

Halina PODSIADŁO, Wanda NOWAK¹

Zakład Technologii Poligraficznych, Wydział Inżynierii Produkcji, Politechnika Warszawska

Wpływ promieniowania na wybrane właściwości optyczne folii celulozowych

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań obejmujących wpływ promieniowania na wybrane właściwości optyczne biodegradowalnych folii celulozowych, przy czym dwie z nich to folie kompostowalne: NatureFlex NK oraz NatureFlex NVS a jedna to biodegradowalna, ale nie kompostowalna: CelloTherm T.

EFFECTS OF RADIATION ON SELECTED OPTICAL PROPERTIES OF CELLULOSE FILMS

Abstract: This paper presents the results of studies involving the effects of radiation on selected optical properties of biodegradable cellulose film, the two of them are compostable films: NatureFlex NK NatureFlex NVS and one is biodegradable but compostable: CelloTherm T.

1. Część teoretyczna

Promieniowanie odgrywa istotną rolę przy doborze tych materiałów opakowaniowych, które są długo ekspozowane na światło słoneczne [4-5].

Przyspieszone starzenie materiałów to jedna z metod badawczych, umożliwiająca określenie czasu przydatności użytkowania produktu. Stosuje się ją zazwyczaj wobec materiałów zachowujących swe cechy, bez istotnych zmian w dłuższym czasie obejmującym miesiące a nawet i lata [4-5].

Promieniowanie ultrafioletowe, UV jest promieniowaniem elektromagnetycznym w zakresie długości fali od 100 do 400 nm. Starzenie pod jego wpływem wywołuje obniżenie parametrów materiałów poddanych temu procesowi w określonym czasie. Powoduje ono większą degradację badanego materiału, niż w wypadku starzenia światłem widzialnym [4-5].

Folie celulozowe potocznie nazywane są celofanem. Wytwarza się je metodą wiskozową, tzn. poprzez regenerację celulozy z roztworu wiskozy w kwaśnej kąpieli [1-2]. Wykazują one wyższą sztywność niż większość folii z tworzyw sztucznych. Właściwość ta jest szczególnie pożądana podczas pakowania za pomocą

maszyn pakujących. Ponadto ma ona bardzo dobrą „skrętność”, co znalazło zastosowanie przy pakowaniu cukierków. Istotną cechą jest również wysoka odporność i nieprzepuszczalność tłuszczów, niska przepuszczalność gazów, w tym i ditlenku węgla, tlenu, par substancji organicznych oraz zapachowych. Wśród innych – także istotnych właściwości, można wymienić:

- wysoką przezroczystość i połysk,
- dużą wytrzymałość na rozdzieranie,
- stabilność wymiarową,
- możliwość zadrukowania różnymi technikami,
- łatwość przyjmowania farb podczas drukowania,
- możliwość barwienia oraz metalizowania,
- biodegradowalność,
- możliwość trwałego zgięcia,
- antystatyczność,
- odporność na środki chemiczne,
- brak sklejanie się warstw ze sobą,
- możliwość łączenia z innymi materiałami, takimi jak: folia polietylenowa czy aluminiowa i papier.

Pomimo wieloletnich badań i poszukiwań, nie znaleziono odpowiedniego zamiennika o właściwościach porównywalnych z celofanem.

Tab. 1. Charakterystyka wybranych typów folii NatureFlex {źródło: opracowanie własne na podstawie [11]}

Typ folii	Grubość [μm]	Właściwości	Zastosowanie szczegółowe
NP	21, 23, 25, 28, 35, 42	<ul style="list-style-type: none"> – wysoka absorpcja wilgoci, – możliwość stosowania w arkuszach 	– torebki
NE30	19, 23, 30, 42	<ul style="list-style-type: none"> – bardzo wysoka odporność na działanie środków chemicznych, – duży zakres temperatury zgrzewania, – łatwe otwieranie opakowań, – kontrolowany poślizg, – dobra barierowość wobec wilgoci i zapachów, – wysoki połysk i przezroczystość, – antystatyczność, – łatwość zgrzewania i dobre utrzymanie zgięcia, – sprawdzona biodegradowalność w środowisku ścieków wodnych 	<ul style="list-style-type: none"> – gospodarstwa domowe, – środki higieny osobistej, – artykuły piekarnicze i ciastkarskie
NVS	23, 30, 45	<ul style="list-style-type: none"> – kompatybilność z innymi materiałami, – odporność na działanie olejów i tłuszczów, – naturalna stabilność termiczna, – półprzepuszczalność, – zwiększona barierowość wobec wilgoci i gazów, – wysoki połysk i przezroczystość, – duży zakres temperatury zgrzewania 	<ul style="list-style-type: none"> – opakowania przechowywane w warunkach chłodniczych, – laminowane kartony
NM	23, 30, 45	<ul style="list-style-type: none"> – możliwość podlegania metalizacji, – doskonała trwałość zgięć, – kompatybilność z innymi materiałami, – odporność na działanie olejów i tłuszczów, – kontrolowany poślizg i naturalna antystatyczność, – regulowana barierowość wobec wilgoci 	<ul style="list-style-type: none"> – opakowania skrotne, – laminowanie kartonu
NVR	23, 30, 45	<ul style="list-style-type: none"> – podatność na zadruk i obróbkę, – kontrolowany poślizg, – naturalna stabilność termiczna, – antystatyczność, – zwiększona barierowość wobec wilgoci i gazów, – dobre utrzymanie zgięcia, – obustronna termozgrzewalność, – kompatybilność z innymi biomateriałami 	<ul style="list-style-type: none"> – opakowania do artykułów papierniczych, słodczy i ryżu, – laminowanie
NK	20, 23, 30, 45	<ul style="list-style-type: none"> – wysoka przezroczystość i elastyczność, – barierowość wobec wilgoci, – antystatyczność, – duża podatność na obróbkę i termozgrzewanie, – kontrolowany poślizg, dobre utrzymanie zgięcia, – odporność na działanie olejów i tłuszczów, – podatność do zadrukowania, – dobra przezroczystość i połysk 	<ul style="list-style-type: none"> – pakowanie artykułów spożywczych suchych, – opakowania skrotne, – owijanie produktów, – laminowanie z innymi foliami typu bio

Typ folii	Grubość [μm]	Właściwości	Zastosowanie szczegółowe
42NE-RW	45	– wysoka klarowność i połysk, – łatwo otwieralny zgrzew, – doskonałe zgięcie i odwiniecie, – zwiększona sztywność do odwijania na maszynie, – szeroki zakres temperatury zgrzewania, – doskonała barierowość wobec wilgoci	– owijanie ryz papieru
NVL	45	– odporność na oleje i smary, wysoki połysk, – doskonała przezroczystość	– produkcja etykiet samoprzylepnych
NVLW	45	– zapewnia dobre krycie, doskonała przezroczystość, – wykazuje odporność na oleje i smary, wysoki połysk	– produkcja etykiet samoprzylepnych
NML	45	– wysoki połysk i blask, – wysoka sztywność, – podlega metalizacji	– etykiety do opakowań owoców
NKC	23	– występuje w postaci białej i kolorowej, – doskonała barierowość wobec wilgoci i dobra wobec gazów i zapachów	– pakowanie słodczy, pieczywa
NKM	23	– wysoki połysk i blask, – doskonała bariera UV	– pakowanie słodczy, pieczywa

Tym samym można uznać, że folie celulozowe zapełniają lukę pomiędzy papierem a foliami z tworzyw sztucznych [2-5].

Do interesujących rozwiązań na światowym rynku opakowaniowym należy zaliczyć najnowszy asortyment niepowlekaných folii celulozowych – NatureFlex, produkowanych przez brytyjską firmę Innovia Films. Nadano im m.in. znak „OK Compost”, świadczący o ich biodegradowalności [3]. Folie te różnią się między sobą powłokami funkcyjnymi. Wykazują one:

- wysoką przezroczystość i połysk,
- łatwość zadrukowania,
- regulowaną barierowość wobec wilgoci,
- możliwość barwienia w masie.

Szeroko stosowanym w opakownictwie przedstawicielem tych folii jest przezroczysta folia NatureFlex NK, o wysokiej barierowości wobec wilgoci. Jest podatna na zadrukowanie i obustronnie zgrzewalna, ma wysoki połysk i przezroczystość. Folie NatureFlex NVS i NK wykazują wiele wspólnych cech, co jest dobrze widoczne w tab. 1. Zasadniczo różni je barierowość wobec wilgoci. Pierwsza z nich zachowu-

je ją w pełni, druga natomiast jest półprzepuszczalna [7].

W roku 2001 na światowym rynku pojawił się nowy rodzaj folii biodegradowalnej na bazie celulozy, pod nazwą CelloTherm T, produkowany również przez firmę Innovia Films. Do jej najbardziej istotnych cech można zaliczyć: doskonałą barierowość wobec gazów, aromatów i zanieczyszczeń, antystatyczność a także odporność na oleje i tłuszcze [7]. Charakterystykę wybranych typów folii NatureFlex, produkowanych przez koncern Innovia Films podano w tab. 1.

2. Część badawcza

Wycięte próbki folii o wymiarach: 210×297 mm, poddano procesowi sztucznego starzenia a następnie mierzono ich połysk oraz współrzędne barwy L*, a*, b*.

2.1. Charakterystyka materiałów

Badano trzy rodzaje folii biodegradowalnych: NatureFlex NK, NatureFlex NVS i Cello-

Tab. 2. Porównanie wybranych parametrów folii NatureFlex NK, NVS oraz CelloTherm T [11]

Parametr	Jednostka	NatureFlex NK	NatureFlex NVS	CelloTherm T
Grubość	μm	23	23	23
Wydajność	m ² /kg	29,4	29,9	29,9
	g/m ²	34	33,5	33,5
Przenikanie pary wodnej	g/m ² /24 h	10	360	370
Przenikanie pary tlenu	cm ² /m ² /24 h	3	3	3
	bar	7	–	–
Połysk	–	105	110	95
Zamglenie	%	4,5	4	3
Współczynnik tarcia	–	0,35 WS*	0,25 WS i WD	0,25 WS
		0,30 WD**		0,20 WD
Wytrzymałość na rozciąganie	MN/m ² MD***	125	125	125
	MN/m ² TD****	70	70	70
Wydłużenie przy zerwaniu	% MD	22	22	22
	% TD	70	70	70
Moduł elastyczności	MN/m ² MD	>3000	>3000	>3000
	MN/m ² TD	>1500	>1500	>1500
Zakres temperatury zgrzewania	°C	115÷170	90÷200	100÷160
Wytrzymałość zgrzewu	g(f)/25 mm	225	300	220

* warunki statyczne, ** warunki dynamiczne, *** kierunek wzdłużny, **** kierunek poprzeczny

Therm T. Charakterystykę ich wybranych parametrów przedstawiono w tab. 2.

Zalecane warunki przechowywania folii NatureFlex i CelloTherm T to zakresy:

- temperatury od 17 do 23°C,
- wilgotności względnej od 35 do 55%.

Zgodnie z informacją dostarczaną przez producenta folie zachowują te swoje właściwości przez 6 miesięcy od daty produkcji. Przed ich użyciem należy je sezonować w temperaturze pokojowej przez 24 godziny [6-11].

2.2. Charakterystyka urządzeń

Do wykonania badań starzeniowych użyto urządzenia Suntest CPS+. Określenie współrzędnych barwy L*, a*, b* przeprowadzono przy użyciu spektrofotometru Eye-One firmy X-Rite, bazującego na programie KeyWizard. Za jego pomocą można mierzyć współrzędne barwy L*, a*, b* oraz gęstość optyczną.

Połysk mierzono za pomocą połyskomierza Picogloss Model 503 firmy Erichsen. Jest on

przeznaczony do oznaczania połysku różnych materiałów, przy odpowiednim kącie pomiaru: 20°/60°/85°. Można nim mierzyć wszystkie rodzaje powierzchni: od matowych do najbardziej połyskliwych. Przyrząd jest wyposażony w płytkę kalibrującą, możliwy jest też transfer zapisanych w nich danych do komputera.

2.3. Metodyka badań

Badania starzeniowe prowadzono z zastosowaniem dwóch wymiennych filtrów, a mianowicie:

- C z wkładką kwarcową z pokryciem i filtrem ze szkła okiennego, absorbujący promieniowanie widzialne o długości fali $\lambda=310$ nm,
- B z wkładką kwarcową z pokryciem, absorbujący promieniowanie ultrafioletowe o długości fali $\lambda=290$ nm [8].

Czas naświetlania wynosił odpowiednio: 2, 4, 8, 16 i 32 godziny, przy czym dla folii NatureFlex NVS dodatkowo jeszcze 64 godziny.

Wobec wszystkich folii stosowano filtr C. Folie NatureFlex NVS ponadto naświetlano używając filtra B. Poziom natężenia światła w urządzeniu ustawiono na wartość 560 W/m^2 , temperatura w komorze wynosiła natomiast $307 \pm 3 \text{ K}$.

Tab. 3. Dawka promieniowania, wykorzystana wobec folii w określonym czasie

Czas starzenia [h]	Dawka promieniowania [kJ/m^2]
2	3960
4	7920
8	15840
16	31680
32	57820
64	78098

Dawki promieniowania, którym poddano folie w odpowiednim czasie, znajdują się w tab. 3.

Dla wszystkich próbek – zarówno naświetlanych, jak i nienaświetlanych – mierzono połysk, używając połyskomierza Picogloss 503. Ze względu na wysoką wartość tego parametru, mierzono go przy użyciu geometrii pomiarowej 20° . Wykonano 6 pomiarów: po 3 dla

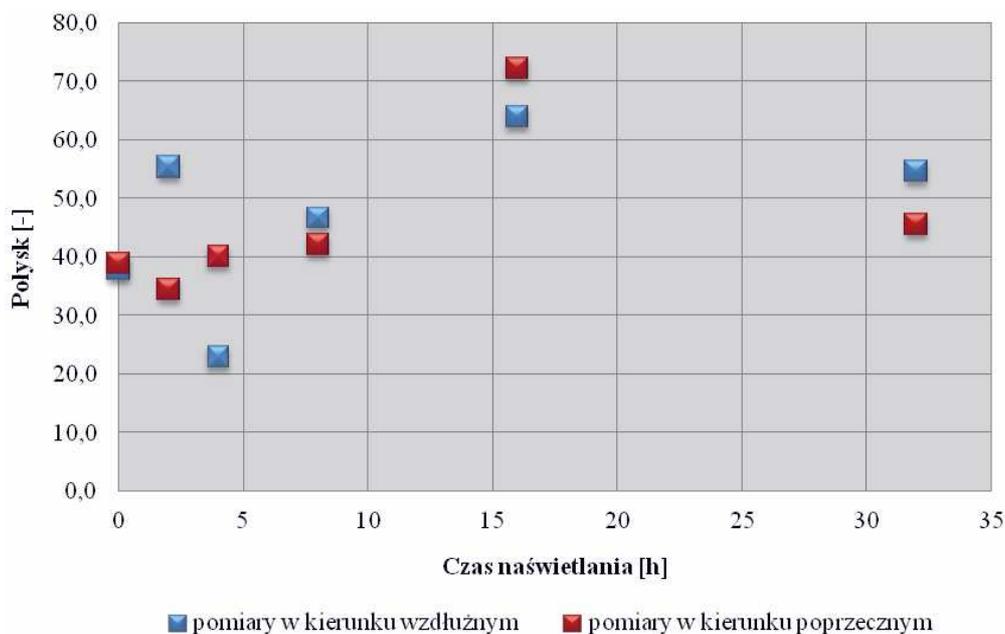
każdego z kierunków (wzdłuż i w poprzek) dla każdej z próbek, zgodnie z normą PN-EN ISO 2813:2001 [10]. Połysk zmierzono w losowo wybranych miejscach na folii. Za pomocą spektrofotometru Eye-One zmierzono wartość współrzędnych barwy: L^* , a^* , b^* .

3. Wyniki badań właściwości optycznych folii i ich analiza

3.1. Pomiary połysku

W tab. 4. zamieszczono wyniki pomiarów połysku folii przed i po poddaniu ich procesowi naświetlania w obecności filtra C, natomiast w tab. 5. przedstawiono pomiary przeprowadzone na folii NatureFlex NVS w obecności filtra B. Na ich podstawie opracowano wykresy, przedstawione na rys. 1-3.

Dla folii nie poddanych procesowi naświetlania przyjęto następujące oznaczenia: NK0, NVS0, C0. Z kolei oznaczenia: NVS4B, NVS16B, NVS64B. odnoszą się do próbek wykonanych z folii NatureFlex NVS, poddanych procesowi naświetlania z wykorzystaniem filtra B. Próbki bez litery B podanej w oznaczeniu, naświetlono z użyciem filtra C.

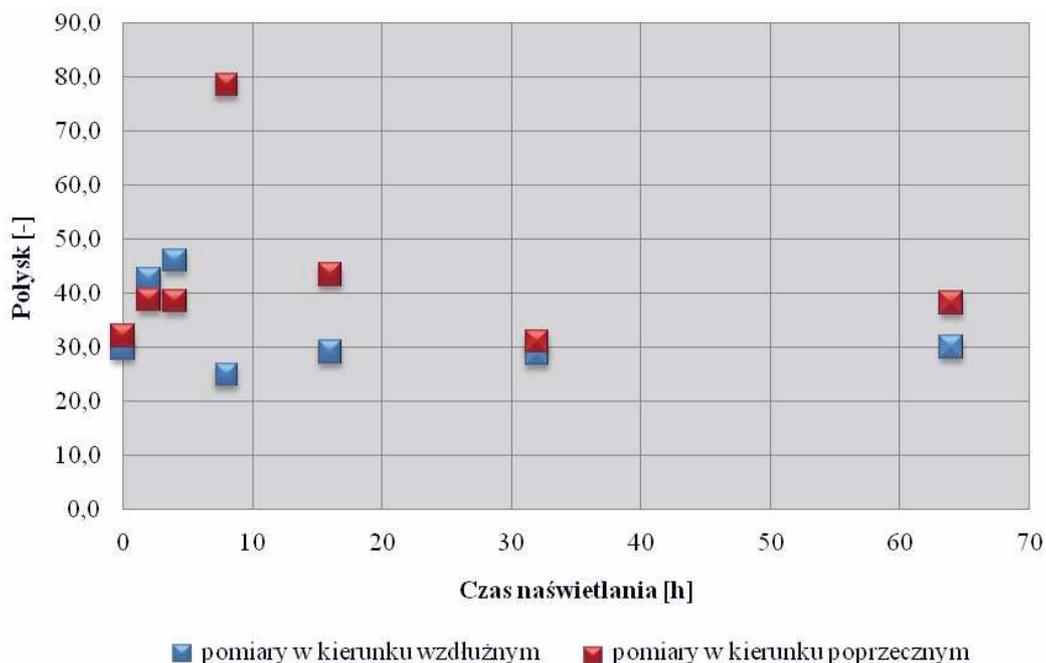


Rys. 1. Zależność wartości połysku folii NatureFlex NK od czasu jej naświetlania z użyciem filtra C

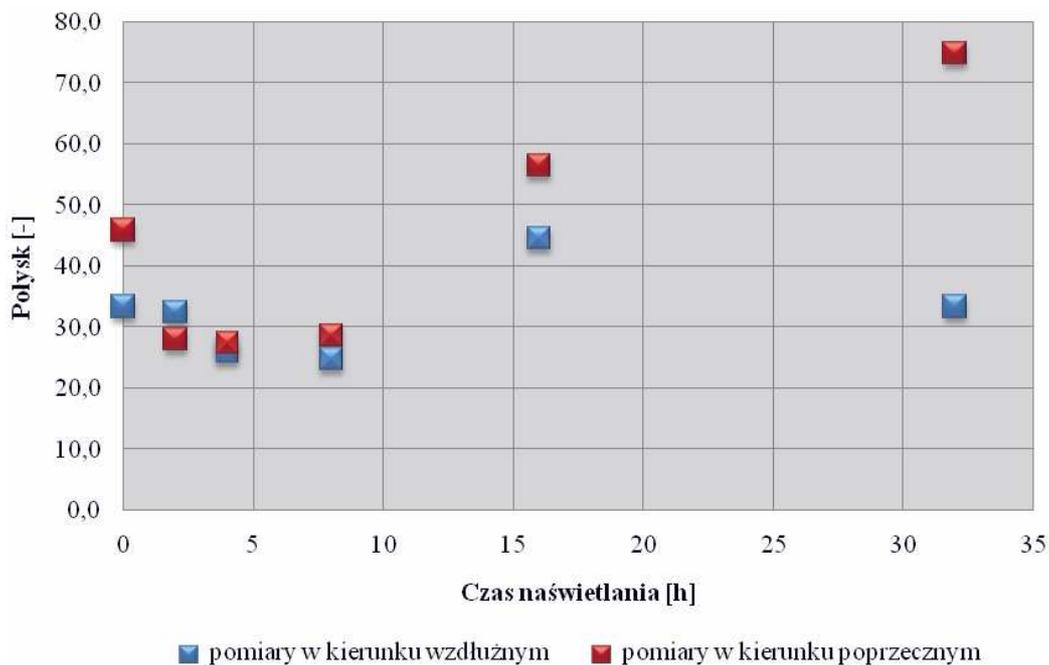
Tab. 4. Wyniki pomiarów połysku dla folii nie poddanych naświetlaniu i naświetlanych z serii: Nature-Flex NK, NVS, CelloTherm T w obecności filtra C

Oznaczenie próbki	Pomiary:		Oznaczenie próbki	Pomiary:		Oznaczenie próbki	Pomiary:	
	wzdłuż zwoju	w poprzek zwoju		wzdłuż zwoju	w poprzek zwoju		wzdłuż zwoju	w poprzek zwoju
	geometria pomiarowa 20°			geometria pomiarowa 20°			geometria pomiarowa 20°	
NK0	39,9	42	NVS0	28,5	30,1	C0	34,1	48
	39,5	34,9		30,8	37,9		34,1	46,5
	34,5	40		30,1	28,4		31,9	43,3
	wartości uśrednione			wartości uśrednione			wartości uśrednione	
	38	39		29,8	32,1		33,4	45,9
NK2	56,9	31,2	NVS2	46,2	42,8	C2	29,2	28
	53,9	32,7		41,6	38,6		32,5	26,6
	59,9	39,6		39,8	34,9		35,6	29,6
	wartości uśrednione			wartości uśrednione			wartości uśrednione	
	55,4	34,5		42,5	38,8		32,4	28,1
NK4	24,1	41,6	NVS4	47,3	36,1	C4	29,9	29,5
	20,8	37,4		42,5	49,2		26,5	30
	24,1	41,4		48,3	30,4		21,6	22,9
	wartości uśrednione			wartości uśrednione			wartości uśrednione	
	23	40,1		46	38,6		26	27,5
NK8	43,8	35,1	NVS8	29,6	78,6	C8	25,2	30,5
	47,4	48,6		22,2	82,6		22,2	27,1
	49,1	42,9		23,2	74,6		27,1	28,4
	wartości uśrednione			wartości uśrednione			wartości uśrednione	
	46,8	42,2		25	78,6		24,8	28,7
NK16	62,1	79,9	NVS16	27,3	42	C16	41,2	56,7
	63,8	66,7		30,4	47,1		48,3	54
	66,2	70,2		29,8	41,2		44,2	58,9
	wartości uśrednione			wartości uśrednione			wartości uśrednione	
	64	72,3		29,2	43,4		44,6	56,5
NK32	51,1	45,6	NVS32	28,7	27,4	C32	31,4	75,1
	56,3	48		29	32,9		31,8	77,3
	56,6	43,2		28,5	33,1		36,9	72,4
	wartości uśrednione			wartości uśrednione			wartości uśrednione	
	54,7	45,6		28,7	31,1		33,4	74,9
			NVS64	28,8	38,1			
				30,6	38,5			
				30,7	38			
				wartości uśrednione				
				30	38,2			

Na podstawie analizy uzyskanych wyników nie można dostrzec jednoznacznej tendencji (trendu) zmiany połysku, z wydłużeniem czasu naświetlania próbek (rys. 1÷3).



Rys. 2. Zależność wartości połysku folii NatureFlex NVS od czasu jej naświetlania z użyciem filtra C



Rys. 3. Zależność wartości połysku folii CelloTherm T od czasu jej naświetlania z użyciem filtra C

Można jednak zauważyć, że połysk mierzony na foliach poddanych starzeniu w czasie: 4, 8, 16 h jest wyższy niż dla folii naświetlanych w czasie: 32 i 64 h. Widać, że dla krótszego czasu naświetlania połysk jest porównywalny. Wyni-

ki pomiarów w kierunku poprzecznym, w większości wypadków wykazują wyższą wartość niż w kierunku wzdłużnym. Z kolei porównując wartości połysku dla folii NatureFlex NVS naświetlanych z użyciem filtra B nie

Tab. 5. Wyniki pomiarów połysku dla folii nie poddanych naświetlaniu i naświetlanych z serii NatureFlex NVS w obecności filtra B

Oznaczenie próbki	Pomiary:	
	wzdłuż zwoju	w poprzek zwoju
	geometria pomiarowa 20°	
NVS4 B	35,1	32,9
	30,7	33,1
	37	34,3
	wartości uśrednione	
	34,3	33,4
NVS16 B	38,3	85,2
	37,2	80,4
	40,4	79,6
	wartości uśrednione	
	38,6	81,7
NVS64 B	30,8	31,7
	32,6	28
	39,9	25,4
	wartości uśrednione	
	34,4	28,4

stwierdzono istotnych różnic. Można więc uznać, że zmiana granicy odcięcia promienio-

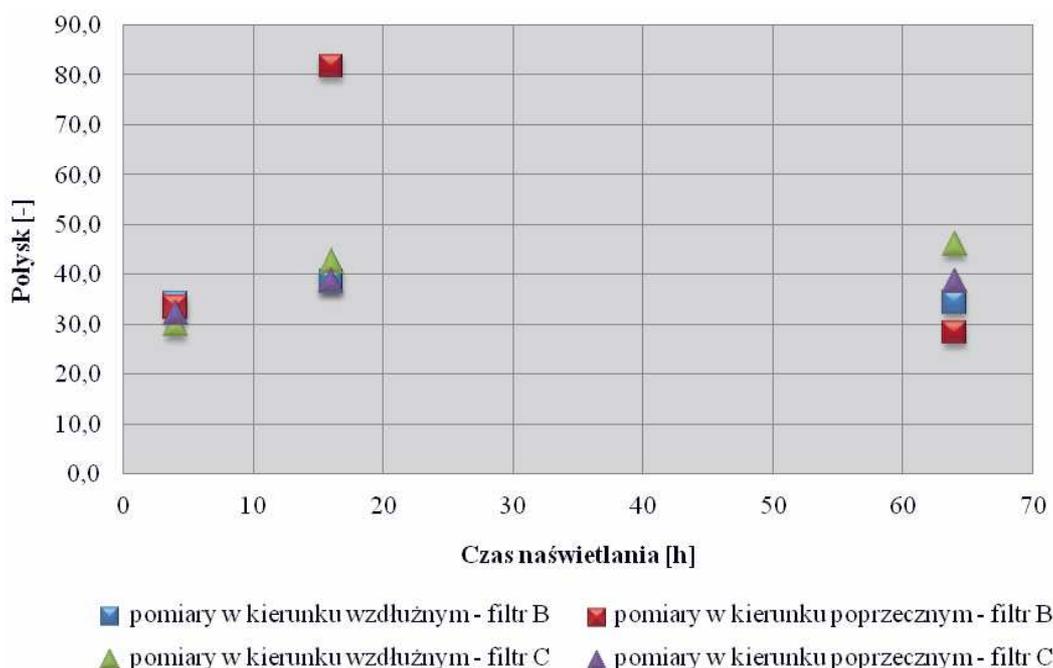
wania z 310 na 290 nm nie powoduje zmian połysku.

3.2. Pomiary współrzędnych barwy L^* , a^* , b^*

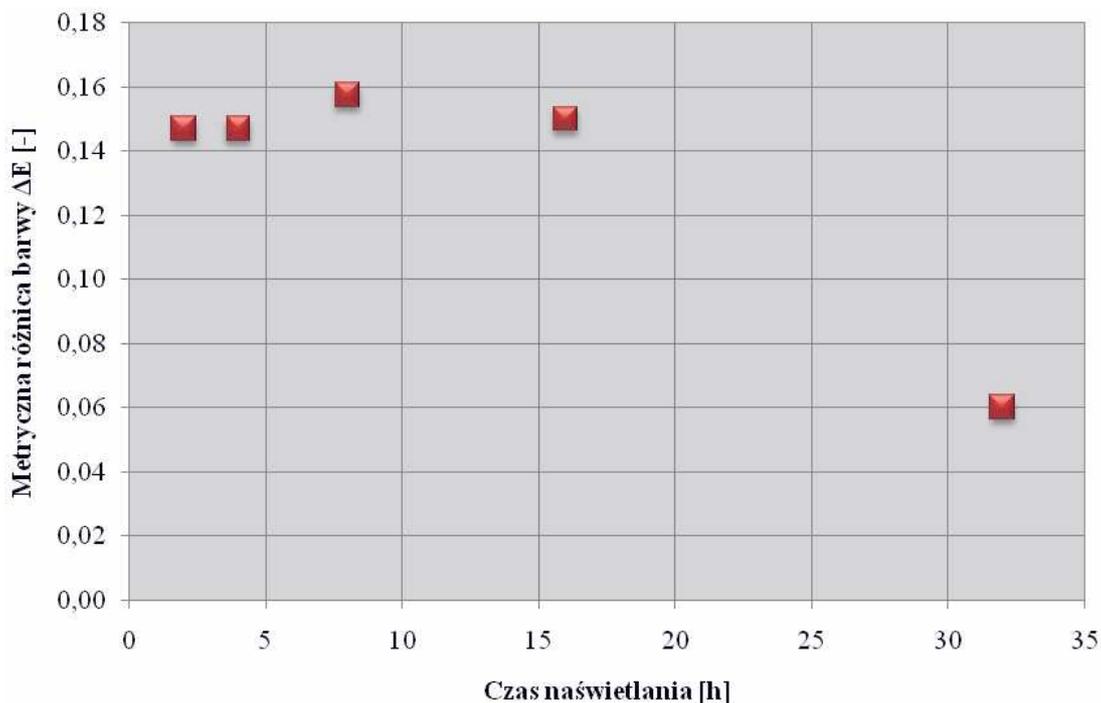
W tab. 6. zamieszczono wyniki pomiarów współrzędnych barwy L^* , a^* , b^* i obliczeń metrycznej różnicy barwy folii przed i po poddaniu ich sztuczemu starzeniu poprzez naświetlanie promieniowaniem o ustalonej długości fali, z użyciem różnych filtrów. Na ich podstawie sporządzono wykresy przedstawiające te zależności, zamieszczone na rys. 5÷7.

Oznaczenia próbek są zgodne z opisem w rozdziale 3.1. oraz w tab. 4 i 5.

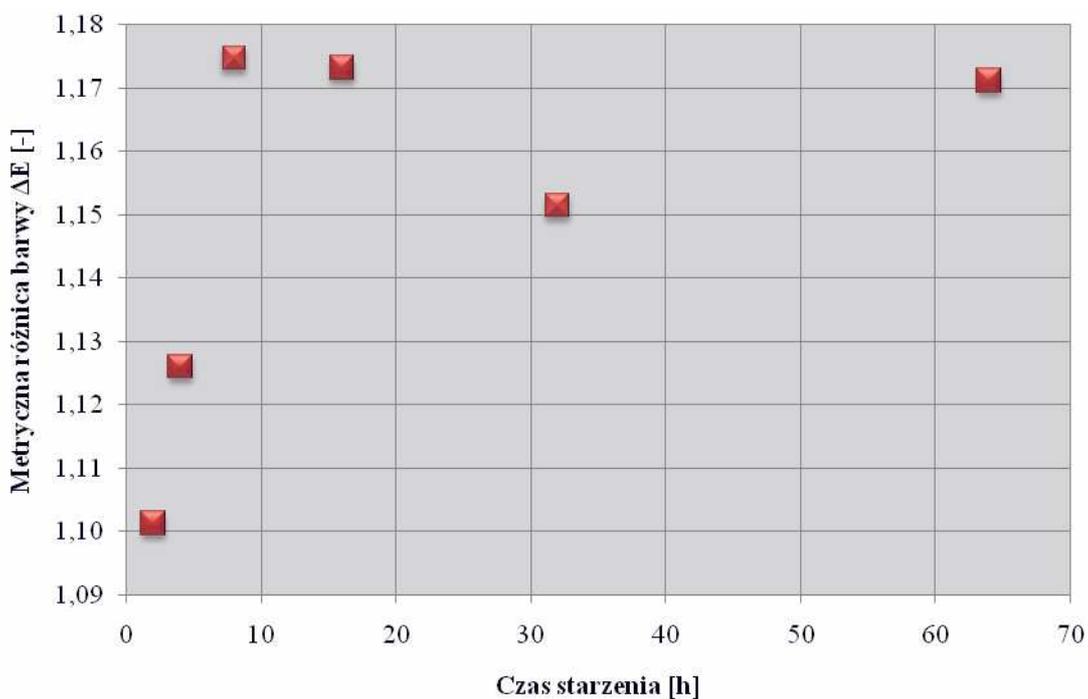
Na podstawie analizy uzyskanych wyników można stwierdzić, że wartość ΔE ulega niewielkim wahaniom mieszcząc się w zakresie od 0,6 do 1,7. Obserwacja tego typu zmian poprzez ocenę wizualną nie jest możliwa. Otrzymane wyniki nie pozwalają jednoznacznie określić tendencji dotyczącej metrycznej zmiany barwy. Oznacza to, że czas starzenia nie jest jednoznaczny dla zmiany barwy. Najmniejszy rozrzut wartości można zaobserwować dla folii CelloTherm T i wynosi on 0,06,



Rys. 4. Wpływ czasu naświetlania na wartość połysku folii NatureFlex NVS, w zależności od rodzaju użytego filtra



Rys. 5. Zależność metrycznej różnicy barwy folii NatureFlex NK od czasu naświetlania z użyciem filtra C



Rys. 6. Zależność metrycznej różnicy barwy folii NatureFlex NVS od czasu naświetlania z użyciem filtra C

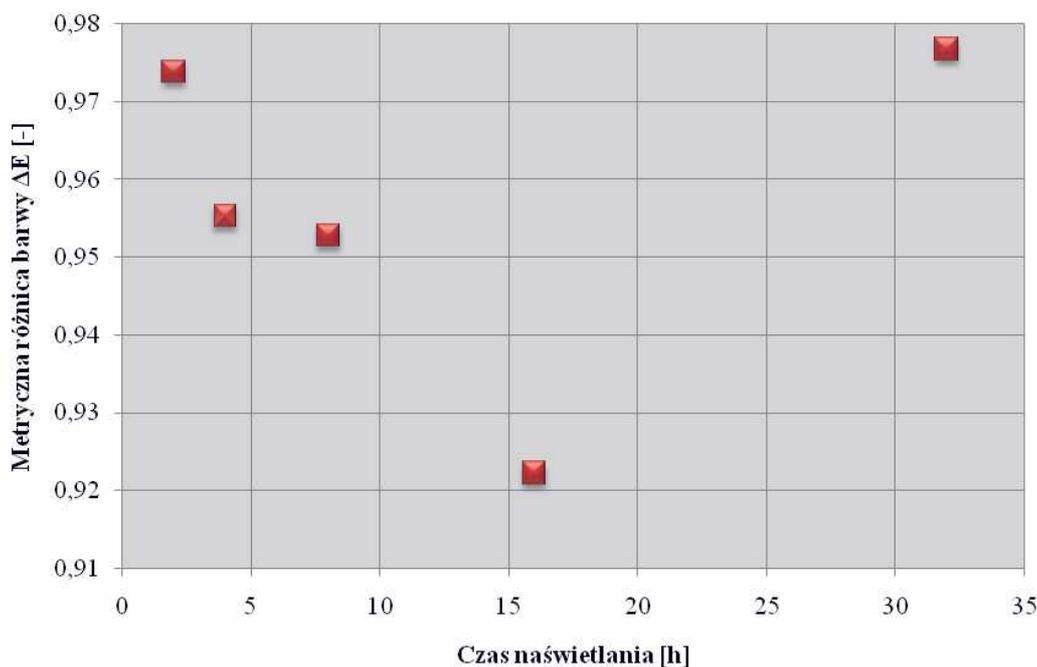
największy natomiast dla folii NatureFlex NK – 0,12. Należy jednak zauważyć, iż w wypadku tej ostatniej folii zmiana barwy spowodowana

działaniem promieniowania była zdecydowanie najmniejsza, a wartość ΔE mieściła się w zakresie od 0,06 do 0,15.

Tab. 6. Wyniki pomiaru metrycznej różnicy barwy ΔE dla folii nie poddanych naświetlaniu i naświetlanych z serii: NatureFlex NK, NatureFlex NVS, CelloTherm T

Oznaczenie próbki	Wartości CIE LAB			Metryczna różnica barwy ΔE	Oznaczenie próbki	Wartości CIE LAB			Metryczna różnica barwy ΔE	Oznaczenie próbki	Wartości CIE LAB			Metryczna różnica barwy ΔE
	L*	a*	b*			L*	a*	b*			L*	a*	b*	
NK0	99,7	-0,3	0,3	wzorzec	NVS0	99,9	-0,1	1,1	wzorzec	C0	100	0,1	1,2	wzorzec
	99,7	-0,3	0,2			100	0	1,1			100	0,1	1,2	
	99,6	-0,3	0,3			100	0	1,1			99,9	0,1	1,2	
	99,6	-0,3	0,2			100	0	1,1			99,9	0,1	1,3	
	99,6	-0,3	0,3			100	0	1,1			100	0,1	1,2	
	wartości uśrednione					wartości uśrednione					wartości uśrednione			
	99,64	-0,3	0,26			99,98	0,02	1,1			99,96	0,1	1,22	
NK2	99,6	-0,3	0,4	0,15	NVS2	99,8	-0,3	0,2	1,1	C2	99,6	-0,1	0,4	0,97
	99,6	-0,2	0,4			99,9	-0,3	0,2			99,7	-0,1	0,3	
	99,6	-0,3	0,4			99,9	-0,2	0,1			99,6	-0,1	0,3	
	99,6	-0,3	0,4			99,8	-0,2	0,1			99,7	-0,2	0,3	
	99,6	-0,3	0,4			99,9	-0,3	0,2			99,7	-0,1	0,3	
	wartości uśrednione					wartości uśrednione					wartości uśrednione			
	99,6	-0,28	0,4			99,86	-0,26	0,16			99,66	-0,12	0,32	
NK4	99,6	-0,2	0,4	0,15	NVS4	99,9	-0,3	0,1	1,13	NVS4 B	99,9	-0,2	0,2	0,96
	99,6	-0,3	0,4			99,9	-0,3	0,1			99,9	-0,2	0,2	
	99,6	-0,2	0,4			99,9	-0,3	0,1			99,9	-0,3	0,2	
	99,7	-0,3	0,4			99,9	-0,3	0,2			99,9	-0,3	0,2	
	99,6	-0,3	0,4			99,9	-0,2	0,2			99,9	-0,2	0,2	
	wartości uśrednione					wartości uśrednione					wartości uśrednione			
	99,62	-0,26	0,4			99,9	-0,28	0,14			99,9	-0,24	0,2	

NK8	99,6	-0,2	0,4	NVS8	99,8	-0,3	0,1	C8	99,6	-0,1	0,3				
	99,6	-0,2	0,4		99,8	-0,3	0,1		99,6	-0,1	0,4				
	99,6	-0,2	0,4		99,8	-0,3	0,1		99,7	-0,1	0,4				
	99,6	-0,3	0,4		99,8	-0,3	0,1		99,7	-0,2	0,3				
	99,6	-0,3	0,4		99,8	-0,3	0,1		99,6	-0,1	0,4				
	wartości uśrednione				wartości uśrednione				wartości uśrednione						
	99,6	-0,24	0,4		0,16	99,8	-0,3		0,1	1,17	99,64	-0,12	0,35	0,95	
NK16	99,6	-0,2	0,4	NVS16	99,9	-0,3	0,1	NVS16 B	99,8	-0,3	0,2	C16	99,6	-0,1	0,4
	99,6	-0,2	0,4		99,8	-0,3	0,1		99,9	-0,3	0,2		99,6	-0,1	0,4
	99,6	-0,3	0,4		99,8	-0,3	0,1		99,8	-0,3	0,2		99,6	-0,1	0,4
	99,7	-0,2	0,4		99,8	-0,3	0,1		99,9	-0,3	0,2		99,6	-0,1	0,4
	99,7	-0,3	0,4		99,8	-0,3	0,1		99,9	-0,3	0,2		99,6	-0,2	0,4
	wartości uśrednione				wartości uśrednione				wartości uśrednione				wartości uśrednione		
	99,64	-0,24	0,4		0,15	99,82	-0,3		0,1	1,17	99,8		-0,3	0,2	0,97
NK32	99,7	-0,3	0,3	NVS32	99,8	-0,2	0,1	C32	99,7	-0,1	0,3				
	99,6	-0,3	0,3		99,9	-0,3	0,1		99,7	-0,1	0,3				
	99,6	-0,3	0,3		99,9	-0,2	0,1		99,6	-0,1	0,3				
	99,7	-0,3	0,3		99,9	-0,3	0,1		99,7	-0,1	0,3				
	99,6	-0,3	0,4		99,9	-0,2	0,1		99,7	-0,1	0,3				
	wartości uśrednione				wartości uśrednione				wartości uśrednione			wartości uśrednione			
	99,64	-0,3	0,32		0,06	99,88	-0,24		0,1	1,15	99,7	-0,1	0,3	0,98	
NVS64	99,8	-0,3	0,1	NVS64 B	99,9	-0,3	0,1	C32	99,9	-0,1	0,3				
	99,9	-0,3	0,1		99,9	-0,3	0,1		99,9	-0,3	0,1				
	99,9	-0,3	0,1		99,9	-0,3	0,1		99,9	-0,3	0,1				
	99,8	-0,3	0,1		99,9	-0,3	0,1		99,9	-0,3	0,1				
	99,9	-0,3	0,1		99,9	-0,2	0,1		99,9	-0,2	0,1				
	wartości uśrednione				wartości uśrednione				wartości uśrednione			wartości uśrednione			
	99,86	-0,3	0,1		1,17	99,9	-0,28		0,1	1,05	99,9	-0,1	0,3	0,98	



Rys. 7. Zależność metrycznej różnicy barwy folii CelloTherm T od czasu naświetlania z użyciem filtra C

Dla folii naświetlanej w obecności filtra B dało się zauważyć pewną prawidłowość: wraz ze wzrostem czasu naświetlania, metryczna różnica barwy ΔE zmniejszała się. Niestety, nie można tego całkowicie przypisać wpływowi filtra B, gdyż wykonano zbyt mało pomiarów, aby dało się określić jednoznaczną tendencję.

Podsumowując, można uznać, iż starzenie promieniowaniem powoduje zmiany barwy, co ściśle wiąże się z rodzajem folii. Promieniowanie o długości fali $\lambda=290$ nm wraz ze wzrostem czasu naświetlania wywołuje większe zmiany metrycznej różnicy barwy, niż obserwowana dla promieniowania o długości $\lambda = 310$ nm. Ponadto wartość współrzędnej a^* mieściła się w granicach $|0,3|$. Mierzona współrzędna b^* przyjmuje natomiast wartości $|0,4|$. Świadczy to o równomiernej zmianie obydwu tych parametrów podczas „starzenia”.

4. Wnioski

Na podstawie wykonanych badań i analizy uzyskanych z nich wyników, stwierdzono, że:

– czas naświetlania nie wpływał w sposób jednoznaczny na zmiany połysku;

- połysk mierzony na foliach poddawanych naświetlaniu przez 4, 8 i 16 h był nieco wyższy, niż w wypadku naświetlania w czasie: 2 i 32 h;
- zmiana filtra z C, z wkładką kwarcową z pokryciem i filtrem ze szkła okiennego, dla którego granica odcięcia następuje przy długości fali $\lambda=310$ nm, na filtr B o granicy odcięcia dla fali o długości $\lambda=290$ nm, z wkładką kwarcową z pokryciem i filtrem specjalnym UV – nie powoduje istotnych zmian połysku folii w stosowanym zakresie czasu naświetlania;
- wyniki pomiarów połysku folii w kierunku poprzecznym próbek są wyższe niż oznaczone dla kierunku wzdłużnego;
- metryczna różnica barwy ΔE jest bardzo mała i ulegała niewielkim wahaniom, najmniejszy zaś wpływ promieniowania na zmianę barwy stwierdzono w wypadku folii NatureFlex NK;
- nie stwierdzono jednoznacznego wpływu czasu naświetlania na zmianę barwy folii, ale można uznać, iż jego wydłużenie będzie powodowało coraz większą zmianę barwy.

Bibliografia

1. Akhavan J., i in.: *Effect of UV and thermal radiation on poly NIMMO*. Polymer 42/2001
2. Arbona V., Ribes-Greus A.: *Effect of photooxidative ageing at natural conditions on dynamic mechanical properties of PE-LD/PE-LLD blends*. Polimery 4/2009, s. 250-254
3. Bohdan M.: *Folie z celulozy regenerowanej. Naturalny wybór*. Opakowanie 10/1996
4. Borowska A., Piszczek K., Sterzyński T.: *Ocena degradacji PVC poddanego przyspieszonemu starzeniu fotooksydacyjnemu*. Polimery 4/2010, s. 306-313
5. Czerniawski B., Czerniawski J.: *Krótką historia celofanu*. Plastic Review 06/2007
6. *Innovia Films – tradycja i nowoczesność*. Opakowanie 06/2007
7. Łojewski T.: *Przyspieszone starzenie materiałów*, www.chemia.uj.edu.pl
8. Materiały informacyjne firmy Klimatest
9. Materiały informacyjne firmy Zwick Roell
10. Norma PN-EN ISO 2813:2001. *Farby i lakiery. Oznaczanie połysku zwierciadlanego niemetalicznych powłok lakierowych pod kątem 20°, 60°, 85°*
11. www.innoviafilms.com