

Janusz W. SIKORA

Politechnika Lubelska, Katedra Procesów Polimerowych, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin,

e-mail: janusz.sikora@pollub.pl

Kamil ŻELAZEK

Plastic Omnium Auto Inergy sp. z o.o., ul. Budowlana 28, 20-469 Lublin,

e-mail: zelazekkamil@gmail.com

Maciej NOWICKI

Politechnika Lubelska, Biuro Rzecznika Patentowego, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin,

e-mail: maciej.nowicki@pollub.pl

Właściwości i cechy geometryczne współwytłaczanych rur oświetleniowych

Streszczenie: za pomocą linii technologicznej do współwytłaczania otrzymano dwuwarstwowe rury o różnej grubości warstwy zewnętrznej i wewnętrznej, wykorzystywane w branży reklamy świetlnej. Celem takiej budowy wytłoczyny jest przede wszystkim zwiększenie odkształcalności, jak i uzyskanie odpowiedniego rozproszenia światła. Otrzymane rury poddano badaniom, określając ich wymiary poprzeczne – grubość poszczególnych warstw, wytrzymałość na zginanie i kąt ugięcia z wykorzystaniem aparatu Dynstat. Próbkę wyciętą z otrzymanych wytłoczyn poddano również badaniom pomiaru natężenia barwy przepuszczanego światła z użyciem spektrofotometru.

Słowa kluczowe: współwytłaczanie, rury oświetleniowe, rozproszenie światła, wytrzymałość na zginanie, kąt ugięcia, spektrofotometr

THE PROPERTIES AND GEOMETRIC FEATURES OF THE CO-EXTRUDED TUBE LIGHTING

Summary: Using a line for double-layer co-extrusion to give pipes of different thicknesses inner and outer layer, used in the field of illuminated advertising. The purpose of this design of the extrudate is mainly to increase the deformability and achieve proper dispersion of the light. The resulting pipe was tested, the dimensions of the cross - thickness of the individual layers, the bending strength and the deflection angle using a Dynstat device. Samples cut from the extrudate were subjected to the tests measuring the color intensity of the light transmitted by a spectrophotometer.

Key words: co-extrusion, tube lighting, light scattering, bending strength, deflection angle, spectrophotometer

1. WSTĘP

Wytłaczanie wielotworzywowe jest powszechną metodą wytwarzania przedmiotów z tworzyw polimerowych. Metodą tą produkowane są m. in. opakowania spożywcze, butelki i zbiorniki paliwowe [1, 2, 3]. Wytłaczanie wielotworzywowe polega na wytłaczaniu dwóch lub więcej tworzyw w tym samym czasie w oddzielnych układach uplastyczniających i łączeniu ich w jedną, zwartą, wielowarstwową strukturę w jednej głowicy wytaczarskiej [4, 5, 6]. Celem

stosowania wytłaczania wielotworzywowego jest m. in.: produkcja wyrobów z właściwościami barierowymi, polepszenie ich wytrzymałości, zwiększenie walorów estetycznych i dekoracyjnych, jak również uzyskanie warstw odpornych na zadrapania [7, 8, 9, 10, 11].

Wytłaczane kształtowniki oświetleniowe stosowane w przemyśle reklamowym wykonywane są pod zamówienie danego klienta. Specyfika tej branży wymusza uzyskiwanie z tych rur indywidualnych kształtów, charakteryzujących dane miejsce czy np. markę. Obecnie, do tego

celu, stosowane są głównie kształtowniki jednowarstwowe, wykonywane z polietylenu małej gęstości, o znacznej grubości ścianki w celu zapewnienia odpowiednich właściwości mechanicznych, co znacznie ogranicza uzyskiwanie z nich dowolnych i skomplikowanych kształtów. Konieczne jest używanie wyspecjalizowanych giętarek czy też miejscowe podgrzewanie wytłoczyny i stosowania specjalnych technik gięcia kształtowników, co podnosi koszty uzyskania gotowego wyrobu. Dobre rozproszenie światła w kształtownikach jednowarstwowych na całej ich długości jest silnie uzależnione od warunków procesu technologicznego. Zmiany ciśnienia i temperatury tworzywa lub nierównomierne rozprószanie barwnika w tworzywie, nierównomierność grubości uzyskanej ścianki lub zła konstrukcja kanałów przepływowych głowicy wytłaczarskiej są przyczyną uzyskania wadliwych wyrobów w postaci widocznych smug czy przebarwień, które jeszcze bardziej się uwidaczniają przy ich podświetlaniu [12].

Celem naszych badań jest podjęcie próby zwiększenia odkształcalności reklamowych rur oświetleniowych, poprzez zastosowanie dwuwarstwowej konstrukcji rury stanowiącej połączenie dwóch różnych tworzyw tj. elastomeru termoplastycznego z grupy olefinowych elastomerów termoplastycznych (TPE-O) oraz polietylenu dużej gęstości (PE-HD). Celem badań jest również określenie wybranych właściwości

otrzymanej dwuwarstwowej rury termoplastycznej z przeznaczeniem na zastosowania do łatwo odkształcalnych, świetlnych elementów reklamowych i ocena przydatności zaproponowanej konstrukcji nowego wytworu do tej aplikacji.

Do największych zalet elastomerów termoplastycznych należy zaliczyć ich dużą odkształcalność, łatwą obróbkę i niskie koszty zużycia energii przy wykorzystaniu konwencjonalnych technologii przetwórczych. Tworzywa te można również łatwo poddawać barwieniu oraz wykorzystywać ich dobre właściwości adhezyjne podczas m. in. wytłaczania wielotworzywowego [13]. Elastomery termoplastyczne znajdują zastosowanie m. in. jako uszczelki do szyb, maty samochodowe, zabawki, taśmy transportowe i pokrycia kabli. Główne wady elastomerów termoplastycznych to przede wszystkim słaba odporność chemiczna i termiczna oraz niewielka odporność na odkształcenia trwałe [14, 15, 16].

2. TWORZYWO

Na wewnętrzną warstwę wytłoczyny wybrano elastomer termoplastyczny z grupy olefinowych elastomerów termoplastycznych (TPE-O), o nazwie handlowej TO SE 583 59A W001 firmy Mitsubichi Chemical (Tokio, Japonia) [17], ma on zapewnić odpowiednią, dużą odkształcalność otrzymanego wytworu.

Tabela 1. Wybrane właściwości elastomeru termoplastycznego TO SE 583 59A W001 oraz polietylenu dużej gęstości ACP 9240 Plus [17, 18]

Table 1. Selected properties of thermoplastic elastomer TO SE 583 59A W001 and high density polyethylene ACP 9240 Plus [17, 18]

Nazwa	TO SE 583 59A W001	Hostalen ACP 9240 Plus
Gęstość, kg/m ³	895	946
Temperatura topnienia, °C	od 140 °C	od 130 °C
Temperatura przetwórstwa, °C	170 – 190 °C	170 – 230 °C
Wytrzymałość na rozciąganie – w kierunku wzdłużnym, MPa	14,8	45
Wydłużenie przy zerwaniu – w kierunku wzdłużnym, %	870	450
Wskaźnik szybkości płynięcia MFR 190°C; 5 kg, g/10 min	3,4	0,2
Wskaźnik szybkości płynięcia MFR 230°C; 5 kg, g/10 min	24	-

Na zewnętrzną warstwę wytłoczony wybrano polietylen dużej gęstości (PE-HD) o nazwie handlowej Hostalen ACP 9240 Plus, wyprodukowany przez firmę LyondellBasell Elevates (Houston, USA). Tworzywo to posiada większą sztywność i wytrzymałość na rozciąganie w temperaturze otoczenia od tworzywa warstwy wewnętrznej [18], co z kolei powinno zapewnić stosowne właściwości mechaniczne wytworu.

Wybrane właściwości wytypowanych na poszczególne warstwy tworzyw zestawiono w tabeli 1.

3. STANOWISKO BADAWCZE

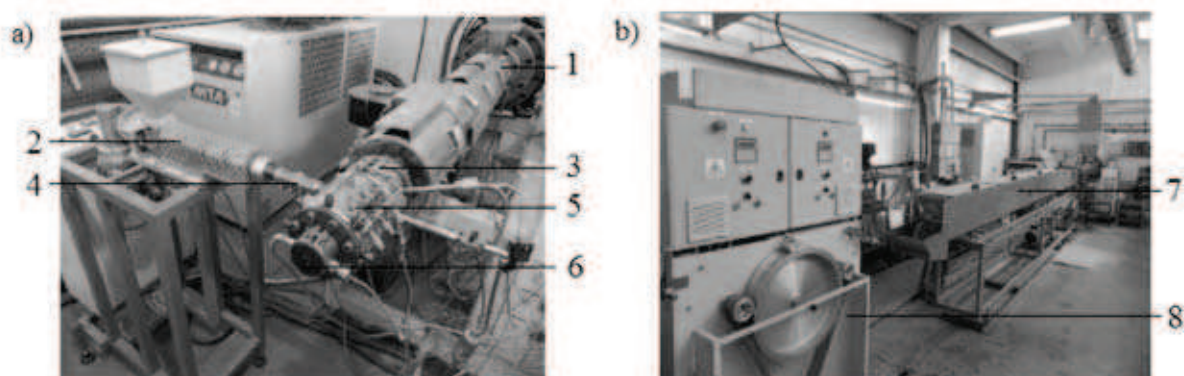
Proces współwytłaczania zrealizowano w Instytucie Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników w Toruniu, z wykorzystaniem linii technologicznej do współwytłaczania wytworów o kołowym kształcie pola przekroju poprzecznego, której fragmenty przedstawiono na rysunku 1 i rysunku 2. Z wykorzystaniem wymienionych wyżej tworzyw przeprowadzono proces współwytłaczania rury dwuwarstwowej, mającej średnicę zewnętrzną 12 mm oraz grubość ścianki wynoszącą 2 mm.

Wykorzystana w badaniach linia technologiczna do współwytłaczania składała się z wytła-

czarki głównej jednoślimakowej W45, wytłaczarki pomocniczej jednoślimakowej W18, łącznika, wzdłużnej kołowej głowicy wytłaczarskiej, wanny chłodzącej oraz odciągu.

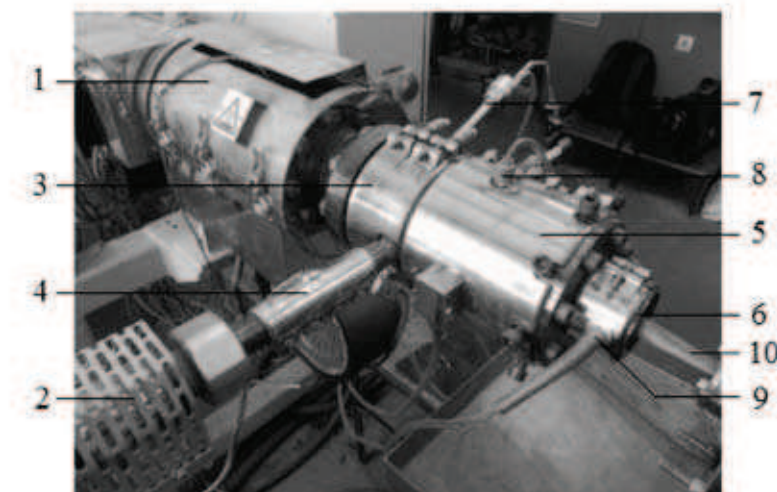
Wytłaczarka główna W45 posiadała 4 strefy grzejne. Średnica ślimaka umieszczonego w cylindrze wynosiła 45 mm, a stosunek długości części roboczej do średnicy ślimaka wynosił 30. Ślimak napędzany był bezpośrednio z silnika elektrycznego firmy Baumüller o mocy znamionowej 97 kW, maksymalnym momencie obrotowym 4400 Nm i maksymalnej prędkości obrotowej 450 obr/min. Silnik był chłodzony wodą.

Wytłaczarka pomocnicza W18 wyposażona była w cylinder z dwiema strefami grzejnymi oraz ślimak o średnicy 18 mm i stosunku długości części roboczej do średnicy wynoszącym 20. Ślimak napędzany silnikiem indukcyjnym trójfazowym firmy Chiaravalli, o mocy znamionowej 0,55 kW oraz maksymalnym momentem obrotowym 3,81 Nm, przy maksymalnej prędkości obrotowej 1380 obr/min. Ślimak połączony z wałem silnika za pomocą przekładni redukcyjnej Bonfiglioli MVF-49/A o przełożeniu $i = 36$, co skutkowało osiągnięciem momentu obrotowego na ślimaku 137,16 Nm. Silnik chłodzono powietrzem pochodzącym z wentylatora.



Rys. 1. Fragment linii technologicznej współwytłaczania rur: a) układy uplastyczniające z wzdłużną głowicą kołową, b) odciąg i wanna chłodząca; 1 – wytłaczarka główna W45, 2 – wytłaczarka W18, 3 – łącznik wytłaczarki głównej, 4 – łącznik wytłaczarki pomocniczej, 5 – głowica wytłaczarska, 6 – korpus dyszy głowicy wytłaczarskiej, 7 – wanna chłodząca, 8 – odciąg

Fig. 1. Part of co-extrusion process line pipe profiles: 1 – main extruder W45, 2 – auxiliary extruder W18, 3 – connector of the main extruder, 4 – connector of the auxiliary extruder, 5 – extrusion head, 6 – head extrusion nozzle body, 7 – cooling bath, 8 – puller



Rys. 2. Wygląd głowicy do współwytłaczania rur: 1 – wyltaczarka główna W45, 2 – wyltaczarka W18, 3 – łącznik wyltaczarki głównej, 4 – łącznik wyltaczarki pomocniczej, 5 – głowica wyltaczarska, 6 – dysza wyltaczarska, 7, 8, 9 – czujniki temperatury, 10 – wyltaczana rura

Fig. 2. Extrusion head for co-extrusion pipes: 1 – main extruder W45, 2 – extruder W18, 3 – connector of the main extruder, 4 – connector of the auxiliary extruder, 5 – extrusion head, 6 – extrusion nozzle, 7, 8, 9 – temperature sensors, 10 – extruded pipe

Wzdłużna, kołowa głowica wyltaczarska do współwytłaczania rur zaopatrzona była w dyszę o pierścieniowym kształcie pola przekroju poprzecznego i szerokości 2 mm, ogrzewana była za pomocą pierścieniowych grzejników zamocowanych w dwóch strefach grzejnych.

Wanna chłodząca o długości 5m składała się z dwóch komór z wodą o temperaturze $18 \pm 2^\circ\text{C}$. Wyltaczyna odbierana była przez odciąg rolkowy posiadający walec główny oraz dwa napędzane taśmowo walce pomocnicze.

System sterujący – kontrolny wyltaczarki głównej i odciagu wyposażono w dotykowy panel sterowniczy, dzięki któremu regulowano prędkość obrotową ślimaka wyltaczarki, kontrolowano temperaturę tworzywa w poszczególnych strefach grzejnych oraz prędkość odciagu. Regulację prędkości obrotowej ślimaka i kontrolę temperatury w dwóch strefach grzejnych wyltaczarki pomocniczej realizowano z wykorzystaniem odrębnej szafy sterowniczej.

4. CZYNNIKI BADANE

Na potrzeby badań opracowano zbiór ważniejszych czynników badawczych charakteryzujących proces współwytłaczania, a mianowicie

zestawienie czynników badanych bezpośrednio, pośrednio, czynników stałych, zmiennych i zakłócających. Czynniki opracowano mając na uwadze zarówno cel badań, jak i ogólne zasady metodyczne prowadzenia badań doświadczalnych.

Za czynniki badane bezpośrednio przyjęto:

- grubość warstwy zewnętrznej oraz wewnętrznej współwytłaczanej rury g_1, g_2 , mm,
- moment zginający M_g , Nm,
- transmitancję T , %.

Czynniki badanymi pośrednio były wytrzymałość na zginanie σ_g wyrażona w megapaskalach oraz kąt ugięcia α określany w stopniach.

Czynniki stałe to:

- elementy konstrukcyjne: układów uplastyczniających, łączników, głowicy wyltaczarskiej wraz z dyszą,
- przetwarzane tworzywa: TO SE 583 59A W001 oraz Hostalen ACP 9240 Plus,
- temperatura otoczenia $t_0 = 23^\circ\text{C}$,
- temperatura w poszczególnych czterech strefach grzejnych układu uplastyczniającego wyltaczarki głównej (poczynając od zasypu 120°C , 145°C , 155°C oraz 160°C , dwóch strefach grzejnych wyltaczarki pomocniczej 160°C , 175°C oraz temperatura w dwóch strefach grzejnych głowicy do współwytłaczania 170°C , 165°C .

Czynnikiem zmiennym była prędkość obrotowa ślimaka wytłaczarki głównej, wytłaczarki pomocniczej oraz prędkość odciagu współwytłaczanej rury. Wartości wymienionych czynników zmiennych przedstawiono w tabeli 2, w której symbolami RI, RII, RIII oraz RIV oznaczono poszczególne rodzaje otrzymanych rur dwuwarstwowych, które poddane zostały badaniom.

Czynnikami zakłócającymi były:

- napięcie prądu elektrycznego: od 219 do 241 V,
- wilgotność względna powietrza: od 45 do 55 %,
- temperatura otoczenia: od 21 do 23 °C.

Założono, że wpływ czynników zakłócających był minimalny i że można go pominąć.

Tabela 2. Czynniki zmienne procesu współwytłaczania

Table 2. Variable factors of co-extrusion process

Czynnik zmienny	Jednostka	RI	RII	RIII	RIV
Prędkość obrotowa ślimaka wytłaczarki głównej W45	obr /min	15	10	5	1
Prędkość obrotowa ślimaka wytłaczarki pomocniczej W18	obr /min	30	38	46	54
Prędkość odciagu	m/min	1,6	1,3	0,8	0,4

5. TECHNIKA PROWADZENIA BADAŃ

Z wykorzystaniem linii technologicznej wytłoczono cztery odcinki dwuwarstwowych rur o pierścieniowym polu przekroju poprzecznego ścianki, mającej różną grubość warstwy zewnętrznej i wewnętrznej (RI, RII, RIII, RIV). Za pomocą wytłaczarki W45 wytłaczano warstwę zewnętrzną z polietylenu, natomiast za pomocą wytłaczarki W18 warstwę wewnętrzną z elastomeru termoplastycznego. W celu określenia wpływu prędkości obrotowej ślimaków układów uplastyczniających na grubość poszczególnych warstw współwytłaczanej rury, przeprowadzono analizę makroskopową. W tym celu, przygotowano próbki rur oraz wykonano fotografie ich pola przekroju poprzecznego aparatem Coolpix P100 firmy Nikon zamocowanym na statywie, skierowanym prostopadle do powierzchni czołowej fotografowanej próbki. Otrzymane zdjęcia poddano obróbce w programie Solid Edge, w programie tym, na wykonanych fotografiach, naniesiono okręgi na powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej rury oraz na granicy warstw.

Warstwę polietylenu ACP 9240 Plus zabarwiono na kolor pomarańczowy, co umożliwiło łatwe odnalezienie na zdjęciu granicy łączenia się tej warstwy z niebarwionym TO SE 852 59A W001.

Badania oznaczenia wytrzymałości statycznej na zginanie i kąta ugięcia przeprowadzono zgodnie z normą PN-72/C-04243. Próbkę o znormalizowanych wymiarach wycięto z wytłoczonych rur. Część próbek zamontowano w aparacie Dynstat tak, aby pod wpływem narastającego momentu zginającego, rozciągana była warstwa ACP 9240 Plus, natomiast ściskana warstwa TO SE 583 59A W001. Drugą część próbek zamontowano odwrotnie, aby rozciągana była warstwa TO SE 583 59A W001, a ściskana ACP 9240 Plus. Badania te miały określić wpływ warstwy zewnętrznej próbki (TPE-O lub PE-HD) na wytrzymałość statyczną na zginanie oraz odkształcalność. Badania przeprowadzono dla próbek o różnej grubości warstwy zewnętrznej, zmieniającej się wraz ze zmianą prędkości obrotowej ślimaków. Pomiar przeprowadzono pięciokrotnie dla każdej grupy próbek (RI, RII, RIII, RIV).

Do pomiaru natężenia barwy zewnętrznej warstwy rury, wykorzystano spektrofotometr X-Rite Ci4200. Pomiar natężenia barwy, w zależności od grubości poszczególnych warstw otrzymanej rury, polegał na analizie rozkładu światła widzialnego pochłanianego przez ściankę rury. Wskutek absorpcji światła przez ściankę rury następuje zmniejszenie intensywności natężenia światła, które jest mierzone przez detektor. Im bardziej intensywna barwa, tym wyższa wartość zmierzonej absorbancji, a co za tym idzie mniejsza wartość transmitancji. Transmitancja najczęściej wyrażana jest w procentach i definiowana jako stosunek natężenia promieniowania przechodzącego przez próbkę (I_t) do natężenia promieniowania padającego na próbkę (I_o), i oznacza jest wzorem:

$$T = I_t / I_o \cdot 100\%$$

Przeprowadzono badania wpływu grubości warstwy barwionego polietylenu ACP 9240 Plus na transmitancję [19].

6. WYNIKI BADAŃ

W wyniku zgodnych z programem badań zmian prędkości obrotowej ślimaków wytłaczarek wytworzono dwuwarstwowe rury o stałej grubości ścianki i zmiennej grubości jej warstwy zewnętrznej i wewnętrznej. W tabeli 3 pokazano cechy geometryczne otrzymanych rur, oznaczone na podstawie analizy makroskopowej.

Wraz ze zmniejszaniem prędkości obrotowej ślimaka wytłaczarki W45 grubość warstwy zewnętrznej również ulegała zmniejszeniu. Wraz

Tabela 3. Otrzymane grubości poszczególnych warstw profili rurowych w zależności od prędkości obrotowych ślimaków podczas wytłaczania

Table 3. The resulting thickness of the individual layers of pipe profiles depending on the screw speed during the extrusion process

Oznaczenie próbek profilu rurowego	Prędkość obrotowa ślimaka wytłaczarki		Grubość warstwy wewnętrznej z tworzywa TO SE 853 59A W001, mm	Grubość warstwy zewnętrznej z tworzywa ACP 9240 Plus, mm	Grubość ścianki rury, mm
	W45, obr/min	W18, obr/min			
R I	15	30	0,65	1,35	2,00
R II	10	38	0,80	1,20	
R III	5	46	0,95	1,05	
R IV	1	54	1,05	0,95	

ze wzrostem prędkości obrotowej ślimaka wytłaczarki W18 grubość warstwy wewnętrznej zwiększała się. Związane jest to z otrzymywaniem różnych wartości ciśnienia danego tworzywa w głowicy wytłaczarskiej.

W tabeli 4 i tabeli 5 przedstawiono wyniki pomiarów momentu zginającego M_g , kąta ugięcia α oraz wartości wytrzymałości statycznej na zgina-

nie σ_g badanych próbek. W tabeli 4 przedstawiono otrzymane wyniki dla próbek, w których rozciągana warstwa był polietylen ACP 9240 Plus, a warstwą ściskaną elastomer termoplastyczny TO SE 583 59A W001, natomiast w tabeli 5 wyniki dla próbek, w których rozciągana warstwa był elastomer termoplastyczny TO SE 583 59A W001, a warstwą ściskaną polietylen ACP 9240 Plus.

Tabela 4. Wyniki oznaczania wytrzymałości statycznej na zginanie przy rozciąganej warstwie ACP 9240 Plus i ściskanej TO SE 583 59A W001

Table 4. Results of the determination static bending strength with tensile layer ACP 9240 Plus and compression TO SE 583 59A W001

Próbka	Wymiary próbek			Średni moment zginający M_g , Nmm	Średnia wytrzymałość statyczna na zginanie σ_g , MPa	Kąt ugięcia α , deg
	Długość l, mm	Szerokość b, mm	Grubość h, mm			
RI	1	15,09	9,82	38,26	7,08	14
	2	15,08	9,66			
	3	15,06	9,83			
	4	14,98	9,71			
	5	15,05	10,34			
RII	1	15,02	10,02	19,62	3,38	14
	2	15,08	9,87			
	3	15,04	9,99			
	4	15,01	9,82			
	5	15,09	10,23			
RIII	1	15,02	10,32	15,70	2,39	14
	2	15,02	9,76			
	3	15,09	9,75			
	4	15,04	9,40			
	5	15,08	10,30			
RIV	1	14,96	9,55	9,43	1,54	14
	2	15,09	10,45			
	3	15,04	10,18			
	4	14,97	9,98			
	5	14,90	10,31			

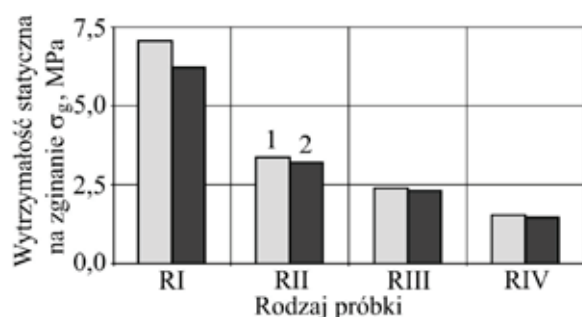
Tabela 5. Wyniki oznaczania wytrzymałości statycznej na zginanie przy rozciąganej warstwie TO SE 583 59A W001 i ściskanej ACP 9240 Plus

Table 5. Results of the determination static bending strength with tensile layer TO SE 583 59A W001 and compression ACP 9240 Plus

Próbka	Wymiary próbek			Średni moment zginający M_g , Nmm	Średnia wytrzymałość statyczna na zginanie σ_g , MPa	Kąt ugięcia α , deg
	Długość l, mm	Szerokość b, mm	Grubość h, mm			
RI	1	14,94	10,18	28,45	6,25	14
	2	14,98	10,29			
	3	15,03	10,32			
	4	15,08	10,02			
	5	14,91	9,95			
RII	1	15,02	10,02	19,62	3,21	14
	2	15,08	9,87			
	3	15,04	9,99			
	4	15,01	9,82			
	5	15,09	10,23			

RIII	1	14,93	10,18	2,02			
	2	14,95	10,29	1,98			
	3	15,03	10,32	1,88	16,45	2,30	14
	4	15,04	10,02	2,04			
	5	15,07	9,95	1,97			
RIV	1	15,04	9,96	2,01			
	2	15,05	9,98	2,12			
	3	14,93	9,87	2,20	10,79	1,43	14
	4	15,06	10,30	2,20			
	5	14,99	9,73	2,23			

Na rysunku 3 przedstawiono natomiast w postaci graficznej wartości obliczonej wytrzymałości statycznej na zginanie oznaczone dla otrzymanych rur dwuwarstwowych o różnej grubości warstw z uwzględnieniem podziału na warstwy rozciągane i ściskane.



Rys. 3. Wykresy wytrzymałości statycznej na zginanie w zależności od grubości warstw ACP 9240 Plus i TO SE 583 59A W001: 1 – rozciągana warstwa ACP 9240 Plus, ściskana TO SE 583 59A W001, 2 – rozciągana warstwa TO SE 583 59A W001, ściskana ACP 9240 Plus

Fig. 3. Chart of static bending strength depending on the thickness of the layers ACP 9240 Plus and TO SE 583 59A W001: 1 – stretched layer ACP 9240 Plus, compressed TO SE 583 59A W001, 2 – stretched layer TO SE 583 59A W001, compressed ACP 9240 Plus

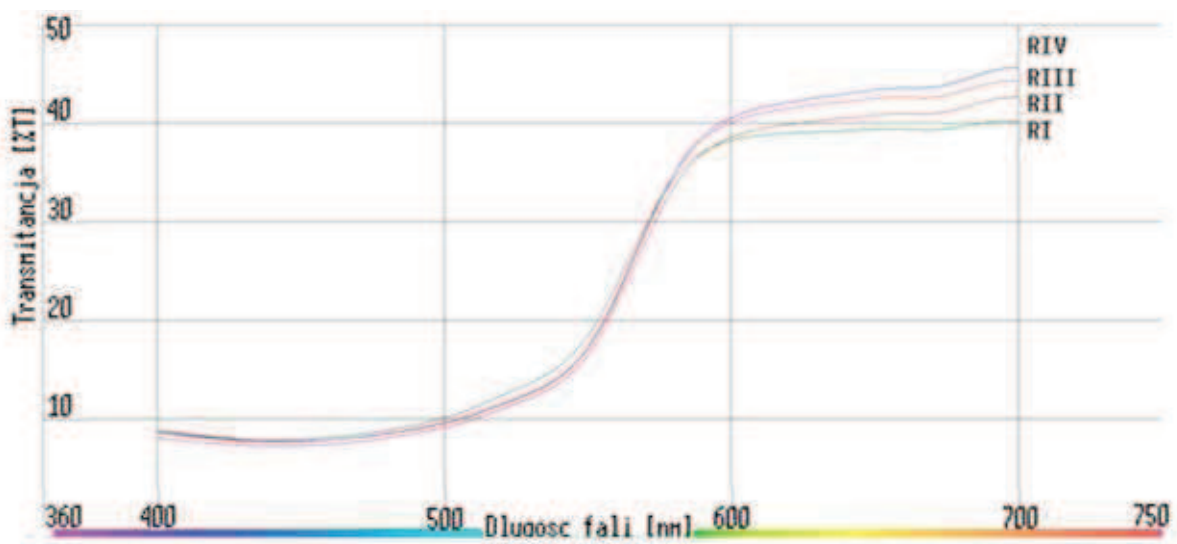
Zaobserwowano spadek wytrzymałości statycznej na zginanie badanych próbek wraz ze zmniejszaniem się grubości warstwy zewnętrznej. Powyższa zależność przejawia się zarówno w przypadku elastomeru termoplastycznego jak i polietylenu dużej gęstości. Wraz ze zmniejszaniem grubości warstwy zewnętrznej PE-HD wytrzymałość statyczna na zginanie ba-

danych próbek zmalała z 7,08 MPa dla próbki RI do 1,54 MPa dla próbki RIV. Podobne rezultaty uzyskano przy rozciąganej warstwie elastomeru, 6,25 MPa dla próbki RI i 1,43 MPa dla próbki RIV. Przy zmniejszaniu grubości warstwy zewnętrznej uzyskana dwuwarstwowa rura staje bardziej podatna na odkształcanie przy jednoczesnym zmniejszaniu się wytrzymałości statycznej na zginanie. Przy odpowiednim doborze parametrów procesu wytłaczania można uzyskać kompromis pomiędzy wymaganą odkształcalnością rury a jej wytrzymałością na zginanie.

Wyniki badań spektrofotometrycznych dla rur oznaczonych symbolami RI, RII, RIII i RIV przedstawiono na rysunku 4. Wynika z nich, że wraz ze zmniejszaniem się grubości warstwy zewnętrznej rury dwuwarstwowej zauważono wzrost transmitancji o około 5÷6% przy różnicy grubości warstwy zewnętrznej pomiędzy RI (1,35 mm) a RIV (0,95 mm) wynoszącej 0,4 mm. Wzrost transmitancji oznacza zmniejszenie intensywności barwy, co przy różnicy grubości warstw wynoszącej 0,4 mm jest słabo zauważalne nieuzbrojonym okiem, jednak przy większych różnicach grubości odcienie barw danego koloru mogą się znacznie różnić. Z punktu widzenia branży reklamowej, gdzie intensywność natężenia barwy odgrywa znaczącą rolę, próbka RI wykazuje najlepsze właściwości pod względem kolorystyki. Oprogramowanie X-Rite Color iQC sklasyfikowało próbkę RIV jako wadliwą, przyjmując za bazę odcień barwy z próbki RI. Zgodnie z otrzymanymi wynikami w przypadku współwytła-

czania zmiana grubości warstwy zewnętrznej ma duży wpływ na walory kolorystyczne. Przy zmniejszaniu grubości warstwy zewnętrznej

stosunek barwnika do ilości dostarczanego tworzywa do układu uplastyczniającego wytłaczarki powinien być większy.



Rys. 4. Zestawienie wyników badań transmitancji dla próbek RI ÷ RIV

Fig. 4. Summary of test results for samples transmittance RI ÷ RIV

Wzrost transmitancji związany jest ze zmniejszającą się grubością absorbentu (warstwy zewnętrznej), co w praktyce oznacza zmniejszenie intensywności barwy. Zjawisko to opisuje prawo Lamberta – Beera mówiące o tym, iż natężenie promieniowania po przejściu przez warstwę o grubości x maleje wykładniczo, wraz ze wzrostem grubości absorbentu [19].

7. PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonych badań współwytłaczania rur z użyciem polietylenu dużej gęstości i elastomeru termoplastycznego należy stwierdzić, że zmiana grubości poszczególnych warstw rury dwuwarstwowej może odbywać się efektywnie poprzez zmianę prędkości obrotowej ślimaków układów uplastyczniających przy zachowaniu stałej grubości ścianki.

Zaobserwowano spadek wytrzymałości statycznej na zginanie badanych próbek wraz ze zmniejszaniem się grubości warstwy z polietylenu ACP 9240 Plus. Powyższa zależność

przejawia się niezależnie od rozciągania czy ściskania warstwy zewnętrznej próbek wyciętych z profilu rurowego. Wraz ze zmniejszaniem grubości warstwy zewnętrznej, uzyskana dwuwarstwowa rura staje bardziej podatna na odkształcanie przy jednoczesnym zmniejszaniu się wytrzymałości statycznej na zginanie.

Kolorystyka w branży reklamowej odgrywa znaczącą rolę a zgodnie z wynikami badań niewielka zmiana grubości warstwy zewnętrznej współwytłaczanej rury, która była wykonana z tworzywa ACP 9240 Plus, wpływa na zmniejszenie intensywności barwy tejże warstwy. Wymusza to bardzo dobrego poznania warunków procesu wytłaczania i dostosowania jego parametrów dla danej aplikacji.

Dwuwarstwowe rury z polietylenu dużej gęstości oraz z poliolefinowego elastomeru termoplastycznego mogą być korzystną alternatywą w porównaniu z dotychczas stosowanymi reklamowymi rurami świetlnymi o jednolitej, grubej ściance, wykonanej z polietylenu małej gęstości.

LITERATURA

1. Sikora J., Greškovič F.: *Technological and design aspects of extrusion and injection moulding of thermoplastic polymer composites and nanocomposites. Vol. 2*, Technical University of Košice, Košice 2014.
2. Sikora J., Greškovič F., Suberlyak O.: *Technological and design aspects of extrusion and injection moulding of thermoplastic polymer composites and nanocomposites. Vol. 3*, Politechnika Lubelska, Lublin 2015.
3. Wagner J. R.: *Multilayer flexible packaging. Technology and applications for the food, personal care and over – the – counter pharmaceutical industries*. Elsevier, Burlington 2010.
4. Giles H. F., Wagner J. R., Mount E. M.: *Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook*, William Andrew Publishing, Norwich, 2004.
5. Zawora J.: *Podstawy technologii maszyn*, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne SA, Warszawa 2001.
6. Sikora J. W.: *Budowa głowic wytłaczarskich do wytworów wielotworzywowych*. Przetwórstwo Tworzyw, Toruń 2010.
7. Drobny J. G.: *Handbook of thermoplastic elastomers*, William Andrew Publishing, Norwich, 2007.
8. Frąszczak Z., Królikowski B., Kraus M.: *Wykorzystanie metalocenowych kopolimerów etylenu i wyższych alfa-olefin do produkcji folii wielowarstwowej*. Przemysł chemiczny 90/11, Warszawa 2011.
9. Harper CH. A.: *Handbook of plastic processes*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2006.
10. Materiały www.bekum.de
11. Materiały www.plasticomnium.com
12. Materiały www.lumotubo.pl
13. Piekarska E.: *Styrenowe elastomery termoplastyczne*. Przetwórstwo Tworzyw, Toruń 2000.
14. Pękalak M., Radkowski S.: *Gumowe elementy sprężyste*, PWN, Warszawa 1989.
15. Shanks R., Kong I.: *Thermoplastic elastomers*, Applied Sciences, RMIT, Melbourne 2012.
16. Holden G., Legge N. R., Quirk R., Schroeder H. F.: *Thermoplastic elastomers (II wyd.)*, Hanser Pub., Munich 1996.
17. Materiały www.mitsubishichem-hd.co.jp
18. Materiały www.lyondellbasell.com
19. Cygański A.: *Metody Spektroskopowe w Chemii Analitycznej*, WNT, Warszawa 2002.

Publikację przyjęto do druku 07–03–16