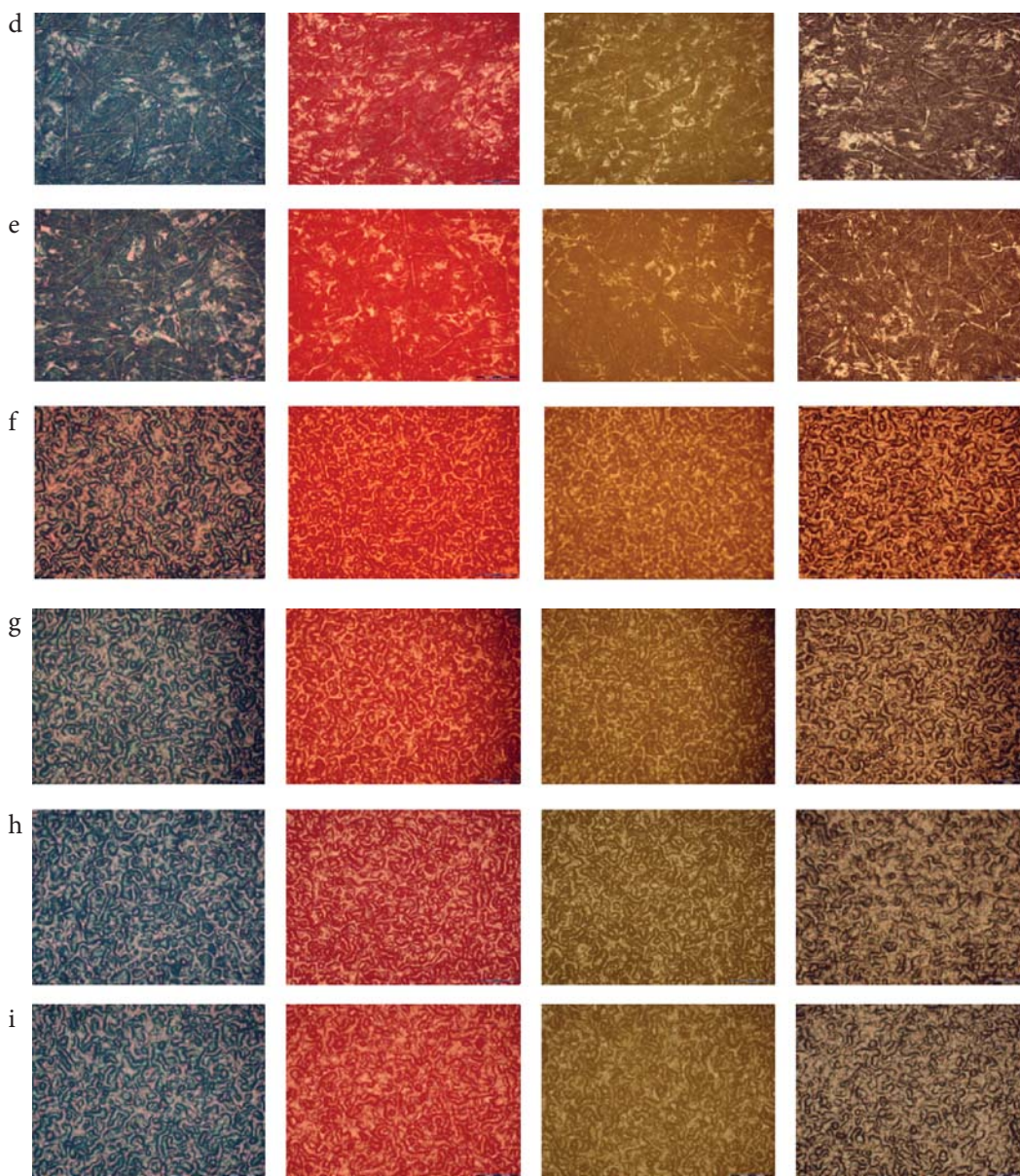
Oprócz badania mikrostruktury papieru niezadrukowanego zbadano również mikrostrukturę warstwy farby utrwalonej przy użyciu promieniowania ultrafioletowego. Badanie wykonano za pomocą mikroskopu stereoskopowego Olympus SZX9, przy 50-krotnym powiększeniu. Na zamieszczonych zdjęciach przedstawiono aple w czterech podstawowych barwach: niebieskozielonej, purpurowej, żółtej i czarnej (rys. 12, 13). Pod mikroskopem zbadano nie tylko próbki wykonane na papierach przeznaczonych do offsetu, ale również na papierze dedykowanym do techniki cyfrowej.



Rys. 12. 50-krotne powiększenie apli o barwie niebieskozielonej, purpurowej, żółtej i czarnej (CMYK), odbitki wykonane techniką cyfrową z wykorzystaniem farb fotoutwardzalnych:

a – papier dedykowany do drukowania cyfrowego 170 g/m²,

b – papier niepowlekany biały 60 g/m², c – tektura niepowlekana biała 450 g/m²



Rys. 13. 50-krotne powiększenie apli o barwie niebieskozielonej, purpurowej, żółtej i czarnej (CMYK), odbitki wykonane techniką cyfrową z wykorzystaniem farb fotoutwardzalnych (ciąg dalszy):

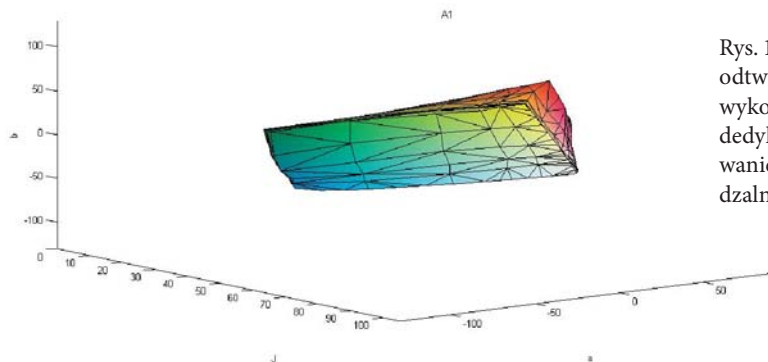
d – papier niepowlekany kremowy 70 g/m², e – tektura niepowlekana kremowa 350 g/m²,

f – papier powlekany biały 90 g/m², g – papier powlekany biały 250 g/m²,

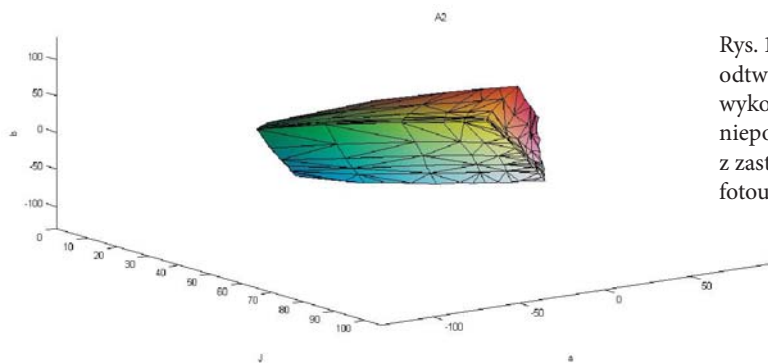
h – papier powlekany pulchny biały 90 g/m², i – papier powlekany pulchny biały 250 g/m²

Na podstawie przedstawionych zdjęć można zauważyć, że farba fotoutwardzalna, szczególnie w przypadku wydruków wykonanych na papierach powlekanych, nie wnika w podłoże w całości. Zjawisko wsiąkania jest bardziej zauważalne dla odbitek wykonanych na papierach niepowlekanych, szczególnie tych o małej gramaturze. Farba nie pokrywa równomiernie powierzchni, niektóre miejsca apli pozostają niezadrukowane.

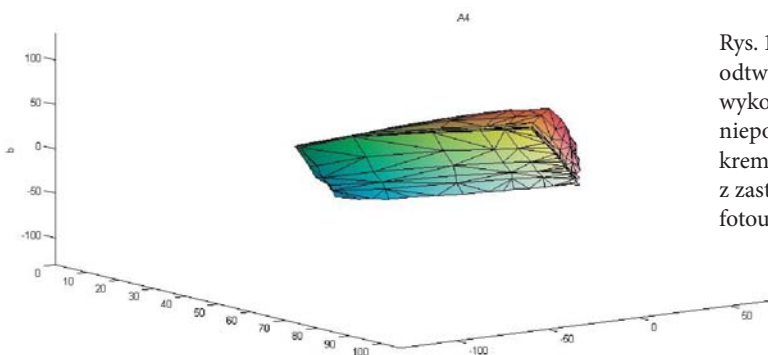
Nierównomierność pokrycia farbą wykazana na fotografiach potwierdza się w wyliczonej objętości przestrzeni barw, gdyż odbitki na papierach niepowlekanych wykazały się najmniejszymi wartościami (rys. 14–16, wizualizacje 3D gamutu).



Rys. 14. Obszar barw odtwarzalnych odbitki wykonanej na papierze dedykowanym z zastosowaniem farb fotoutwardzalnych



Rys. 15. Obszar barw odtwarzalnych odbitki wykonanej na papierze niepowlekany (60 g/m^2) z zastosowaniem farb fotoutwardzalnych



Rys. 16. Obszar barw odtwarzalnych odbitki wykonanej na papierze niepowlekany pulchnym kremowym (70 g/m^2) z zastosowaniem farb fotoutwardzalnych

Podsumowanie

Przydatność papierów offsetowych do drukowania natryskowego określana jest czterema parametrami. Do celów technicznych wystarczy wykorzystanie tylko trzech parametrów, a mianowicie: gramatury, szorstkości i wskaźnika Cobb₆₀. W niniejszym artykule ograniczono się do omówienia dwóch pierwszych, natomiast na podstawie wszystkich badań przeprowadzonych w ramach rozprawy doktorskiej przedstawiono również inne parametry umożliwiające dobór papierów do drukowania natryskowego bez konieczności sugerowania się nazwą handlową. Część z nich została zaprezentowana w dwóch poprzednich artykułach, które ukazały się na łamach czasopisma „Acta Poligraphica” [10, 11].

Bibliografia

1. Piłczyńska K., *Wpływ parametrów papieru offsetowego na jakość zadruku cyfrowego natryskowego*, rozprawa doktorska, Warszawa 2015.
2. Romano F., *Digital printing*, Rochester Institute of Technology, 2008.
3. www.itr.org.pl, dostęp 12.03.2015.
4. www.jeol.co.jp/en/products/, dostęp 11.12.2016.
5. Jakucewicz S., *Papier do drukowania – właściwości i rodzaje*, Warszawa, 2010, s. 58, 94–95.
6. Norma PN-93/P-50166/02, 1993.
7. Norma PN-ISO 5627:1998 – wersja polska.
8. www.kontech.com.pl, dostęp 4.10.2015.
9. Norma PN-P-50176-3:1994 – wersja polska.
10. Piłczyńska K., Blachowski K., *Comparison of color gamut volumes among ink-jet prints made on different types of paper*, „Acta Poligraphica”, nr 3/2014, s. 43–52.
11. Piłczyńska K., Jakucewicz S., *Researches on offset papers according to the possibility of their using in digital ink-jet printing techniques*, „Acta Poligraphica”, nr 7/2016, s. 14–20.

Abstract

Analysis of the offset paper surface micro- and macrostructure and UV-hardened inkjet overprinted layer

The possibility of using papers in offset printing process is defined by 4 parameters. For technical purpose the most important are: grammage, roughness and Cobb₆₀ indicator. In this article the first two were presented. However, in doctoral thesis also other parameters were defined. According to all of them it is possible to choose papers suitable for ink-jet without necessity of using brand names. Mentioned parameters were also presented in the previous “Acta Poligraphica” issues.