

Kamil ŻELAZEK<sup>1)</sup>, Janusz W. SIKORA<sup>2)</sup>, Ivan GAJDOS<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Inergy Automotive Systems, ul. Budowlana 28, 20-469 Lublin; e-mail: zelazekkamil@gmail.com

<sup>2)</sup> Politechnika Lubelska, Katedra Procesów Polimerowych, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin; e-mail: janusz.sikora@pollub

<sup>3)</sup> Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Technologies and Materials, Kosice, Slovakia; e-mail: ivan.gajdos@tuke.sk

## Właściwości i przetwarzalność kompozytów polipropylenowych a rodzaj i ilość napełniacza. Część I. Charakterystyka badań

**Streszczenie:** Wraz ze wzrostem zastosowań wyrobów z tworzyw polimerowych z różnego rodzaju napełniaczami, poznanie właściwości przetwórczych uzyskanych kompozytów jest niezbędne w celu opracowania efektywnego i wydajnego procesu przetwórstwa, jak i uzyskania wyrobów finalnych o założonej jakości. W niniejszej części publikacji przedstawiono metodykę badań wpływu napełniacza w postaci włókna szklanego, kredy i talku w różnych ilościach masowych na wtryskiwalność oraz właściwości mechaniczne (twardość, udarność, wytrzymałość na rozciąganie) i temperaturę ugięcia pod obciążeniem kompozytu polipropylenowego. Zaprezentowano stanowiska badawcze, opisano tworzywo badane, określono czynniki badanych oraz technikę prowadzenia badań. Otrzymane wyniki badań oraz ich interpretacja zostały opisane w drugiej części publikacji.

PROPERTIES AND PROCESABILITY OF POLYPROPYLENE COMPOSITES VS. THE KIND AND QUANTITY OF FILLER. PART I. CHARACTERISTIC OF THE RESEARCH

**Summary:** With the increase of using polymeric products with various types of fillers, it is necessary to get to know the processing properties of the obtained composites in order to develop a more efficient and effective manufacturing process and obtain a predetermined final product quality. The present part of the publication describes the methodology of the research of the effect of fillers in the form of fiber glass, chalk and talc in various mass quantities on material processability and mechanical properties (hardness, impact, tensile strength) as well as heat deflection temperature of polypropylene composite. The received research results and their interpretation were described in the second part of the publication.

### Wstęp

Składniki dodatkowe dodawane do tworzyw w procesach przetwórstwa można podzielić na dwie grupy: napełniacze oraz środki pomocnicze [1, 2]. Napełniacze to dodatkowe materiały (np. włókno szklane, talk, kreda) wprowadzane w stanie stałym do tworzywa, celowo i w ściśle określonej ilości [3 – 6]. Stosuje się je w celu obniżenia kosztów produkcji oraz poprawy właściwości mechanicznych, cieplnych i innych [3, 7]. Właściwości mecha-

niczne określają zdolność materiału do przeniesienia obciążeń i są określane m.in. poprzez pomiary twardości, udarności oraz np. próby statycznego rozciągania. Właściwości cieplne tworzyw polimerowych to m.in. przewodność cieplna i temperatury znamionowe oraz temperatury użytkowania. Temperatury użytkowania wyznaczane są często metodami doświadczalnymi, polegającymi na pomiarze temperatury, w której pod wpływem danego obciążenia wystąpią założone wcześniej odkształcenia próbki tworzywa [6, 8 – 11].

Twardość tworzyw polimerowych rozumiana jest jako opór stawiany przez tworzywo, podczas pionowego wciskania wgłębnika w jego powierzchnię. Jedną z metod pomiaru twardości jest metoda Shore'a, której wyniki wyrażane są w umownych jednostkach °Sh dla różnych skali twardości. Wynik 0 oznacza największe zagłębienie wgłębnika, a zatem najmniejszą twardość, natomiast 100 oznacza zerowe zagłębienie czyli twardość największą dla danej skali [6, 12].

Poznanie właściwości przetwórczych tworzywa, w tym jego przetwarzalności jest niezbędne w celu uzyskania wyrobów o żądanej, wysokiej jakości. Przetwarzalność określana za pomocą wskaźników przetwarzalności, definiowana jest jako podatność tworzywa na zmiany właściwości, struktury, wymiarów i kształtu podczas przetwórstwa [11, 13 – 15]. Wskaźniki wyznaczane za pomocą specjalnych narzędzi przetwórczych, przy użyciu maszyn przetwórczych, nazywane są bezpośrednimi wskaźnikami przetwarzalności [11]. Metoda gniazda spiralnego jest jedną z metod oznaczania bezpośrednich wskaźników przetwarzalności i polega na otrzymaniu wypraski wtryskowej w kształcie spirali np. Archimedeusza, której długość jest miarą tego wskaźnika. Wypraskę otrzymuje się przy użyciu doświadczalnej formy wtryskowej, w której przekrój poprzeczny kanału ma zazwyczaj kształt półkola o polu przekroju od 5 do 35 mm<sup>2</sup> i długości mogącej wynosić do 2,5 m i więcej [11, 15].

Udarność definiowana jest jako odporność tworzywa na działanie obciążeń zginających działających w bardzo krótkim czasie. Określa się ją jako pracę zużytą do dynamicznego złamania próbki tworzywa, odniesioną do jej początkowego pola przekroju poprzecznego lub odniesioną do grubości próbki. Metoda Charpy'ego określa udarność podpartej na dwóch podporach, poziomo i swobodnie, umieszczonej próbki z karbem lub bez karbu, na skutek uderzenia wahadła swobodnego [2, 6].

Badania wytrzymałościowe, głównie statyczne ściskanie i rozciąganie, przeprowadza

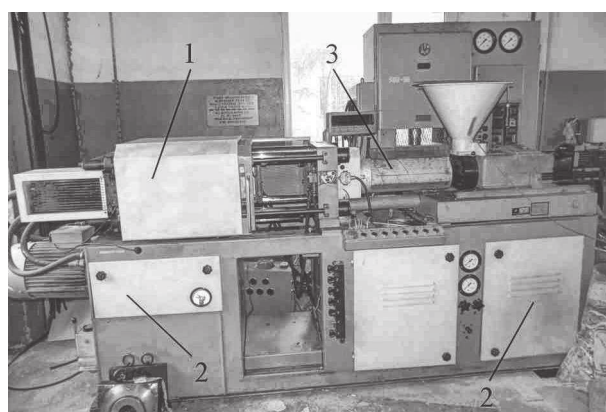
się z użyciem maszyn wytrzymałościowych. Statyczne rozciąganie pozwala na wyznaczenie naprężeń rozciągających przy dowolnym odkształceniu, naprężeń rozciągających przy zerwaniu czy oznaczeniu granicy plastyczności tworzywa. Statyczne rozciąganie pozwala również na wyznaczenie modułu Youngu tworzywa, jako stosunku różnicy wartości naprężenia ( $\sigma_2 - \sigma_1$ ) do odpowiadającej temu różnicy wartości odkształceń ( $\varepsilon_2 - \varepsilon_1$ , gdzie  $\varepsilon_1 = 0,05\%$  i  $\varepsilon_2 = 0,2\%$ ) [2, 5, 6].

Celem przedstawionych w dalszym tekście badań jest określenie metodą gniazda spiralnego wtryskiwalności napelnionych kompozytów polipropylenowych oraz właściwości mechanicznych, jakimi są twardość, udarność i wytrzymałość na rozciąganie, a także temperatury ugięcia pod obciążeniem tych kompozytów w zależności od rodzaju i ilości napelnacza.

## CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

### Stanowisko badawcze

W celu uzyskania niezbędnych do badań wyprasek wtryskowych użyto wtryskarki ślimakowej CS-88/63 (rys. 1), należącej do Kate-



Rys. 1. Wtryskarka ślimakowa CS 88/63: 1 – układ narzędziowy, 2 – układ napędowy, 3 – układ uplastyczniający

Fig. 1. Screw injection moulding machine CS 88/63: 1 – tool system, 2 – power transmission system, 3 – plasticizing system

dry Procesów Polimerowych Politechniki Lubelskiej.

Do najważniejszych parametrów technicznych wtryskarki podanych przez producenta należą: długość części roboczej ślimaka 720 mm, średnica ślimaka 36 mm, długość całkowita ślimaka 880 mm, maksymalna siła zamykania formy 630 kN, maksymalne ciśnienie wtryskiwania 120 MPa, maksymalna wysokość formy 250 mm oraz moc grzejników elektrycznych 3,6 kW. Wtryskarka ma 4 strefy grzewcze rozmieszczone wzdłuż długości układu uplastyczniającego.

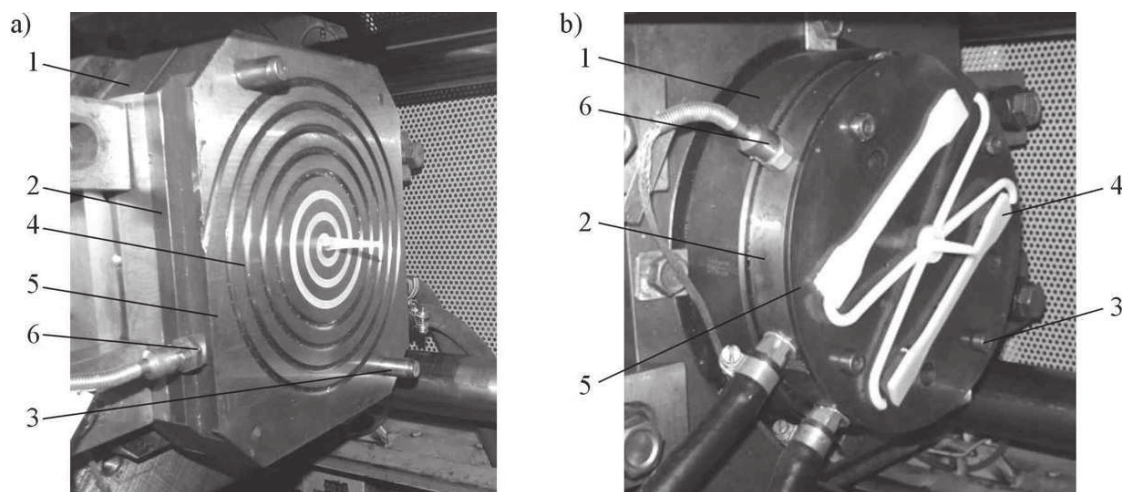
W badaniach wykorzystano dwie formy wtryskowe. Jedną z nich to specjalna forma wtryskowa z gniazdem spiralnym (rys. 2a). Druga forma ma gniazdo formujące o kształcie i wymiarach próbek do badań wytrzymałościowych (rys. 2b). Utrzymanie stałej temperatury formy zapewniało urządzenie termostatuujące, do którego podłączono formę.

Spiralne gniazdo formujące znajdujące się w płycie formującej ma kształt spirali Archimedes. Długość spirali wynosi 2700 mm. Pole przekroju poprzecznego spirali ma kształt półkola i wynosi 18 mm<sup>2</sup>. Układ przepływowy

formy składa się z kanału wlewowego, centralnego stożkowego i kanału doprowadzającego. Kanał wlewowy, centralny, stożkowy o długości 40 mm, średnicy minimalnej stożka 3,80 mm i średnicy maksymalnej stożka 9,30 mm jest współosiowy z dyszą wtryskarki. Kanał doprowadzający spełnia funkcję gniazda formującego. Na całej długości kanału spiralnego, w stałym odstępnie 10 mm od siebie, wykonane są znaki punktowe ułatwiające odczyt długości otrzymanej wypraski. Długość ta jest miarą zdolności tworzywa do przepływu i wypełnienia formy [13].

Wymiary gniazd formujących dla próbek do pomiarów wytrzymałościowych wynoszą: długość 150 mm, szerokość od 10 do 20 mm, głębokość 4 mm. W części ruchomej formy, bezpośrednio w gnieździe są umiejscowione wypychacze. Są to wypychacze trzpieniowe o działaniu punktowym i średnicy 6 mm.

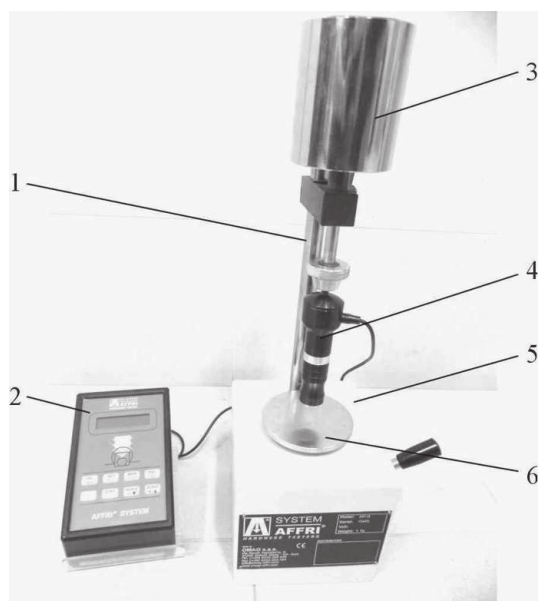
Do przeprowadzenia pomiaru twardości wykorzystano metodę Shore'a. Użyto twardościomierza typu D, przeznaczonego do materiałów twardych, zamocowanego na statywie (rys. 3). Twardościomierz obciążono odważnikiem o masie 5 kg, współosiowo w stosunku



Rys. 2. Wygląd podzespołu ruchomej formy wtryskowej z widoczną wypraską: a) z gniazdem spiralnym, b) z gniazdem do otrzymywania próbek do pomiarów wytrzymałościowych; 1 – płyta mocująca, 2 – płyta główna, 3 – przewodnice słupowe, 4 – gniazdo formujące, 5 – płyta formująca, 6 – czujnik temperatury

Fig. 2. Appearance of the movable injection mold component with a visible molding part: a) with a spiral nest, b) with a nest to receive samples of strength; 1 – mounting plate, 2 – main plate, 3 – guides, 4 – cavity, 5 – forming plate, 6 – temperature sensor





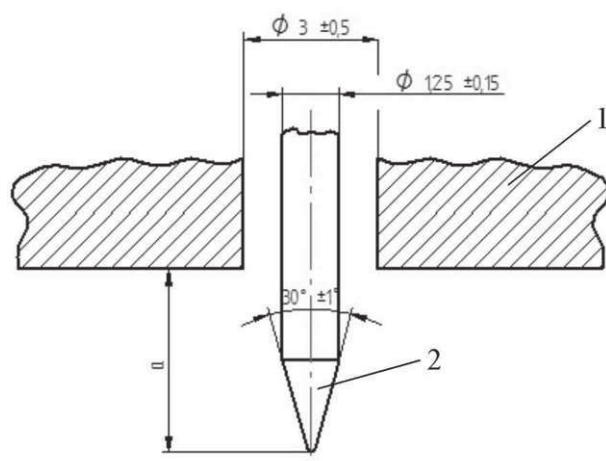
Rys. 3. Stanowisko do pomiaru twardości metodą Shore'a: 1 – statyw, 2 – urządzenie pomiarowe, 3 – odważnik, 4 – głowica pomiarowa Shore'a typu D, 5 – podstawa, 6 – stół pomiarowy

Fig. 3. Station to measure the hardness by Shore method: 1 – tripod, 2 – measuring device, 3 – weight, 4 – measure head type D, 5 – base, 6 – measuring table

do końcówki wgłębnika. Twardościomierz składa się ze stopki dociskowej z otworem o średnicy  $3 \pm 0,5$  mm, umieszczonym w jej środku odległym co najmniej o 6 mm od każdej krawędzi stopki. Wgłębniak wykonany jest ze stalowego, hartowanego pręta o średnicy  $1,25 \pm 0,15$  mm, kącie stożka  $30 \pm 1$  deg i zaokrągleniu wierzchołka stożka o promieniu  $R 0,1 \pm 0,01$  mm (rys. 4). Wyniki wyświetlane są na wyświetlaczu urządzenia pomiarowego podłączonego do twardościomierza.

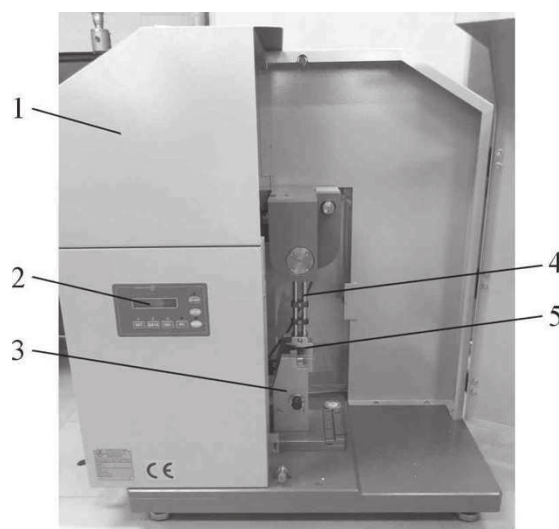
Do pomiarów udarności wykorzystano młot Charpy'ego firmy Comtech Testing Machines CO. LTD przedstawiony na rysunku 5. Głównymi elementami urządzenia są nośniki energii w postaci głowicy udarowej zamontowanej na wahadle oraz uchwyt próbki. Urządzenie wyposażone jest w panel sterujący umożliwiający wprowadzenie danych wejściowych i cyfrowy wyświetlacz.

Do pomiarów wytrzymałości na rozciąganie użyto maszyny wytrzymałościowej firmy



Rys. 4. Schemat wgłębnika twardościomierza Shore'a: 1 – stopka dociskowa, 2 – wgłębniak, a – całkowite wysunięcie  $2,5 \pm 0,04$  mm

Fig. 4. The indenter Shore scheme: 1 – presser foot, 2 – indenter, a – full extension of  $2.5 \pm 0.04$  mm



Rys. 5. Młot Charpy'ego: 1 – obudowa, 2 – panel sterujący, 3 – uchwyt próbki, 4 – wahadło, 5 – głowica udarowa

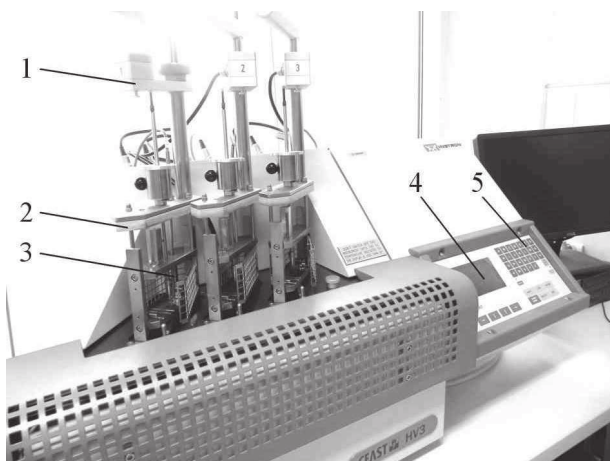
Fig. 5. Impact tester for Charpy: 1 – body, 2 – control panel, 3 – sample holder, 4 – pendulum, 5 – head impact

Zwick Roell Z010 (rys. 6). Urządzenie charakteryzuje się największym obciążeniem testowym wynoszącym 10 kN, przestrzenią pomiarową o wymiarach  $1045 \times 440$  mm, maksymalną prędkością obciążania próbki 2000 mm/min, urządzenie jest wyposażone w uch-



Rys. 6. Fragment maszyny wytrzymałościowej firmy Zwick Roell Z010. 1 – prowadnice, 2 – stół ruchomy, 3 – uchwyt próbki, 4 – stół nieruchomy, 5 – panel sterujący, 6 – stanowisko komputerowe

Fig. 6. A fragment of the testing machine Zwick Roell Z010. 1 – guides, 2 – moving table, 3 – sample holder, 4 – fixed table, 5 – control panel, 6 – computer



Rys. 7. Urządzenie Ceast HV3 firmy Instron do pomiaru temperatury ugięcia (HDT) i mięknięcia (Vicat): 1 – czujnik pomiaru ugięcia, 2 – stacje pomiarowe, 3 – czujnik pomiaru temperatury, 4 – wyświetlacz, 5 – panel sterujący

Fig. 7. HV3 Ceast device made by Instron for measuring heat deflection temperature (HDT) and a softening point (Vicat): 1 – sensor for measuring the deflection, 2 – workstations, 3 – temperature sensor, 4 – display, 5 – control panel

wyty śrubowe do mocowania próbki. Maszyna wytrzymałościowa połączona jest z kompute-

rem klasy PC wyposażonym w oprogramowanie firmy Zwick Roell, gdzie są rejestrowane i przetwarzane wyniki pomiarów.

Do pomiarów temperatury ugięcia pod obciążeniem użyto urządzenia firmy Instron – Ceast HV3 połączonego z komputerem klasy PC (rys. 7). Urządzenie umożliwia badania temperatury HDT oraz wskaźnika Vicat materiałów termoplastycznych. Wyposażone jest w trzy niezależne stacje pomiarowe. Każda ze stacji posiada czujnik temperatury oraz czujnik pomiaru ugięcia próbki. Badane próbki umieszczone w stacjach roboczych zanurzone są w kąpeli oleju silikonowego, którego największą temperaturę ustawiono na 120°C. Parametry przebiegu procesu, jak i wyniki wyświetlane są na wbudowanym wyświetlaczu LCD. Chłodzenie urządzenia przebiega automatycznie po zakończeniu próby, czynnikiem chłodzącym jest woda [16].

## Tworzywo

W badaniach użyto kompozytu na osnowie polipropylenu z dodatkiem trzech rodzajów napełniacza: kredy, talku i włókna szklanego o różnej zawartości masowej zmieniającej się w granicach od 10 do 50%, co 10%.

Bazę tworzywową stanowił homopolimer polipropylenu o nazwie handlowej Reslen PPH. Tworzywo to, według producenta, ma gęstość 910 kg/m<sup>3</sup>, temperaturę topnienia ok. 160 °C oraz najwyższą dopuszczalną temperaturę użytkowania 100 °C. Temperatura przetworstwa zawiera się w granicach 200 ÷ 270 °C, zaś zalecana temperatura formy wynosi 40 ÷ 80 °C [17, 18].

## Czynniki badane

Na potrzeby badań opracowano zbiór ważniejszych czynników badawczych charakteryzujących badany proces wtryskiwania, a mianowicie zestawienie czynników badanych bezpośrednio, badanych pośrednio, czynników zmiennych, stałych i zakłócających. Czynniki opracowano mając na uwadze cel badań oraz

ogólne zasady metodyczne prowadzenia badań doświadczalnych.

Za czynniki badane bezpośrednio przyjęto:

- długość wypraski spiralnej  $L$ , mm,
- twardość  $H$ , °ShD,
- udarność  $a$ , kJ/m<sup>2</sup>,
- wytrzymałość na rozciąganie  $\sigma_m$ , MPa,
- naprężenie przy zerwaniu  $\sigma_b$ , MPa,
- odkształcenie przy zerwaniu  $\varepsilon_m$ , %,
- temperatura ugięcia HDT, °C.

Czynnikiem badanym pośrednio był stopień wypełnienia gniazda formującego  $S_g$ , %, określane ze wzoru

$$S_g = \frac{L_g - L}{L_g} \cdot 100\%$$

w którym:  $L_g$  oznacza całkowitą długość gniazda spiralnego w mm, zaś  $L$  – długości wypraski spiralnej, mm

Czynnikami zmiennymi były:

- zawartość napełniacza (udział masowy), ujęta w tabeli 1,
- rodzaj napełniacza: talk, kreda, krótkie włókno szklane.

**Tabela 1. Zestawienie napełniaczy użytych w badaniach**

**Table 1. Summary of fillers used in the research**

Badane tworzywo	Rodzaj napełniacza		
	Talk [%]	Kreda [%]	Włókno szklane [%]
Reslen PPH	10T	10K	10GF
	20T	20K	20GF
	30T	30K	30GF
	40T	40K	40GF
	50T	50K	50GF

Czynniki stałe to:

- rodzaj tworzywa bazowego: polipropylen o nazwie handlowej Reslen PPH,
- temperatura w poszczególnych strefach grzewczych układu uplastyczniającego (poczynając od zasypu 190 °C, 210 °C, 230 °C oraz 240 °C,
- temperatura formy  $t_f = 60$  °C,
- elementy geometryczne ślimaka, cylindra, dyszy, formy wtryskowej,

- ciśnienie wtryskiwania w układzie hydraulicznym wtryskarki  $p_w = 10$  MPa,
- czas wtrysku tworzywa  $T_w = 5$  s,
- czas chłodzenia wypraski  $T_{ch} = 10$  s.

Czynnikami zakłócającymi były:

- wahania napięcia międzyfazowego prądu elektrycznego: od 400 do 480 V,
- wilgotność względna powietrza: od 45 do 55 %,
- temperatura otoczenia: od 21 do 25 °C.

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

### Technika prowadzenia badań

Niezbędne do analiz wypraski spiralne, jak i wypraski do badań wytrzymałościowych uzyskano przy ustalonych wcześniej wartościach czynników stałych i zmiennych procesu wtryskiwania. Jako pierwsze wykonano wypraski spiralne z dodatkiem włókna szklanego. Założono, iż tworzywo będzie wsypywane do zasobnika rozpoczynając od najmniejszej wartości masowej napełniacza, czyli od 10% jego udziału masowego. W celu uzyskania miarodajnych wyników, próbki właściwe wykonywano dopiero po ustabilizowaniu się cieplnym wtryskarki i wykonaniu kilkukrotnych wtrysków próbnymi. Dla każdej wartości masowej udziału napełniacza, wykonywano pięć próbek i obliczono średnią arytmetyczną ich długości. Otrzymane wartości naniesiono na wykresy, otrzymując zależności długości uzyskanej wypraski spiralnej od rodzaju i ilości masowej napełniacza. Po zmianie formy, analogicznie jak powyżej, wtryskiwano próbki do badań wytrzymałościowych. Próbki te posłużyły jako materiał do badań twardości, udarności, statycznego rozciągania oraz temperatury ugięcia pod obciążeniem.

Pomiaru twardości przeprowadzono metodą Shore'a za pomocą twardościomierza typu D w temperaturze otoczenia 23 °C. Próbki kondycjonowano w powyższej temperaturze przez 24h. Do badań wybrano 6 próbek dla każdej wartości napełniacza, dla każdej próbki wykonano 2 pomiary twardości. Łącznie dla



każdej wartości napełniacza wykonano 12 pomiarów twardości z których wyliczono średnią arytmetyczną, jak i odchylenie standardowe. Wyniki zestawiono na wykresach. Przygotowanie próbek i wykonanie pomiarów przeprowadzono zgodnie z normą EN ISO 868:2003.

Próbki i pomiary udarności wykonano wg normy PN-EN ISO 179-1 oraz PN-EN ISO 179-2. Próbki w postaci belek bez karbu mierzone suwmiarką z dokładnością  $\pm 0,01$  mm. Próbki układano poziomo na podporach uchwytu a następnie uderzano w nie głowicą udarową prostopadle w środku, pomiędzy podporami, nominalnie stałą prędkością. Wykonano pięć pomiarów udarności dla każdej wartości masowej napełniacza. Z uzyskanych wyników obliczono średnią arytmetyczną i przedstawiono na wykresie.

Uniwersalne wypraski typu A1 zostały użyte do przeprowadzenia badań wytrzymałościowych zgodnie z normą PN-EN ISO 527-1 oraz PN-EN ISO 527-2. Próbki kondycjonowano w temperaturze pokojowej przez 24h. Niezbędne wymiary tj. grubość i szerokość próbki mierzone suwmiarką z dokładnością  $\pm 0,01$  mm. Odległość pomiędzy uchwytami maszyny wytrzymałościowej przy pozycji startowej wynosiła 110 mm, siła wstępna 0,1 MPa.

Próbki i pomiaru temperatury ugięcia pod obciążeniem wykonano wg norm PN-EN ISO 75-1 i PN-EN ISO 75-2. Próbki o wymiarach 80×10×4 mm przed umieszczeniem w stacjach pomiarowych mierzone suwmiarką z dokładnością  $\pm 0,01$  mm. Otrzymane wartości wprowadzono do programu komputerowego otrzymując obciążenie dedykowane dla danej próbki. Obciążenie to wywołuje stałe naprężenie zginające określone przez normę 1,80 MPa. Po umieszczeniu próbek w stacjach pomiarowych, zanurzano je w kąpeli olejowej, po czym kalibrowano czujniki pomiaru ugięcia. Temperatura rozpoczęcia pomiarów wynosiła 27 °C, najwyższą temperaturę jaką mógł osiągnąć olej ustawiono na 120 °C. Zgodnie z normą temperatura ugięcia pod obciążeniem jest to temperatura przy której pod wpływem stałego naprężenia zginającego próbka ugnie się o

wyznaczoną przez normę wartość tj. o 0,32 mm. Przyrost temperatury podczas pomiarów określono na 120 °C/h. Dla każdej wartości masowej napełniacza wybrano po 3 próbki do pomiarów. Z uzyskanych wyników obliczono średnią arytmetyczną, którą uznano za temperaturę ugięcia pod obciążeniem dla próbek z danym rodzajem i ilością masową napełniacza.

*Praca była finansowana i została wykonana w ramach międzynarodowego projektu pt.: "Technological and design aspects of extrusion and injection molding of thermoplastic polymer composites and nanocomposites" realizowanego w ramach FP7 Marie Curie Actions, PEOPLE, International Research Staff Exchange Scheme (IRSES), umowa PIRSES-GA-2010-269177.*

## Literatura

1. Leda. H.: Szklane czy węglowe włókna w kompozytach polimerowych. *Kompozyty*, 2003, 3, 209-215.
2. Sikora R.: *Tworzywa wielkocząsteczkowe. Rodzaje, właściwości i struktura*. Wydawnictwa Uczelniane, Lublin, 1991, 303-305.
3. Bortel K.: *Środki pomocnicze stosowane w przetwórstwie tworzyw polimerowych. Cz. 1, Przetwórstwo tworzyw*, 2008, 5, 133-137.
4. Bortel K.: *Środki pomocnicze stosowane w przetwórstwie tworzyw polimerowych. Cz. 2, Przetwórstwo tworzyw*, 2008, 6, 118-153.
5. Mayer P., Kaczmar W.: *Właściwości i zastosowania włókien węglowych i szklanych*. *Tworzywa Sztuczne i Chemia*, 2008, 6, 52-56.
6. Praca zbiorowa pod redakcją Sikory R.: *Przetwórstwo tworzyw polimerowych*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin, 2006, 28-29, 164-165, 531-532.
7. Gnatowski A.: *Wpływ rodzaju napełniacza na właściwości wybranych mieszanin polimerowych*, *Kompozyty Composites*, 2005, 5, 2, 63-68.
8. Chmielnicki B.: *Właściwości tribologiczne poliamidu z napełniaczem metalicznym i grafitem*. *Przetwórstwo tworzyw*, 2011, 2, 57-62.
9. Greškovič F., Dulebová L., Duleba B.: *Study of properties of composites based on polyolefin and mineral*

- additives*. 4th International Technical Conference "Technological forum". 25.06 – 27.6.2013 Kouty, Czech Republic, 93 – 97.
10. Sikora J., Duleba B., Dulebova L., Greškovič F.: *Influence of mineral additives on selected properties of PP*. Scientific Conference „Konštrukčné Materiály”, Žilina, 2013, 1-4.
  11. Sikora R.: *Podstawy przetwórstwa tworzyw wielkocząsteczkowych*. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin, 1992, 345-473.
  12. Norma PN-EN ISO 868:2003 *Tworzywa sztuczne i ebonit – Oznaczanie twardości metodą wciskania z zastosowaniem twardościomierza (twardość metodą Shore'a)*.
  13. Garbacz T., Sikora J. W.: *Przetwórstwo tworzyw polymerowych. Ćwiczenia laboratoryjne. Część 1*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin, 2012, 133-135, 141-143.
  14. Krzyżak A., Bondyra R., Dulebova L., Moravsky V.: *Wskaźnik szybkości płynięcia kompozytów na podstawie polipropylenowej z dodatkiem ciętego włókna szklanego oraz talku*. Postępy Nauki i Techniki, 2012, 13, 78-85.
  15. Krzyżak A., Sikora J.: *Plastometryczne wskaźniki przetwarzalności tworzyw fenolowo-formaldehydowych*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin, 2010, 12, 48-50.
  16. [www.instron.pl](http://www.instron.pl)
  17. [www.basellorlen.pl](http://www.basellorlen.pl)
  18. [www.polymarky.com.pl](http://www.polymarky.com.pl)