

Tomasz GARBACZ¹⁾, Ludmila DULEBOVA²⁾

¹⁾ Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 38 D, 20-618 Lublin, Polska

²⁾ Technical University in Košice, 74 Mäsiarska St., 040 01 Košice, Slovakia

Zastosowanie termowizji w ocenie procesu wytłaczania

Streszczenie: Podczas prowadzonego procesu wytwarzania porowatych powłok kabla wykonano badania termowizyjne wytwarzanych taśm, których celem było określenie wpływu oddziaływania środków porujących egzotermicznie oraz endotermicznie na temperaturę tworzywa porowanego opuszczającego głowicę wytłaczarską. Do badań termowizyjnych procesu wytłaczania porującego wykorzystano kamerę termowizyjną V-20. Umożliwia ona zdalne bezkontaktowe rejestrowanie rozkładu temperatury na powierzchniach badanych obiektów oraz umożliwia wykonanie pomiaru temperatury w zakresie od -10 do 500°C. Badanymi obiektami podczas prowadzonego procesu wytłaczania były głowica wytłaczarska oraz porowana taśma po wyjściu z głowicy wytłaczarskiej. Analizę otrzymanych wyników pomiarów przeprowadzono za pomocą specjalnego programu komputerowego Therm V20. W wyniku tych pomiarów otrzymano obrazy termalne głowicy wytłaczarskiej oraz powłoki porowatej przy zwiększonym dozowaniu środka porującego. Przykładowe obrazy termalne zostały przedstawione na rysunkach 2 i 3.

THE USE OF INFRARED MAPPING EXAMINATION IN THE EVALUATION OF THE EXTRUSION PROCESS

Abstract: The experimental tests of producing cellular tapes involved performing the infrared mapping examination of produced tapes in order to determine the effect of the exothermic and endothermic blowing agents on the temperature of the cellular polymer that was leaving the extruder head. To perform the infrared mapping examination of the foaming extrusion process, a V-20 infrared camera was used. The camera enables the remote, contact-free recording of temperature distribution on surfaces of examined objects, allowing for measuring temperature in the range from -10 to 500°C. The extruder head and cellular tapes leaving the extruder head die were the objects examined in the course of the process. The infrared camera was distanced from the examined objects by 0.4 m. The results were analyzed using specialist computer programme Therm V20. As a result of the measurements made, thermal images of the extruder head and cellular coating at increasing blowing agent doses were obtained. The examples of the thermal images are shown in Figures 2 and 3.

1. Charakterystyka wytłaczania porującego

Wytłaczanie tworzyw porowatych różni się od wytłaczania tworzyw litych tym, że wytworowi w wyniku procesu przetwórczego, nadaje się strukturę dwufazową tworzywo-gaz o możliwie małych i równomiernie rozmieszczonych pęcherzykach gazu. Strukturę porowatą uzyskuje się dzięki wprowadzeniu do tworzywa wejściowego środka porującego (poroforu), w postaci gazu obojętnego, cieczy niskowrzącej lub ciała stałego, który jeżeli jest w stanie ciekłym lub stałym, przechodzi w gaz w określonych warunkach procesu wytłaczania [1, 2, 3]. Gazy obojętne i cieczy niskowrzące wprowadza się pod ciśnieniem za pomocą specjalnych urządzeń dozujących, bezpośrednio do strefy zasilania układu uplastyczniającego wytłaczarki w czasie wytłaczania. Natomiast niektóre cieczy i ciała stałe miesza się z tworzywem w sposób typowy, tak jak pigmenty, przed dostarczeniem do zasobnika wytłaczarki lub są wprowadzane do tworzywa już w procesie jego wytwarzania [2, 4, 5, 6]. Gdy w odpowiedniej temperaturze rozpoczyna się proces wydzielenia gazu, tworzące się liczne mikrobanieczki ulegają natychmiast, dzięki ciśnieniu i rozwinęciu powierzchni, rozpuszczeniu w otaczającym tworzywie. Powstające pory mogą być wypełnione zarówno powietrzem, jak i różnymi gazami, na przykład CO₂ oraz N₂, ale zostają one później w wyniku dyfuzji, zastąpione powietrzem [1, 3, 7, 9].

Środek porujący dobiera się odpowiednio do rodzaju tworzywa w ten sposób, aby temperatura jego rozkładu była wyższa od temperatury topnienia tworzywa, ale niższa od temperatury wytłaczania tworzywa [3, 5]. Tworzywo porowate w stanie ciekłym nie jest jeszcze układem stabilnym, gdyż w wyniku działania napięcia powierzchniowego na granicy faz: tworzywo – gaz oraz dyfuzji, zmniejsza się ilość porów w tworzywie, ale powiększają się ich rozmiary, co jest efektem niepożądanym. Powstałe pory powiększają się do chwili osiągnięcia stanu równowagi między ciśnieniem gazu a napięciem powierzchniowym. Korzystną strukturę tworzywa o małych porach, zachowuje się w gotowym wytworze przez jak najszybsze jego ochładzanie i zestalenie [6, 8, 9]. Środki porujące podlegają w procesie wytłaczania takim samym prawom, jak tworzywo przetwarzane, to jest nagrzewaniu sprężaniu, homogenizowaniu i transportowaniu, jeszcze przed wydzieleniem gazu [4, 10, 11].

2. Charakterystyka badań

Do badań stosowano poli(chlorek winylu) plastyfikowany, transparentny w postaci granulatu. Producentem tego PVC jest firma Alfa Sp. z o.o. (Polska) a jego nazwa handlowa to Alfavinyl GFM/4-31-TR. Użycie tego rodzaju poli(chloroku winylu) wynika z jego szerokiego stosowania i przetwórstwa metodą wytłaczania. Do badań został użyty PVC bez środka porującego oraz PVC z do-

Tab. 1. Właściwości środków porujących stosowanych w badaniach procesu wytłaczania

	Środek porujący		
	Hostatron P 1941	Expancel 950MB120	Adcol-blow UP-0Xb+X1020
Producent	Clariant Group	Akzo Nobel	Clariant Group
Temperatura dekompozycji (rozkładu) [°C]	160	130	135
Typ rozkładu	endotermiczny	mikrosfery	egzotermiczny
Postać	granulat (50% substancji czynnej, 50% nośnik PE-LD)	granulat (65% substancji czynnej, 35% nośnik EVA)	granulat (40% substancji czynnej, 60% nośnik PE-LD)

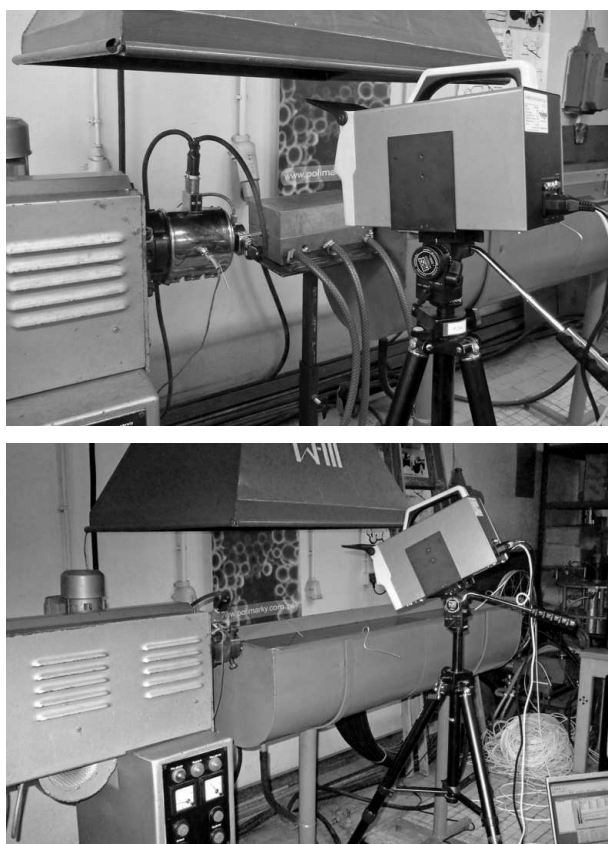
datkiem trzech różnych środków porujących firm: Colex, Clariant i AkzoNobel w postaci granulatu. Zastosowane środki porujące to: Hostatron P 1941, Expancel 950MB120, Adcol-blow UP-0XB-X1020, których wybrane właściwości przedstawiono w tabeli 1. Każdy z środków porujących był osobno mieszany z PVC w proporcjach 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 oraz 1,0% mas.

Zastosowana w badaniach linia technologiczna wytłaczania, pokazana na rysunku 1, była wyposażona w wytłaczarkę jednoślیمakową T32-25 z bezstopniową regulacją szybkości obrotowej ślیمaka, głowicę wytłaczarską z dyszą umożliwiającą wytłaczanie kształtownika w postaci taśmy oraz urządzenia pomocnicze (urządzenie kalibrujące, chłodzące oraz urządzenie odbierające wytłoczy-

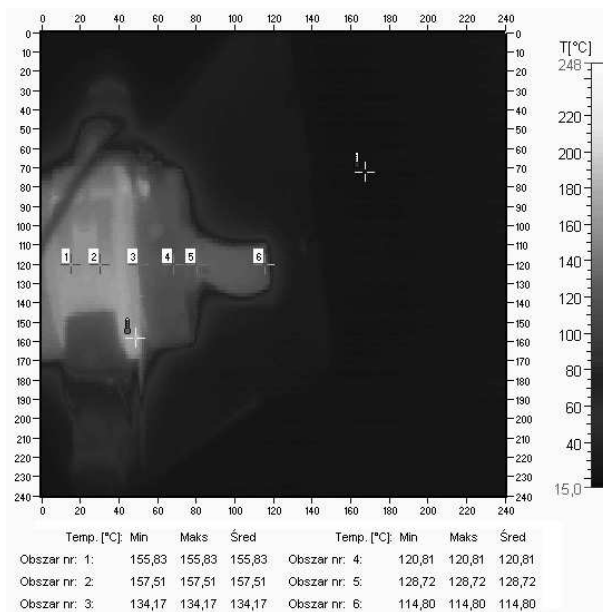
nę). Temperatura głowicy podczas procesu wytłaczania wynosiła 160 °C a temperatura w poszczególnych strefach grzejnych układu uplastyczniającego odpowiednio: 140°C, 160°C, 170°C, 180°C. Proces prowadzono przy zmiennej szybkości obrotowej ślیمaka w zakresie od 45 do 90 obr/min. W trakcie prowadzonego procesu wytłaczania porującego poli(chloru winylu) przeprowadzono pomiary szybkości obrotowej ślیمaka, masowego oraz objętościowego natężenia wypływu wytłoczyny z głowicy wytłaczarskiej, efektu Barusa oraz rozkładu temperatury na powierzchni otrzymanej wytłoczyny mikroporowatej, które zostały przedstawione w niniejszej pracy.

Do badań termowizyjnych procesu wytłaczania porującego wykorzystano kamerę termowizyjną V-20, model ER005-25 (Vigo System SA, Poland). Umożliwia ona zdalne bezkontaktowe rejestrowanie rozkładu temperatury na powierzchniach badanych obiektów. Kamera jest wyposażona w detektor fotowoltaniczny typu PDI-2TE-5 o dużej czułości. Obraz tworzono metodą przeszukiwania mechanicznego przy pomocy układu zwierciadeł i precyzyjnych zespołów napędowych. Obraz tworzony jest punkt po punkcie, linia po linii. Przy pomocy zespołu soczewek, promieniowanie podczerwone ogniskuje się na detektorze. Napięcie generowane przez detektor jest zależne od mocy promieniowania. Poprzez precyzyjne sterowanie ruchem zwierciadeł możliwy jest pomiar tego promieniowania punkt po punkcie.

Układ detekcji promieniowania podczerwonego w kamerze V-20 jest oparty na chłodzonym termoelektrycznie detektorze HgCdTe, który umożliwia wykonywanie pomiaru temperatury w zakresie od -10 do 500°C, przy rozdzielczości temperaturowej NEDT wynoszącej od 0,05 do 5°C, odpowiednio do wartości rejestrowanej temperatury. Kąt skanowania wynosi 30° natomiast tworzony termogram składa się z 57600 punktów (240 punktów w 240 liniach), przy czasie skanowania linii wynoszącym 7,2 ms. Kamera ta umożliwia zdalny pomiar, rejestrację oraz wizualizację promieniowania podczerwonego, emitowanego przez głowicę wytłaczarską, odpowiadającego temperaturze jego powierzchni. Badanymi obiektami podczas prowadzonego procesu wytłaczania porującego były głowica wytłaczarska oraz wytłoczyna porowata wypływająca z dyszy głowicy. Kamerę termowizyjną umieszczono w odległości 0,4 m od badanych obiektów. Pomiarów temperatury przeprowadzono na odcinku pomiarowym, składającym się z 29 punktów pomiarowych. W każdym z tych punktów kamera zarejestrowała war-

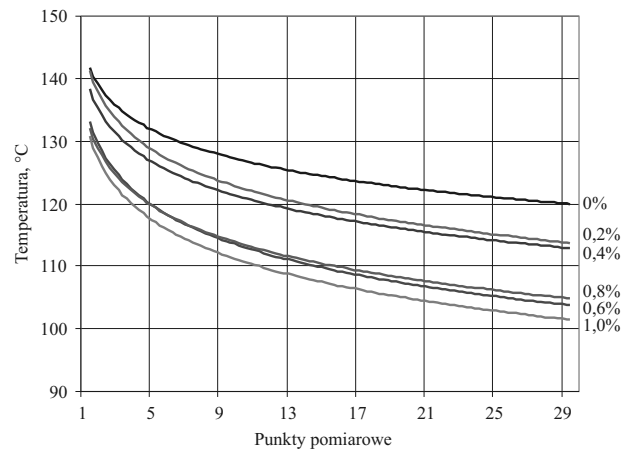


Rys. 1. Wygląd stanowiska technologicznego wytłaczania porującego taśmy podczas pomiarów termowizyjnych

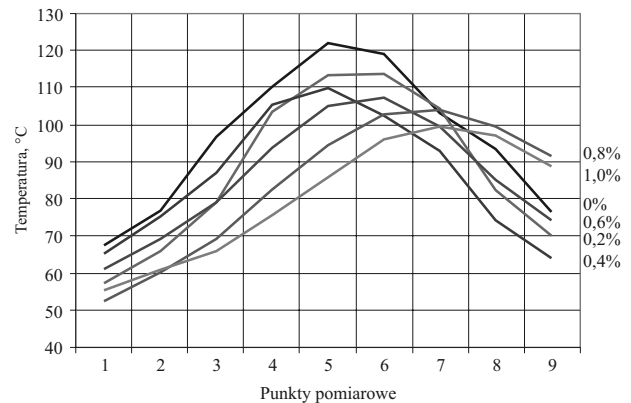


Rys. 2. Obraz termowizyjny temperatury wytłoczonej w poszczególnych punktach pomiarowych przy szybkości obrotowej ślimaka 45 obr/min

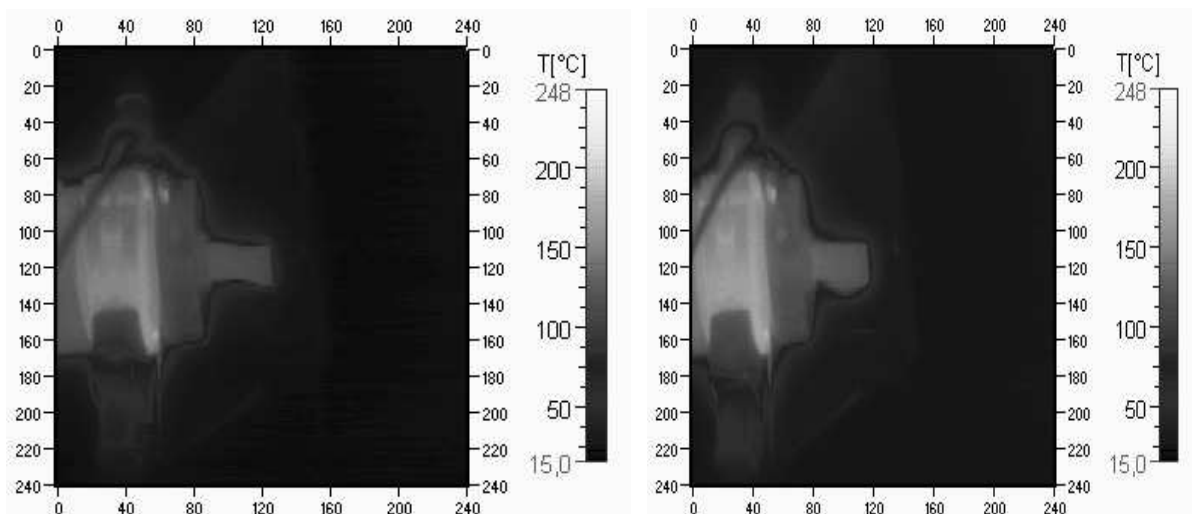
tości promieniowania podczerwonego, co po przetworzeniu umożliwiło jego wizualizację w postaci obrazów termalnych. Analizę otrzymanych wyników pomiarów przeprowadzono za pomocą specjalnego programu komputerowego Therm V20 ver. 2.2.2. W ramach prowadzonych pomiarów termowizyjnych, założonych w programie badań, wykonano rejestrację oraz wizualizację promieniowania podczerwonego emitowanego przez głowicę wytłaczarską oraz wytłoczoną porowatą w postaci taśmy płaskiej. W wyniku tych pomiarów otrzymano obrazy termalne głowicy wytłaczarskiej oraz wytłoczonej porowatej przy poszczególnych szybkościach obrotowych śli-



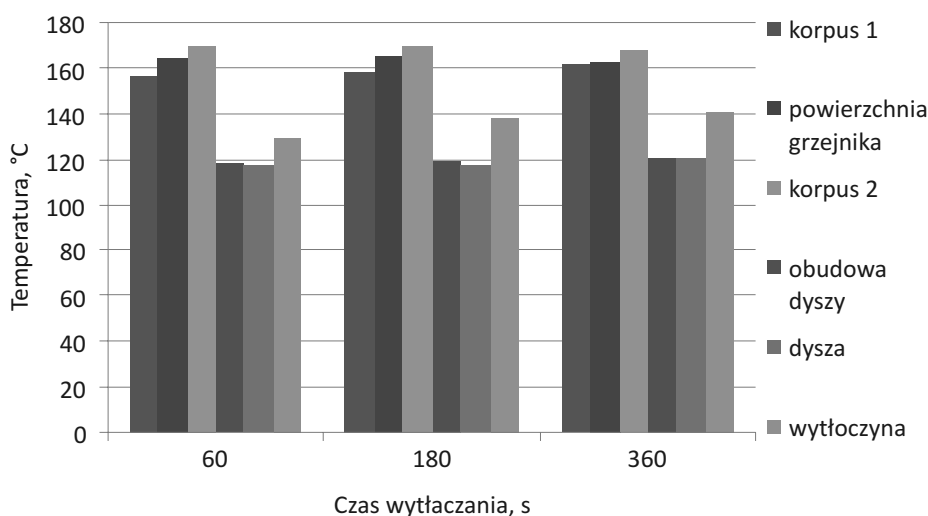
Rys. 4. Zależność temperatury wytłoczonej w poszczególnych punktach pomiarowych przy prędkości obrotowej ślimaka 60 obr/min oraz zawartości środka porującego w zakresie 0÷1,0% mas.



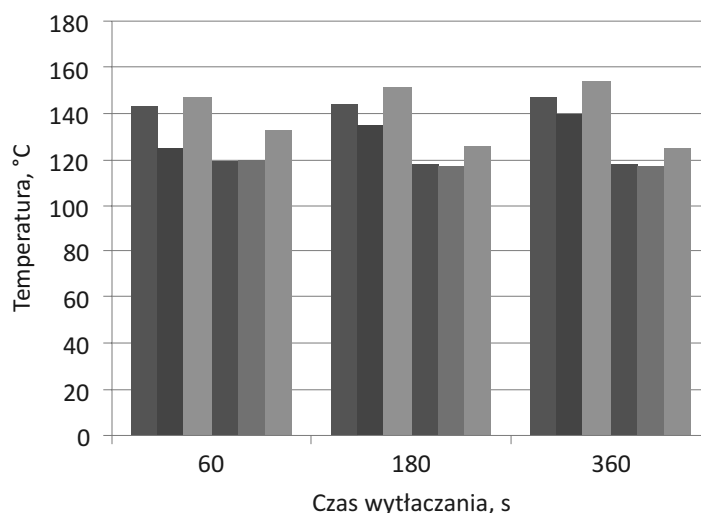
Rys. 5. Przebieg zmian temperatury powierzchni odcinka wytłoczonej prostopadle do kierunku wytłaczania w funkcji zawartości środka porującego



Rys. 3. Obraz termowizyjny głowicy wytłaczarskiej i wytłoczonej porowatej podczas procesu wytłaczania przy prędkości obrotowej ślimaka 60 obr/min oraz zawartości środka porującego a) 0,0%, b) 1,0% mas.



Rys. 6. Zależność temperatury wytłoczyny w poszczególnych punktach pomiarowych przy prędkości obrotowej ślimaka 75 obr/min oraz zawartości środka porującego 0,4% mas.



Rys. 7. Zależność temperatury wytłoczyny w poszczególnych punktach pomiarowych przy prędkości obrotowej ślimaka 90 obr/min oraz zawartości środka porującego 1,0% mas.

maka oraz zwiększonym dozowaniu środka porującego. Przykładowy obraz termalny został przedstawiony na rysunku 2 oraz 3.

Na podstawie przeprowadzonych wyników pomiarów temperatury wytłoczyny bezpośrednio po wyjściu z dyszy głowicy wytłaczarskiej w poszczególnych punktach pomiarowych sporządzono wykresy obrazujące zależności mierzonej temperatury wytłoczyny porowatej, zawierającej środek porujący w ilości 0÷1,0 % mas. Interpretację graficzną wyników badań przedstawiono w postaci wykresów, przykładowo na rysunkach 4÷7.

3. Podsumowanie

Wraz ze zwiększeniem dozowania środka porującego temperatura tworzywa opuszczającego dyszę głowicy wytłaczarskiej uległa obniżeniu, przy czym w badanym

zakresie dozowania był to spadek o 10°C. Jednocześnie można przyjąć, że przy zawartości środka porującego powyżej 0,8% mas. temperatura wytłoczyny uległa pewnej stabilizacji i wynosiła około 130 °C, zwłaszcza w punktach pomiarowych 13÷29. Przy zwiększeniu szybkości obrotowej ślimaka powyżej 75 obr/min nastąpił widoczny wzrost temperatury wytłoczyny dla małych zawartości środka porującego dozowanego do 0,8% mas.

W wyniku przeprowadzonych badań ustalono, że wprowadzenie środka porującego do poli(chlorku winylu) wpływa znacząco na zjawiska cieplne wstępujące w procesie wytłaczania, zwłaszcza podczas przepływu tworzywa w kanałach głowicy wytłaczarskiej oraz ochładzania wytłoczyny bezpośrednio za głowicą. W badanym zakresie zawartości środka porującego spadek temperatury wytłoczyny opuszczającej głowicę wytłaczarską wynosi około 7%, co można z dużym prawdopodobieństwem

stwem przypisać efektowi endotermicznemu towarzyszącemu rozkładowi poroforu przypadającemu w głowicy wytaczarskiej. Powiększa się także szybkość ochładzania otrzymanej wytłoczyny wraz ze zwiększaniem dozowania środka prującego, będąca skutkiem zmniejszenia różnicy temperatury pomiędzy wytłoczyną, a otaczającym ośrodkiem oraz zmniejszenia gęstości tworzywa. Może to mieć wpływ na dalsze etapy procesu zachodzące już poza wytłaczarką, zwłaszcza na kalibrowanie i ochładzanie końcowe wytłoczyny, a więc w efekcie na strukturę i wynikające z niej właściwości wytworów porowatych.

Literatura:

1. Okamoto K., T.: *Microcellular Processing*. Cincinnati: Hanser Gardner. 2003, 131-140.
2. Garbacz T.: *Properties of triple-layered PVC coatings synthesized in the micropore coextrusion method*. *Polimery* 2011, 56, 7-8, 129-134.
3. Bajer K., Stasiek A.: *Charakterystyka mieszanin PE-LD i PE-LD/EVA porowanych chemicznie*. *Przetwórstwo Tworzyw* 2010, 6, 302-307.
4. Rizvi S.J.A., Bhatnagar N.: *Microcellular PP vs. microcellular PP/MMT nanocomposites: A comparative study of their mechanical behavior*. *International Polymer Processing* 2011, 26, 375-382.
5. Samujło, B., Sikora, J.W.: *The impact of selected granulometric properties of poly(vinyl chloride) on the effectiveness of the extrusion process*. *Journal of Polymer Engineering* 2013, 33, 1, 77-85.
6. Antunes M., Velasco, J.I., Realinho V., Solórzano E.: *Study of the cellular structure heterogeneity and anisotropy of polypropylene and polypropylene nanocomposite foams*. *Polymer Engineering & Science* 2009, 49, 2400 – 2413.
7. Samujło B., Sikora J.W., Kowalska B.: *Otrzymywanie wytworów z polistyrenu porowatego integralnie*. *Przetwórstwo Tworzyw* 2005, 11, 6, 179-182.
8. Tor-Świątek A., Samujło B.: *Use of thermovision research to analyze the thermal stability of microcellular extrusion process of poly(vinyl chloride)*. *Maintenance and Reliability* 2013, 15, 58-61.
9. Stasiek A., Łubkowski D., Dzwonkowski J., Szumski Z.: *Badania właściwości wytłaczanego porowatego poli(chlorku winylu)*. *Przetwórstwo Tworzyw* 2005, 11, 5, 144-148.
10. Garbacz T., Dulebova L.: *Porophors during the extrusion process*. *Chemistry and Chemical Technology* 2013, 7, 1, 113-118.
11. Dulebova L., Garbacz T.: *Thermal analyzes of polymer composites*. *Transfer innovacji* 2013, 26, 130-134.