

Maciej CIEPLIŃSKI  
Anita ŚWIĘTONOWSKA

## MOŻLIWOŚCI PODWYŻSZENIA BIAŁOŚCI PAPIERU ZA POMOCĄ DODATKU ROZJAŚNIACZA OPTYCZNEGO I BARWNIKA NIUANSUJĄCEGO

**STRESZCZENIE**      *Omówiono znormalizowane metody oceny białości stosowane w przemyśle celulozowo-papierniczym. Przedstawiono wyniki oznaczeń właściwości optycznych papierów zawierających rozjaśniacze optyczne i barwniki niuansujące, dostępnych w handlu. Na podstawie wyników przeprowadzonych pomiarów wyprowadzono równania matematyczne pozwalające na obliczenie maksymalnej białości papieru, możliwej do osiągnięcia za pomocą dodatku rozjaśniacza optycznego i barwnika niuansującego, w zależności od jego wyjściowych właściwości optycznych.*

**Słowa kluczowe:** *papier, rozjaśniacze optyczne, barwniki niuansujące, białosc CIE*

---

**mgr inż. Maciej CIEPLIŃSKI**  
**mgr inż. Anita ŚWIĘTONOWSKA**  
e-mail: icplpap@ibwch.lodz.pl

Laboratorium Jakości Papieru  
Instytut Biopolimerów i Włókien Chemicznych

## 1. WSTĘP

---

Białość jest ważnym parametrem oceny jakości papierów do pisania i druku. Papiery te powinny być białe, ale nawet bardzo wysoka białość nie gwarantuje ich wysokiej jakości. Produkcja papieru o wysokiej białości wymaga zastosowania mas włóknistych otrzymanywanych metodami chemicznymi. Produkcja takich mas jest kosztowna i uciążliwa dla środowiska ze względu na trudne do utylizacji ścieki. Z powyższych względów w przemyśle papierniczym odchodzi się od produkcji papierów o bardzo wysokiej białości. Jednak w przypadku niektórych produktów papierniczych nadal obserwujemy tendencje do uzyskiwania coraz wyższych białości. Dotyczy to przede wszystkim papierów biurowych, takich jak papiery kserograficzne, których wysoką białość osiąga się przez dodatek rozjaśniaczy optycznych i barwników niuansujących.

Fluorescencyjne rozjaśniacze optyczne są to organiczne związki chemiczne pochłaniające niewidzialne dla ludzkiego oka promieniowanie nadfioletowe i emitujące światło niebieskie. Barwniki niuansujące pochłaniają światło w zielonym zakresie widma zmniejszając naturalny żółty odcień papieru.

## 2. METODY OCENY BIAŁOŚCI PAPIERU

---

W przemyśle celulozowo-papierniczym najstarszą i najczęściej stosowaną metodą oceny białości papieru jest pomiar współczynnika odbicia światła przechodzącego przez filtr niebieski o efektywnej długości fali 457 nm i szerokości połówkowej 44 nm ( $R_{457}$ ) – białość ISO. Metodę oznaczania białości ISO opisuje norma ISO 2470 [1]. Oznaczanie wykonuje się przy oświetleniu próbki światłem odpowiadającym iluminantowi C. Stosowany jest także pomiar współczynnika odbicia światła  $R_{457}$  przy oświetleniu próbki światłem odpowiadającym iluminantowi  $D_{65}$  – białość  $D_{65}$  (ISO/DIS 2470-2 [2]). Szczegółowe wymagania odnośnie przyrządów i warunków pomiarów podane są w normie ISO 2469 [3].

W przypadku papierów zawierających rozjaśniacze optyczne i barwniki niuansujące ocenę białości dokonuje się w oparciu o wzory zalecane przez CIE. W przemyśle papierniczym oznaczanie białości wg wzorów CIE określają dwie normy: ISO 11475 [4] i ISO 11476 [5].

Norma ISO 11475 określa metodę oceny białości przy oświetleniu próbki światłem odpowiadającym iluminantowi  $D_{65}$  dla obserwatora normalnego dodatkowego ( $10^0$ ). Ocena ta odpowiada wrażeniu wzrokowemu przy bezpośrednim świetle dziennym.

Norma ISO 11476 określa metodę oceny białości przy oświetleniu próbki światłem odpowiadającym iluminantowi C dla obserwatora normalnego ( $2^0$ ). Ocena ta odpowiada wrażeniu wzrokowemu przy oświetleniu w pomieszczeniu zamkniętym.

Geometria optyczna przyrządów i warunki pomiarów są zgodne z ISO 2469 [3].

Ocena białości wg CIE jest dwuparametryczna, składa się ze wskaźnika białości  $W$  i odchylenia odcieniowego  $T$ .

Wzory CIE mają następującą postać:

Dla iluminantu CIE C i obserwatora normalnego ( $2^0$ )

$$W = Y + 800(x_n - x) + 1700(y_n - y) \quad (1)$$

$$T = 1000(x_n - x) - 650(y_n - y_{10}) \quad (2)$$

Dla iluminantów  $D_{65}$  i obserwatora normalnego dodatkowego ( $10^0$ )

$$W = Y + 800(x_{n,10} - x) + 1700(y_{n,10} - y) \quad (3)$$

$$T = 900(x_{n,10} - x_{10}) - 650(y_{n,10} - y_{10}) \quad (4)$$

gdzie:

$x$  i  $y$  – współrzędne chromatyczności badanej próbki dla odpowiedniego iluminantu i obserwatora;

$x_n$  i  $y_n$  – współrzędne chromatyczności dla rozpraszacza doskonałego przy odbiciu dla odpowiedniego iluminantu i obserwatora.

Na wartość białości  $W$  składa się wartość luminancji (jasności)  $Y$  i czynnik określający barwę  $800(x_{n,10} - x_{10}) + 1700(y_{n,10} - y_{10})$ , który przybiera wartości dodatnie (podwyższa białość), gdy próbka ma odcień niebieski lub wartości ujemne (obniża białość), gdy próbka ma odcień żółty. Dla rozpraszacza doskonałego przy odbiciu białość CIE przybiera wartość 100. Wzór na białość CIE skonstruowany jest tak, że maksymalny przyrost białości występuje wzdłuż linii 425 nm, a nie wzdłuż linii neutralnej. Przesunięcie współrzędnych trójchromatycznych w układzie CIE  $Yxy$  o 0,01 jednostki wzdłuż linii 425 nm powoduje zmianę białości CIE  $W$  o 25 jednostek.

Odchylenie odcieniowe  $T$  określa przesunięcie barwy próbki w kierunku zieleni (dodatnie wartości  $T$ ) lub czerwieni (ujemne wartości  $T$ ). Jeżeli współrzędne chromatyczności próbki leżą na linii neutralnej (465 nm), to  $T = 0$ .

Próbkę można rozpatrywać jako białą, jeżeli spełnione są następujące warunki:

$$40 < W < (5Y - 280) \quad (5)$$

$$-3 < T < 3 \quad (6)$$

które oznaczają:

$W > 40$  – próbka nie jest zbyt ciemna lub żółta,

$W < (5Y-280)$  – próbka nie jest niebieska,

$T > -3$  – próbka nie jest czerwona,

$T < 3$  – próbka nie jest zielona.

Oznaczając:

$$800(x_{n,10} - x_{10}) + 1700(y_{n,10} - y_{10}) = W_B \quad (7)$$

wzór na białość CIE można zapisać w postaci:

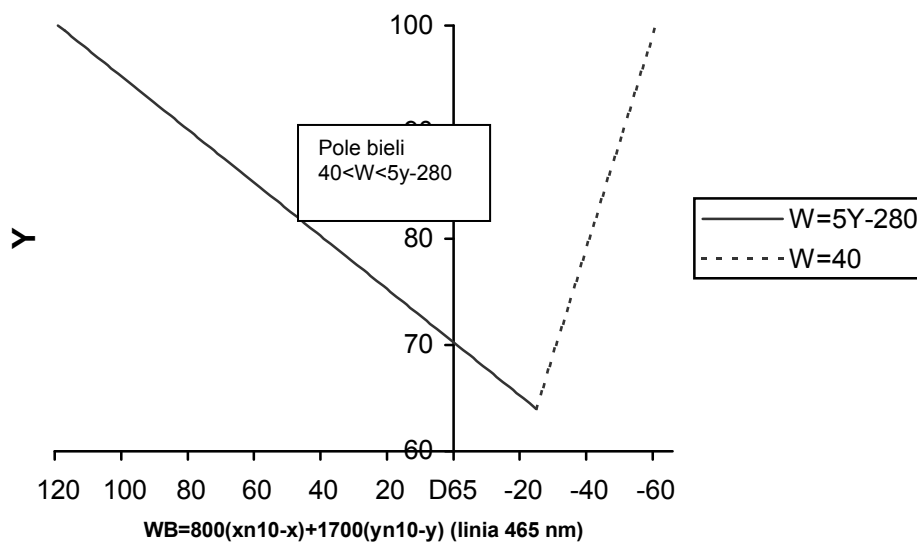
$$W = Y + W_B \quad (8)$$

Ograniczenia stosowania wzoru (5) przybierają postać:

$$Y > W_B/4 + 70 \quad (9)$$

$$Y > -W_B + 40 \quad (10)$$

Powyższe ograniczenia można przedstawić na wykresie zależności  $Y = f(W_B)$ , na którym osią rzędną jest linia 465 nm, a osią odciętych  $Y$  (rys. 1). Graniczne wartości białości  $W$  dla punktów leżących na liniach  $Y = W_B/4 + 70$  i  $Y = -W_B + 40$  odpowiadają wartościom granicznym  $W = 5Y - 280$  i  $W = 40$ .



Rys. 1. Pole bieli na wykresie zależności  $Y = f(W_B)$

### 3. WYNIKI OCENY BIAŁOŚCI PAPIERÓW ZAWIERAJĄCYCH ROZJAŚNIACZE OPTYCZNE

W latach 2005–2008 w Laboratorium Jakości Papieru przebadano około 200 próbek papierów drukowych, do pisania i kserograficznych, dostępnych w handlu. Papiery pochodziły zarówno od producentów krajowych jak i zagranicznych, w zdecydowanej większości europejskich. Wyniki oznaczania białości CIE dla powyższych papierów przedstawiono w tabeli 1.

Na podstawie wyników przedstawionych w tabeli 1 można stwierdzić, że ponad 80% papierów o deklarowanych przez producentów bardzo wysokich białościach CIE  $D_{65}/10^0$  (powyżej 155 jednostek) nie jest, przy oświetleniu odpowiadającym iluminantowi  $D_{65}$ , biała, lecz niebieska. Z 29 przebadanych papierów o wartości białości powyżej 165 jednostek żaden nie był biały wg CIE. Niebieski odcień papierów spowodowany jest przedozowaniem fluorescencyjnego rozjaśniacza optycznego i barwnika niuansującego. Przy oświetleniu próbek światłem odpowiadającym iluminantowi C fluorescencja rozjaśniacza optycznego jest zdecydowanie mniejsza. Białości CIE  $C/2^0$  są więc średnio o ponad 20 jednostek niższe niż przy świetle  $D_{65}$ . Większość przebadanych próbek mieści się w zakresie stosowania wzorów CIE, ale i w tych warunkach oświetlenia ponad 5% papierów nadal miało odcień zbyt niebieski, aby można je uznać za białe. Ocena białości papieru przy świetle C bardziej odpowiada normalnym warunkom użytkowania papieru [6], jednak ze względów komercyjnych producenci papieru prawie wyłącznie podają białość swoich wyrobów mierzoną przy świetle  $D_{65}$ . Biorąc powyższe pod uwagę, celowym jest ustalenie maksymalnej białości, jaką można osiągnąć, dodając do papieru rozjaśniacz optyczny i barwnik niuansujący.

**TABELA 1**

Wyniki oznaczania białości CIE papierów do druku, pisania i kserograficznych uzyskane w Laboratorium Jakości Papieru w latach 2005–2008

Wartość białości W CIE $D_{65}/10^0$	Ilość przebadanych próbek	Ilość próbek nie spełniających ograniczenia W CIE $D_{65}/10^0 < 280 - 5Y$	Wartość białości W CIE $C/2^0$	Ilość próbek nie spełniających ograniczenia W CIE $C/2^0 < 280 - 5Y$
165 - 170	29	29	146 - 138	7
160 - 165	34	31	141 - 134	4
155 - 160	32	20	136 - 129	1
150 - 155	19	4	131 - 125	1
145 - 150	32	3	128 - 120	0
140 - 145	28	2	123 - 113	0
< 140	33	1	< 115	0

Uwaga: Dla żadnego z badanych papierów nie stwierdzono, zarówno przy świetle  $D_{65}$  jak i C, przekroczenia ograniczenia:  $-3 < T < 3$ .

## 4. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

---

### 4.1. Metodyka badań

---

W celu określenia możliwości maksymalnego podniesienia białości papieru za pomocą dodatku fluorescencyjnego rozjaśniacza optycznego i barwnika niuansującego, przeprowadzono badania właściwości optycznych serii siedmiu handlowych próbek papierów kserograficznych (oznaczonych literami od A do G). Badane papiery pochodziły od różnych producentów, ale wyprodukowane zostały z podobnych surowców – masy celulozowej liściasto-iglastej, jako wypełniacz zastosowany był węglan wapnia, a jako środek zaklejający skrobia. Wszystkie papiery zawierały różne ilości rozjaśniacza optycznego. Papier oznaczony jako A nie zawierał barwnika niuansującego, pozostałe papiery zawierały barwnik niuansujący.

Pomiary wykonano za pomocą spektrofotometru L&W Elrepho. Spektrofotometr wyposażony jest w ruchomy filtr umożliwiający regulację zawartości promieniowania UV w oświetleniu próbki.

Dla wszystkich badanych papierów wyznaczono wartości współczynnika odbicia światła  $R_{457}$  oraz białości CIE przy różnym ustawieniu filtra odcinającego promieniowanie UV. Filtr odcinający promieniowanie UV ustawiony był w następujących pozycjach:

- odcięcie promieniowania UV poniżej długości fali 420 nm;
- odcięcie promieniowania UV poniżej długości fali 395 nm;
- dostosowanie zawartości UV do iluminantu CIE C;
- dostosowanie zawartości UV do iluminantu CIE  $D_{65}$ ;
- całkowite usunięcie filtra – maksymalny poziom promieniowania UV lampy.

Kalibrację zawartości promieniowania UV do poziomu odpowiadającego iluminantowi  $D_{65}$  lub C przeprowadzono za pomocą fluorescencyjnych wzorców papierowych pochodzących z STFI (Szwedzki Instytut Celulozowo-Papierniczy), który posiada autoryzację Komitetu Technicznego ISO/TC6.

### 4.2. Wpływ dodatku barwnika niuansującego na białość

---

W tabeli 2 przedstawiono wyniki oznaczeń dla poszczególnych papierów otrzymane po odcięciu promieniowania UV filtrem 420 nm. Światło o długości fali powyżej 420 nm nie pobudza fluorescencji rozjaśniacza optycznego. Wyniki otrzymane w powyższych warunkach odpowiadają właściwościom optycznym papierów bez dodatku rozjaśniacza.

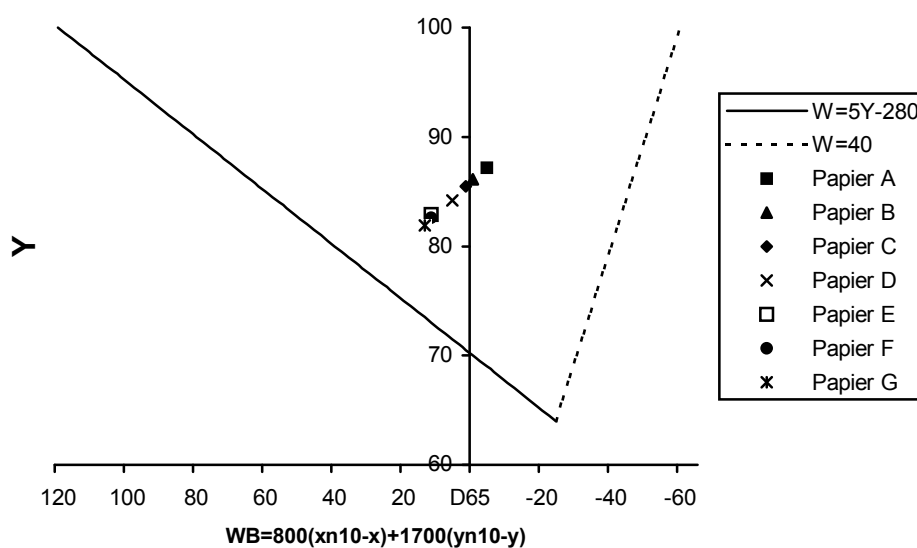
**TABELA 2**

Właściwości optyczne papierów otrzymane po odcięciu promieniowania UV w oświetleniu próbki filtrem 420 nm

Symbol papieru	$R_{457}$ %	Białość CIE $D_{65}/10$			
		Y	$W_B$	W	T
A	87,1	87,32	-4,60	82,72	0,49
B	87,1	86,06	-0,36	85,80	1,80
C	87,4	85,59	2,80	88,39	1,31
D	87,3	84,45	6,77	91,22	1,22
E	87,4	82,62	11,11	93,72	2,61
F	87,3	82,60	11,83	94,43	1,92
G	87,2	81,76	13,13	94,99	2,61

Bez fluorescencji rozjaśniacza optycznego badane papiery charakteryzują się bardzo zbliżonym współczynnikiem odbicia światła  $R_{457}$  (tabela 2). Oznacza to, że papiery te zostały wyprodukowane z surowców (masa włóknista, wypełniacze) o podobnej białości. Różnice w wartościach białości CIE  $D_{65}/10^0$  wynikają z różnej ilości barwnika niuansującego dodanego do poszczególnych papierów. Dodatek barwnika niuansującego powoduje absorpcję światła w zakresie 500–630 nm, nie wpływa więc na wartość współczynnika  $R_{457}$ .

Na rysunku 2 przedstawiono położenie punktów o współrzędnych  $Y$  i  $W_B$  dla badanych papierów na wykresie zależności  $Y = f(W_B)$ .



**Rys. 2.** Położenie punktów o współrzędnych  $Y$  i  $W_B$  dla badanych papierów na wykresie  $Y = f(W_B)$ . Promieniowanie UV w oświetleniu próbki odcięte filtrem 420 nm.

Na podstawie wyników zamieszczonych w tabeli 2 i na rysunku 2 można stwierdzić, że dodatek do papieru barwnika niuansującego zwiększa białosc CIE powodując przesunięcie składowych chromatyczności próbki w kierunku barwy niebieskiej (wzrost wartości  $W_B$ ). Natomiast jasność papieru, wyrażona jako wartość  $Y$ , maleje wraz ze wzrostem dodatku barwnika. Zwiększenie niebieskiego odcienia papieru, czyli wartości  $W_B$  jest proporcjonalne do spadku jego jasności, czyli wartości  $Y$ . W tabeli 3 zamieszczono wartości stosunku  $\Delta W_{BN}/\Delta Y_N$ .

$\Delta W_{BN}$  oznacza różnicę między wartością  $W_B$  dla danego papieru, a wartością  $W_B$  dla papieru A nie zawierającego barwnika niuansującego.

$\Delta Y_N$  oznacza różnicę między wartością  $Y$  dla danego papieru, a wartością  $Y$  dla papieru A nie zawierającego barwnika niuansującego.

**TABELA 3**

Wartości stosunku  $\Delta W_{BN}/\Delta Y_N$  dla badanych papierów

Symbol papieru	$\Delta W_{BN}/\Delta Y_N$	$(\Delta W_{BN}/\Delta Y_N)$ wartość średnia	Odchylenie standardowe $S$	Współczynnik zmienności $V, \%$
A	0	-3,44	0,27	7,9
B	-3,37			
C	-3,28			
D	-3,96			
E	-3,34			
F	-3,48			
G	-3,20			

Dodatek do papieru barwnika niuansującego powoduje zwiększenie wartości odchylenia odcieniowego  $T$ , czyli przesunięcie jego odcienia w kierunku barwy zielonej (tabela 2).

### 4.3. Wpływ rozjaśniacza optycznego na białosc

W tabeli 4 przedstawiono wyniki pomiarów optycznych dla badanych papierów przy różnym poziomie zawartości promieniowania UV w oświetleniu.



**TABELA 4**

Wyniki pomiarów optycznych dla badanych papierów przy różnym poziomie zawartości promieniowania UV w oświetleniu

Symbol papieru	Poziom promieniowania UV w oświetleniu próbki											
	UV odcięty filtrem 395 nm			UV dopasowany do iluminantu C			UV dopasowany do iluminantu D <sub>65</sub>			Maksymalny poziom UV		
	Białość CIE D <sub>65</sub> /10 <sup>0</sup>											
	Y	W	T	Y	W	T	Y	W	T	Y	W	T
A	88,1	101,2	0,20	88,8	117,4	-0,14	90,2	147,0	-0,79	90,9	159,9	-1,01
B	86,9	103,8	1,65	87,4	116,4	1,27	88,7	145,7	0,54	89,6	162,6	0,19
C	86,5	108,0	1,13	87,3	128,6	0,54	88,8	160,0	-0,16	81,0	170,3	-0,34
D	85,5	102,2	1,00	85,9	112,8	0,74	86,7	13,9	0,18	87,2	143,2	-0,04
E	83,6	115,2	2,34	84,3	129,2	2,17	86,1	165,0	1,51	86,7	179,3	1,28
F	83,5	113,6	1,63	84,2	130,9	1,31	85,2	152,2	0,86	85,7	161,3	0,66
G	82,7	116,3	2,21	83,7	138,6	1,96	85,1	166,5	1,23	85,9	180,9	1,03

Fluorescencja rozjaśniacza optycznego występuje w zakresie od 400 nm do 500 nm, wpływa więc wyraźnie na wartość współczynnika odbicia światła  $R_{457}$ , natomiast jej wpływ na wartość luminancji  $Y$  jest zdecydowanie mniejszy.

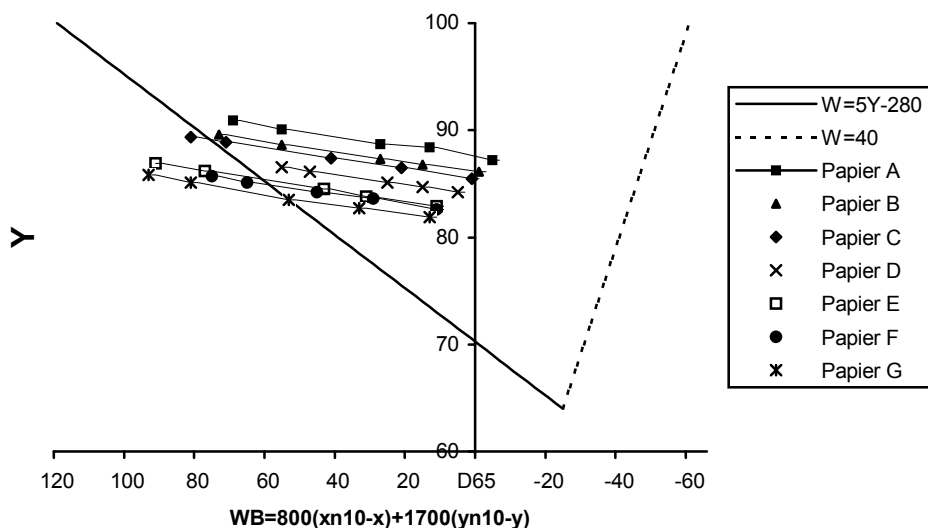
Nieznaczne zwiększenie jasności papieru (wartość  $Y$ ) pod wpływem fluorescencji rozjaśniacza optycznego powoduje wielokrotnie większy przyrost wartości  $W_B$ . Podwyższenie wartości  $W$  białości CIE D<sub>65</sub>/10<sup>0</sup> papieru spowodowane dodatkiem rozjaśniacza optycznego związane jest przede wszystkim z przesunięciem jego odcienia w kierunku barwy niebieskiej, a nie ze zwiększeniem jego jasności.

Na rysunku 3 przedstawiono zależność położenia punktów o współrzędnych  $Y$  i  $W_B$ , dla badanych papierów, na wykresie zależności  $Y = f(W_B)$  przy różnym poziomie fluorescencji rozjaśniacza optycznego.

Dla wszystkich badanych papierów współrzędne punktów, odpowiadających poszczególnym poziomom fluorescencji rozjaśniacza optycznego, układają się wzdłuż linii prostych. Ekstrapolując powyższe linie do punktów przecięcia z linią  $W = 5Y - 280$  można wyznaczyć graniczną wartość  $W$  białości CIE D<sub>65</sub>/10<sup>0</sup> papieru, po osiągnięciu której papier przestaje być biały. Wartość białości  $W$  jest sumą rzędnej  $Y$  i odciętej  $W_B$ . Dla papieru A, który nie zawiera barwnika niuansującego, maksymalna białość CIE D<sub>65</sub>/10<sup>0</sup> może sięgać ok. 175 jednostek. W przypadku papieru G, który zawiera największy dodatek barwnika niuansującego, maksymalna białość CIE D<sub>65</sub>/10<sup>0</sup> nie przekracza 140 jednostek. Jak widać na rysunku 2, wartość stosunku ( $\Delta W_B / \Delta Y$ ) dla wszystkich badanych papierów jest stała.

$\Delta W_B$  oznacza różnicę między wartością  $W_B$  dla badanego papieru oznaczoną dla danego poziomu zawartości UV w oświetleniu próbki, a wartością  $W_{B0}$  po odcięciu promieniowania UV filtrem 420 nm.

$\Delta Y$  oznacza różnicę między wartością  $Y$  dla badanego papieru oznaczoną dla danego poziomu zawartości UV w oświetleniu próbki, a wartością  $Y_0$  po odcięciu promieniowania UV filtrem 420 nm.



Rys. 3. Zależność położenia punktów o współrzędnych  $Y$  i  $W_B$ , dla badanych papierów, na wykresie zależności  $Y = f(W_B)$  od poziomu fluorescencji rozjaśniacza optycznego

Fluorescencja rozjaśniacza optycznego powoduje nieznaczne przesunięcie odchylenia odcieniowego  $T$  papieru w kierunku barwy czerwonej. Ponieważ dodatek barwnika niuansującego przesuwa odchylenie odcieniowe w kierunku barwy żółtej, kombinacja dodatku obu tych środków nie stwarza zagrożenia, że papier może mieć odcień zbyt żółty lub czerwony.

W tabeli 5 przedstawiono wartości stosunku  $(\Delta W_B/\Delta Y)$  dla badanych papierów.

TABELA 5

Wartości stosunku  $(\Delta W_B/\Delta Y)$  dla badanych papierów

Symbol papieru	$(\Delta W_B/\Delta Y)$ wartość średnia	Odchylenie standardowe $S$	Współczynnik zmienności $V, \%$	$(\Delta W_B/\Delta Y)$ wartość średnia dla wszystkich papierów	Odchylenie standardowe $S$	Współczynnik zmienności $V, \%$
A	21,57	0,93	4,3	21,37	0,93	4,4
B	21,62	0,55	2,5			
C	21,47	0,52	2,4			
D	23,06	0,70	3,1			
E	20,08	0,39	1,9			
F	21,17	0,55	2,6			
G	20,63	0,73	3,5			

Stosunek przyrostu składowej białości  $\Delta W_B$ , spowodowany fluorescencją rozjaśniacza optycznego do przyrostu luminancji  $\Delta Y$  jest stały. Pozwala to na proste wyliczenie maksymalnej białości możliwej do osiągnięcia na skutek dodatku rozjaśniacza optycznego, w zależności od wyjściowej białości papieru.

Przyjmując:

$$\Delta W_B / \Delta Y = A \quad (11)$$

i oznaczając:

$W_{BGr}$  – wartość składowej białości  $W_B$  odpowiadająca granicznej białości  $W_{Gr}$ , po osiągnięciu której papier przestaje być biały,

$Y_{Gr}$  – wartość  $Y$  odpowiadająca granicznej białości  $W_{Gr}$ , po osiągnięciu której papier przestaje być biały,

$W_{B0}$  – wyjściowa wartość składowej białości  $W_B$  bez dodatku rozjaśniacza optycznego,

$Y_0$  – wyjściowa wartość  $Y$  bez dodatku rozjaśniacza optycznego.

Można zapisać:

$$\Delta W_{BGr} / \Delta Y_{Gr} = (W_{BGr} - W_{B0}) / (Y_{Gr} - Y_0) = A \quad (12)$$

$$W_{Gr} = 5Y_{Gr} - 280. \quad (13)$$

Rozwiązując powyższy układ równań otrzymujemy

$$W_{Gr} = \frac{5}{A-4} (AY_0 - W_{B0} - 280) - 280. \quad (14)$$

Ponieważ  $W_0 = Y_0 + W_{B0}$ , powyższy wzór można zapisać w postaci

$$W_{Gr} = \frac{5}{A-4} [(A+1)Y_0 - W_0 - 280] - 280. \quad (15)$$

Maksymalna białość CIE  $D_{65}/10^0$  papieru, możliwa do osiągnięcia w wyniku dodatku rozjaśniacza optycznego musi więc spełniać zależność:

$$W_{max} < \frac{5}{A-4} (AY_0 - W_{B0} - 280) - 280 \quad (16)$$

lub

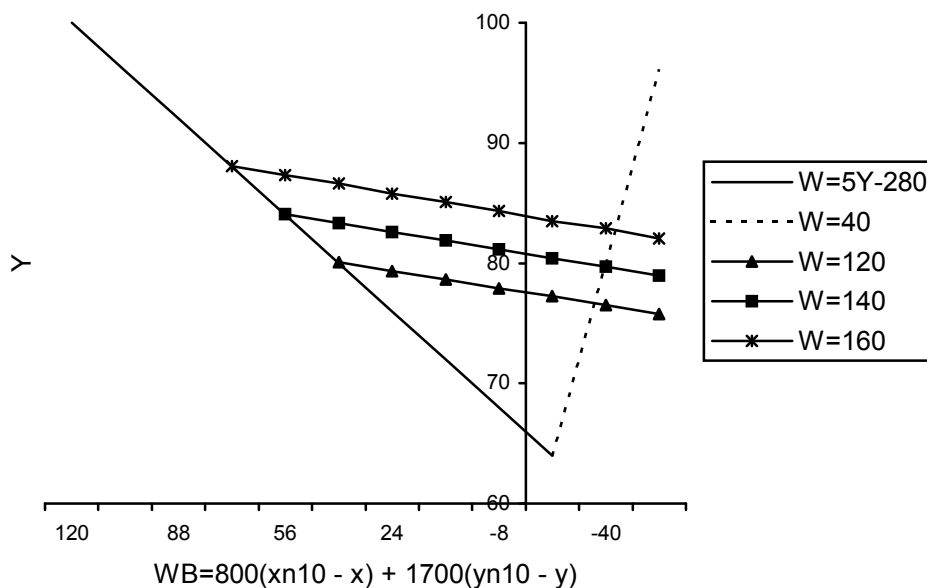
$$W_{max} < \frac{5}{A-4} [(A+1)Y_0 - W_0 - 280] - 280. \quad (17)$$

Korzystając z zależności (16) można wyprowadzić zależność między wyjściowymi wartościami  $W_{B0}$  i  $Y_0$ , które muszą być spełnione, aby za pomocą dodatku rozjaśniacza optycznego można było uzyskać dla danego papieru założoną wartość białości  $W$ .

Zależność ta ma postać

$$Y_0 > \frac{(W + 280)(A - 4) + 5W_{B0} + 1400}{5A} \quad (18)$$

Na rysunku 4 przedstawiono powyższą zależność graficznie, dla wartości  $A$  obliczonej dla badanych papierów (tabela 5).



**Rys. 4.** Linie, powyżej których muszą leżeć punkty o współrzędnych odpowiadających składowym białości  $W_{B0}$  i  $Y_0$  papieru, aby za pomocą dodatku rozjaśniacza optycznego można było dla niego uzyskać białość  $W$

Na podstawie rysunków 3 i 4 oraz zależności (16 ÷ 18) można stwierdzić, że maksymalna białość CIE papieru, możliwa do uzyskania za pomocą dodatku rozjaśniacza optycznego, jest zależna nie od wysokiej białości wyjściowej, ale od wysokiej jasności (wysoka wartość  $Y$ ) przy jak najmniejszym niebieskim odcieniu (niska wartość  $W_B$ ).

Podwyższenie białości papieru spowodowane dodatkiem barwnika niuansującego o  $\Delta W_N$  powoduje zmniejszenie maksymalnej białości, możliwej do osiągnięcia.

nięcia w wyniku dodatku rozjaśniacza optycznego (rysunek 3). Spadek białości granicznej  $\Delta W_{Gr}$  można obliczyć korzystając z faktu, że wartość stosunku  $\Delta W_{BN}/\Delta Y_N$  jest stała.

Przyjmując:

$$\Delta W_{BN}/\Delta Y_N = B \quad (19)$$

oraz korzystając z zależności (15), można zapisać układ równań:

$$\Delta W_N = \Delta W_{BN} + \Delta Y_N \quad (20)$$

$$\Delta W_{Gr} = \frac{5}{A-4} (A \Delta Y_N - \Delta W_{BN}). \quad (21)$$

Rozwiązaniem powyższego układu równań jest zależność

$$\Delta W_{Gr} = \frac{5 \Delta W_N}{(A-4)(B+1)} (A-B). \quad (22)$$

## 5. PODSUMOWANIE

Barwniki niuansujące podwyższają białość papieru przesuwając jego odcień w kierunku barwy niebieskiej jednocześnie zmniejszając jasność.

Fluorescencyjne rozjaśniacze optyczne podwyższają jasność papieru, jednak zwiększenie jego białości związane jest przede wszystkim z przesunięciem odcienia w kierunku barwy niebieskiej. Podwyższenie jasności papieru (wartość  $Y$ ), w wyniku dodatku rozjaśniacza optycznego o jednostkę, powoduje podwyższenie białości CIE  $D_{65}/10^0$ , spowodowane przesunięciem jego odcienia w kierunku barwy niebieskiej o ponad 20 jednostek.

Dodatek do papieru barwnika niuansującego powoduje zwiększenie wartości odchylenia odcieniowego  $T$ , czyli przesunięcie jego odcienia w kierunku barwy zielonej, natomiast fluorescencja rozjaśniacza optycznego powoduje przesunięcie odcienia papieru w kierunku czerwieni (zmniejszenie wartości  $T$ ). Kombinacja dodatku powyższych środków do papieru nie powoduje więc zagrożenia, że odcień papieru nie będzie spełniał warunku:  $-3 < T < 3$ .

Przedozowanie dodatku do papieru barwnika niuansującego i rozjaśniacza optycznego prowadzi do uzyskania papieru o odcieniu niebieskim, zwłaszcza gdy papier oglądany jest przy świetle zawierającym duży udział promieniowania UV (bezpośrednie światło dzienne).

Maksymalna białość papieru, możliwa do uzyskania za pomocą dodatku rozjaśniacza optycznego, jest ściśle określona przez jego wyjściową jasność i odcień. Maksymalna białość CIE papieru jest tym wyższa im wyższa jest jego wyjściowa jasność przy bardziej żółtym odcieniu.

Jeżeli wskaźniki oceny białości papieru nie mieszczą się w zakresie stosowania wzorów CIE, papier nie jest biały, obliczone wartości CIE  $W$  nie mają odniesienia do wzrokowego odczucia bieli i nie mogą być podawane jako jej miara.

Na podstawie wzorów wyprowadzonych w niniejszej pracy, można obliczyć maksymalną białość CIE  $D_{65}/10^0$  możliwą do uzyskania za pomocą dodatku rozjaśniacza optycznego do papieru o znanych wyjściowych właściwościach optycznych lub przewidzieć, jakie właściwości optyczne powinny mieć surowce zastosowane do produkcji papieru, aby można było uzyskać produkt o założonej białości.

## LITERATURA

1. ISO 2470:1999 Paper, board and pulps – Measurement of diffuse blue reflectance factor (ISO brightness).
2. ISO/DIS 2470-2: 2007 Paper, board and pulps – Measurement of  $D_{65}$  brightness (diffuse blue reflectance factor under outdoor daylight  $D_{65}$  conditions).
3. ISO 2469: Paper, board and pulps – Measurement of diffuse reflectance factor.
4. PN-ISO 11475:2002 Papier i tektura – Oznaczanie białości CIE,  $D_{65}/10^0$  (światło dzienne zewnętrzne).
5. ISO 11476:2000 Paper and board – Determination of CIE – whiteness,  $C/2^0$  (indoor illumination conditions).
6. Ciepliński M.: Ocena białości papierów zawierających rozjaśniacze optyczne. Przegl. Papiern. 56, 8, str. 463–467, 2000.

*Rękopis dostarczono dnia 04.04.2008 r.*

**Opiniował: prof. dr hab. Władysław Dybczyński**

## POSSIBILITIES OF INCREASING THE WHITENESS OF PAPER BY ADDING FLUORESCENT WHITENING AGENT AND TINTING DYES

Maciej CIEPLIŃSKI  
Anita ŚWIĘTONOWSKA

**ABSTRACT** *The paper discusses standardised methods of evaluation of whiteness that are being applied in the pulp and paper industry. The results of determinations optical properties of papers, containing fluorescent whitening agents and tinting dyes, that are available on market have been presented. Mathematical equations, allowing the calculation of the maximal whiteness of paper that is possible to achieve according to its initial optical properties with adding of fluorescent whitening agent and tinting dye, have been derived from the results of the measurements.*



**Mgr inż. Maciej Ciepliński** ukończył studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej, kierunek Chemia i Technologia Nieorganiczna, w 1983 roku. Jest starszym specjalistą w Laboratorium Jakości Papieru Instytutu Biopolimerów i Włókien Chemicznych w Łodzi. Zajmuje się badaniami właściwości chemicznych i fizycznych papieru, mas włóknistych i środków pomocniczych stosowanych w przemyśle celulozowo-papierniczym. Autor lub współautor ponad 30 publikacji i referatów prezentowanych w czasopismach i na konferencjach naukowych.

**Mgr inż. Anita Świętonowska** ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej, kierunek Technologia Celulozy, Papieru i Poligrafii, w 1996 roku. Jest specjalistką w Laboratorium Jakości Papieru Instytutu Biopolimerów i Włókien Chemicznych w Łodzi. Zajmuje się badaniami właściwości chemicznych i fizycznych papieru, mas włóknistych i środków pomocniczych stosowanych w przemyśle celulozowo-papierniczym. Autor lub współautor kilku publikacji i referatów prezentowanych w czasopismach i na konferencjach naukowych.

