

Aneta Krzyżak<sup>1)</sup>, Ruta Bondyra<sup>2)</sup>,  
Ludmila Dulebova<sup>3)</sup>, Volodimir Moravsky<sup>4)</sup>

## WSKAŹNIK SZYBKOŚCI PŁYNIĘCIA KOMPOZYTÓW NA OSNOWIE POLIPROPYLENOWEJ Z DODATKIEM CIĘTEGO WŁÓKNA SZKLANEGO ORAZ TALKU

**Streszczenie.** Wskaźnik szybkości płynięcia (MFI) jest istotnym elementem składowym ogółu informacji odnośnie tworzyw polimerowych wskazujących metodę przetwórstwa. Stanowi on też pewną wskazówkę przy doborze parametrów technologicznych w tym procesie. Wartość MFI jest podawana przez wszystkich producentów granulatów tworzyw termoplastycznych z przeznaczeniem do produkcji wszelkich przedmiotów wprowadzanych na rynek do sprzedaży i jest jednym z kluczowych wskaźników klasyfikujących tworzywa termoplastyczne. W pracy zaprezentowano wyniki badań wskaźnika szybkości płynięcia, jako szczególnej właściwości fizykochemicznej tworzyw termoplastycznych, dla kompozytów termoplastycznych na bazie polipropylenu połączonego z ciętym włóknem szklanym oraz talkiem w różnych ilościowo proporcjach.

**Słowa kluczowe:** wskaźnik szybkości płynięcia, kompozyty termoplastyczne, polipropylen.

### WPROWADZENIE

W celu poznania właściwości przetwórczych tworzyw należy poznać cechy kształtujące ich podatność na fizykochemiczne zmiany struktury i właściwości zachodzące podczas procesu przetwórstwa. W ten sposób zdefiniowana przetwarzalność ma ogromne znaczenie praktyczne, i jej znajomość jest wykorzystywana przy prowadzeniu procesów przetwórczych tworzyw polimerowych.

Przetwarzalność charakteryzowana jest przy pomocy wskaźników, czyli pewnych właściwości wyznaczonych w określonych warunkach. Znajomość tych wskaźników pozwala na otrzymanie pełnego obrazu na temat przetwarzalności danego tworzywa. Przy czym nieuzasadnione jest wszystkich znanych wskaźników. Uzyskanie prawidłowego i rzetelnego obrazu o właściwościach przetwórczych tworzywa, może być wystarczające przy posługiwaniu się kilkoma, tymi które mają największe znaczenie, w danej sytuacji, na przebieg procesu oraz zamierzoną ja-

---

<sup>1)</sup> Katedra Procesów Polimerowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska, e-mail: a.krzyzak@pollub.pl

<sup>2)</sup> IZOLJAN – Ruta Bondyra, Paary 91, 22-672 Susiec.

<sup>3)</sup> Uniwersytet Techniczny w Koszycach, Wydział Mechaniczny, Katedra Technologii Materiałów, Slovakia

<sup>4)</sup> Uniwersytet Narodowy Politechnika Lwowska, Instytut Chemii i Technologii Chemicznych, Katedra chemicznej technologii polimerów, Ukraina.

kość procesu i produktu. Wskaźnikami przetwarzalności mogą być: gęstość zmieniająca wraz z wartością temperatury, lepkość, prędkość ścinania i naprężenia ścinające podczas przepływu, wskaźniki technologiczne takie jak: plastyczność prasownicza, plastyczność przy ściskaniu, natężenie przepływu, lepkość oraz wskaźnik szybkości płynięcia [7]. Właściwości fizykochemiczne i technologiczne w przetwórstwie są umownie nazywane użytkowymi [5, 7, 8].

Wskaźnik szybkości płynięcia jest wielkością łączącą w sobie ogólną charakterystykę właściwości chemicznych oraz fizycznych danego tworzywa [6, 9]. Mała wartość wskaźnika szybkości płynięcia świadczy o małej lepkości tworzywa w określonych warunkach, co z kolei może być spowodowane mocno rozgałęzioną budową makrocząsteczek [2]. Ponadto wartość MFI w połączeniu z informacjami o temperaturze i wielkości obciążenia, w jakiej wyznaczono MFI daje nam obraz podatności tworzywa na zmiany w jego postaci pod wpływem oddziaływania sił zewnętrznych oraz podwyższonej temperatury. Jest to szczególnie ważne w przypadku tworzyw napęcznionych. Stosuje się w nich materiały ziarniste, które same w sobie mogą się aglomerować, co powoduje zaburzenia w ich przemieszczaniu się [1]. W tego powodu dodatki wzmocnienia o małych wymiarach i różnorodnym kształcie wprowadzone do tworzywa mogą ułatwiać, bądź utrudniać przepływ kompozytu przez kanały o małych przekrojach poprzecznych [3, 10], co jest niezwykle istotne w najczęściej stosowanym procesie przetwórstwa przy tego typu materiałach, z uwagi na złożony przepływ przez układ uplastyczniający wtryskarki oraz kanały doprowadzające w formie wtryskowej [4].

## EKSPERYMENT

Celem badań doświadczalnego wyznaczenia wartości masowego wskaźnika szybkości płynięcia polipropylenu modyfikowanego, z dodatkiem włókna szklanego oraz talku, było zbadanie wpływu dodatku modyfikatora na MFI w zależności od jego procentowej wielkości. Ponadto badania pozwoliły na wyznaczenie wpływu obciążenia na szybkość płynięcia badanego tworzywa.

Badania doświadczalne przeprowadzono na plastometrze obciążnikowym ściśle z normą EN ISO 113:2005. Badania można prowadzić przy zmiennych warunkach uplastyczniania tworzywa. Możliwa jest zmiana wartości temperatury w zakresie od temperatury pokojowej do temperatury 400°C z dokładnością do 0,1°C, zmiana długości dyszy przepływowej w wartościach od 8 do 18 mm co 2 mm, jak również możliwa jest zmiana obciążenia w wartościach od 1,2 kg, do 5,0 kg.

Plastometr zbudowany jest z ogrzewanego cylindra umieszczonego w obudowie z izolacją, tłoka z uchwytem ciężarków oraz podstawy z kolumną, do której zamocowana jest obudowa z cylindrem oraz uchwyt do mocowania obciążenia. W dolnej części cylindra znajduje się wymienna dysza, przez którą pod wpływem ciężaru ob-

ciążenia przepływa rozgrzane tworzywo. Dysza przytrzymywana jest przy pomocy zamka zamocowanego w dolnej części obudowy. Ogrzewanie cylindra plastometru realizowane jest przy pomocy grzejnika oporowego umieszczonego w miedzianej obudowie wokół cylindra.

Do badań użyto kompozyt na osnowie termoplastycznej z polipropylenu z dodatkiem ciętego włókna szklanego oraz talku w postaci proszku. Zawartość włókna szklanego wynosiła od 15 do 30% natomiast talku od 10 do 20%. Tworzywo w postaci granulatu udostępnił do badań producent tego tworzywa, firma Polimarky w Rzeszowie. Bazą do mieszanin z włóknem szklanym użytych w badaniach jest homopolimer polipropylenu o nazwie handlowej Reslen PPH. Gęstość wszystkich użytych w badaniach tworzyw zmienia się w granicach od 1000 do 1120 kg/m<sup>3</sup>. Granulaty przeznaczone są do wtryskiwania.

Czynnikami badawczymi zmiennymi były:

- rodzaj i ilość wzmocnienia: talk 10%, 15%, 20% oraz cięte włókno szklane 15%, 25% oraz 30%;
- masa obciążenia: 1,2 kg, 2,16 kg, 3,8 kg, 5,0 kg;
- temperatura cylindra: 190°C, 230°C;

Pomiar wskaźnika szybkości płynięcia polega wyciskaniu przez dyszę tworzywa uplastycznionego w rozgrzanym do żądanej temperatury cylindrze. Przepływ tworzywa jest wymuszany ciśnieniem wywołanym przez założenie odpowiedniego obciążenia na tłok umieszczony w cylindrze plastometru. Z wypływającego tworzywa pobierane są próbki w ustalonym odstępie czasu. Do dalszych obliczeń wybiera się próbki czyste, bez pęcherzyków powietrza, a następnie wyznacza średnią masę próbek pobranych w danym pomiarze. Na podstawie otrzymanych wyników wyznaczono wskaźnik szybkości płynięcia zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie według następującego wzoru:

$$\text{MFR}_{(Q, m \text{ nom})} = 600 \text{ m/t}$$

gdzie:

$Q$  – temperatura oznaczenia [°C],

$m \text{ nom}$  – nominalne obciążenie [kg],

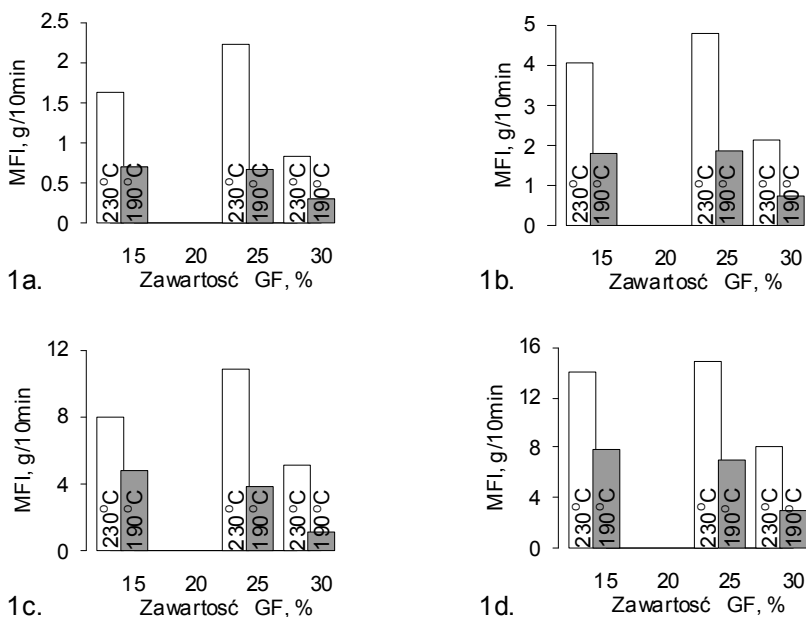
$m$  – średnia masa wytłoczonych odcinków tworzywa [g],

$t$  – odstęp czasu odcinania [s].

## WYNIKI BADAŃ

Przedstawione w pracy wyniki badań są zestawieniem danych wybranych z całości pomiarów i są wartościami średnimi wyznaczonymi na podstawie wielokrotnych powtórzeń pomiarów prowadzonych w tych samych warunkach. Na rysunku 1 zostały zaprezentowane zależności wskaźnika szybkości płynięcia od zawartości włókna

szklanego z badań wykonanych przy dwóch różnych wartościach temperatury cylindra plastomeru. Natomiast na rysunku 2 wyniki dla polipropylenu z dodatkiem talku.



**Rys. 1.** Zależność wskaźnika szybkości płynięcia MFI od zawartości włókna szklanego GF przy różnych wartościach temperatury cylindra plastomeru oraz obciążenia: 1a – 1,2 kg; 1b – 2,16 kg; 1c – 3,8 kg; 1d – 5,0 kg

**Fig. 1.** Change of melt flow index MFI as a function of amount of glass fiber GF in the different temperature of plastometers pressure hole and load: 1a – 1.2 kg; 1b – 2.16 kg; 1c – 3.8 kg; 1d – 5.0 kg

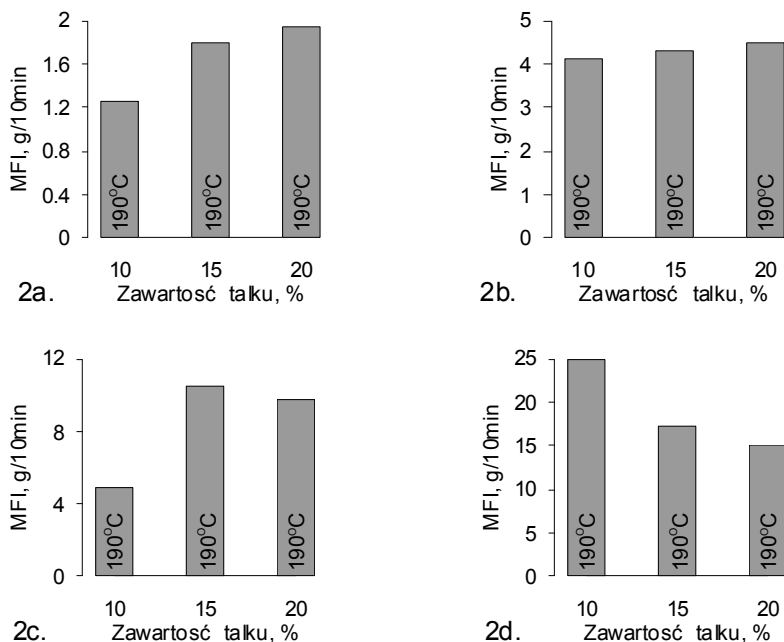
Wyniki pomiarów wskazują, że zarówno w temperaturze 190°C, jak również 230°C masa próbki maleje wraz ze wzrostem zawartości włókna szklanego w polipropyle, podobnie jest w temperaturze 190°C dla PP z dodatkiem talku.

Na wykresach można zauważyć interesującą prawidłowość. Dla polipropylenu modyfikowanego włóknem szklanym napełnionego w ilości 15% i 25%, zarówno w temperaturze 190°C, jak i przy 230°C, wartości wskaźnika szybkości płynięcia są znaczące, natomiast w przypadku 30% zawartości tego modyfikatora – wskaźniki są prawie dwukrotnie mniejsze (rys. 1). Wskaźnik szybkości płynięcia ma najwyższe wartości dla polipropylenu z 25% dodatkiem włókna szklanego przy obu wartościach temperatury. Zwiększenie zawartości włókna szklanego do 30% spowodowało znaczny spadek wartości wskaźnika szybkości płynięcia, przy każdym obciążeniu. Podobną zależność zaobserwowano także przy dodatku talku (rys. 2).

Ponadto zauważalne jest, że MFI dla PP z dodatkiem GF przy temperaturze 190°C maleje wraz ze wzrostem zawartości włókna szklanego w tworzywie, nato-

miast przy temperaturze 230°C jest najpierw wzrost a następnie po przekroczeniu 25% zawartości włókna, znaczący spadek w wartości wskaźnika szybkości płynięcia (rys. 1). Taka zależność może być spowodowana oscylowaniem wokół stężenia krytycznego wzmocnienia w tworzywie. Przy czym to stwierdzenie można przyjąć za zasadne tylko w odniesieniu do MFI, ponieważ inne badania (nie wykazane w niniejszym artykule) wskazują, że występuje ciągły wzrost właściwości mechanicznych.

Z kolei na rysunku 2 zauważalny jest wzrost wartości wskaźnika wraz ze wzrostem zawartości talku: znaczący przy obciążeniu 1,2 kg oraz minimalny wzrost na granicy istotności przy obciążeniu 2,16 kg. Natomiast przy obciążeniu 3,8 kg przy zmianie zawartości talku z 10% na 15% występuje dwukrotne zwiększenie MFI, natomiast wzrost zawartości talku o kolejne 5% spowodował niewielki spadek wartości wskaźnika szybkości płynięcia. Przy tym obciążeniu następuje zmiana charakteru zależności MFI od ilości tego napelniacza w polipropylenie, ponieważ przy obciążeniu 5,0 kg widoczna jest znacząca tendencja spadkowa. Zatem o ile przy niewielkim ciśnieniu polipropylen z talkiem wraz ze zwiększaniem jego zawartości powoduje lepszy przepływ kompozytu przez kanały przepływowe, o tyle przy dużym ciśnieniu powoduje jego hamowanie. Przy czym porównując same wartości

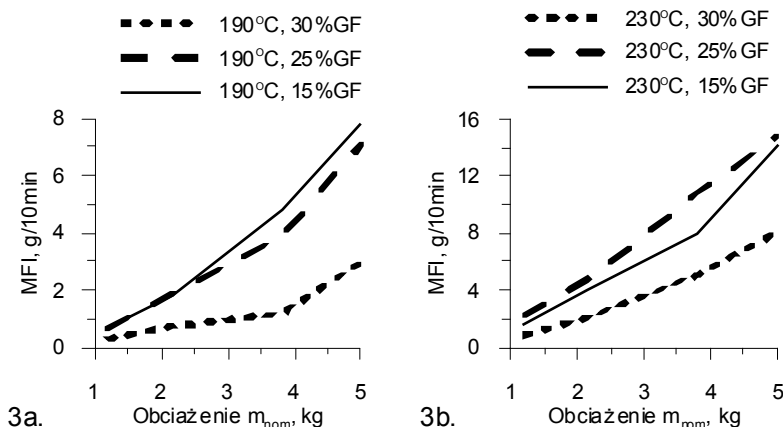


**Rys. 2.** Zależność wskaźnika szybkości płynięcia MFI od zawartości talku T przy różnych wartościach obciążenia: 1a – 1,2 kg; 1b – 2,16 kg; 1c – 3,8 kg; 1d – 5,0 kg

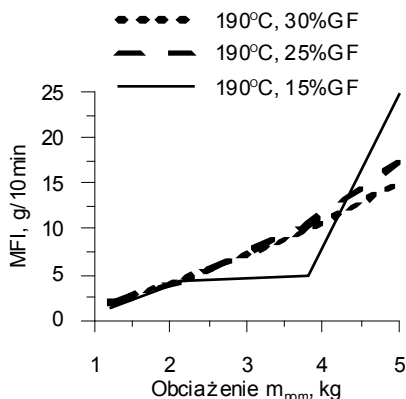
**Fig. 2.** Change of melt flow index MFI as a function of amount of talc T in the load: 1a – 1.2 kg; 1b – 2.16 kg; 1c – 3.8 kg; 1d – 5.0 kg

MFI przy obciążeniu 5,0 kg są zdecydowanie najwyższe, nie mniej jednak spadek w tych wartościach może być spowodowany zwiększonymi siłami tarcia kompozytu o ścianki kanału przepływowego dyszy plastomeru.

Na rysunku 3 oraz 4 przedstawiono zależność MFI od wartości obciążenia podczas pomiaru. W każdym przypadku zależności zbliżone są do liniowych. Jednak niewielkie przełamania tych zależności w kierunku niższych wartości, przy obciążeniu 3,8 kg, powoduje, że nie ma prostej proporcjonalnej zależności.



**Rys. 3.** Zależność wskaźnika szybkości płynięcia MFI od obciążenia  $m_{nom}$  przy różnej zawartości włókna szklanego GF oraz różnej wartości temperatury cylindra plastomeru  
**Fig. 3.** Effect of melt flow index MFI on the load  $m_{nom}$  with different amount of glass fiber GF and different temperature in plastometers pressure load



**Rys. 4.** Zależność wskaźnika szybkości płynięcia MFI od obciążenia  $m_{nom}$  przy różnej zawartości talku T

**Fig. 4.** Effect of melt flow index MFI on the load  $m_{nom}$  with different amount of talc T

## PODSUMOWANIE

W prezentowanych badaniach zauważalny jest brak wyników pomiaru wskaźnika szybkości płynięcia dla polipropylenu z dodatkiem talku w temperaturze 230°C. Odbyły się próby wykonania takich pomiarów, jednakże już przy najmniejszym obciążeniu okazało się, że taka wartość temperatury jest już zbyt wysoka i tworzywo przepływało zbyt szybko, aby było możliwe pobranie wymaganych przez normę odcinków pomiarowych. Przeprowadzono również próby wykonania pomiarów w innych, nieprzewidzianych w normie wartości temperatury cylindra. W mniejszych niż 230°C. Okazało się, że podniesienie wartości temperatury już o 7°C w stosunku do wartości 190°C powodowało bardzo duży przepływ tworzywa, co uniemożliwiało pomiary. Natomiast zmniejszenie temperatury cylindra do wartości 185°C powodowało, że z kolei tworzywo z dodatkiem włókna szklanego nie przepływało przez dyszę z powodu zbyt małego uplastycznienia tworzywa, co dodatkowo było „hamowane” przez obecność stosunkowo długich odcinków włókna szklanego. Z tego powodu zaniechano dalszych badań przy innych wartościach temperatury.

Opisane doświadczenie z uzyskaniem odpowiedniej temperatury pomiaru oraz zaprezentowane wyżej wyniki badań potwierdzają jednoznacznie, że dodanie do polipropylenu talku powoduje, że w takich samych warunkach polipropylen znacznie lepiej przepływa przez dyszę plastomeru, niż polipropylen z zawartością ciętego włókna szklanego. Oznacza to, że podczas procesu wtryskiwania (powszechnie stosowanego do przetwarzania tego rodzaju tworzywa) należy stosować nieco inne wartości parametrów technologicznych przetwórstwa. Być może nie konieczne innych wartości temperatury na układzie uplastyczniającym wtryskarki, ale inną temperaturę formy. Wyższa temperatura formy może spowodować wyciekanie polipropylenu z talkiem przez wszelkie nieszczelności wynikające z konstrukcji formy wtryskowych.

Polipropylen z talkiem można stosować do wytwarzania przedmiotów użytkowych o dużym stopniu skomplikowania kształtu, rozmiarów oraz o stosunkowo długiej drodze przepływu przez cały układ wlewowy doprowadzający tworzywo do najbardziej odległych miejsc gniazda formującego w formie tryskowej.

## LITERATURA

1. Borowski G.: Określenie właściwości fizyczno-mechanicznych materiałów drobnoziarnistych w celu ich zagospodarowania. *Postępy Nauki i Techniki*, 3, 2009: 67–82.
2. Floriańczyk Z., Penczek S. (pod red.): *Chemia polimerów*. T. 2. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
3. Gnatowski A.: Wpływ rodzaju napełniacza na właściwości wybranych mieszanin polimerowych. *Kompozyty Composites*, 5, 2, 2005: 63–68.

4. Klepka T., Zgierski P.: Charakterystyka metod wtryskiwania do zastosowań medycznych. *Postępy Nauki i Techniki*, 8, 2011: 192–200.
5. Krzyżak A., Sikora R.: Wskaźnik szybkości płynięcia – czynniki wpływające na jego zmianę. [W:] J. Koszul (red.) „Materiały polimerowe i ich przetwórstwo”, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2000: 19–26.
6. Liang J. Z.: The elastic behaviour during capillary extrusion of LDPE/LLDPE blend melts. *Polymer Testing*, 21, 2002: 69–74.
7. Sikora R.: Podstawy przetwórstwa tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1992.
8. Sikora R.: Tworzywa wielkocząsteczkowe. Rodzaje, właściwości i struktura. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1991.
9. Wong A. C.-Y., Liang J. Z.: Relationship between die swell ratio and melt flow index. *Chemical Engineering Science*, 52, 18, 1997: 3219–3221.
10. Żuchowska D.: Polimery konstrukcyjne. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995.

## MELT FLOW INDEX OF COMPOSITES BASED ON POLYPROPYLENE WITH SHORT CUT GLASS FIBER AND TALC

### Summary

Melt flow index (MFI) is an important component of the total information indicating right method of polymer processing. It is also a hint in the selection of technological parameters in the process. MFI value is given by all manufactures of thermoplastic granules for the processing of any object placed on the market for dale. This is one of the key indicators for classification of thermoplastic materials. The paper presents results of the melt flow index, as a specific physicochemical properties of thermoplastic. In the paper are the results for thermoplastic composites based on polypropylene with a short cut glass fiber and talc in various amounts.

**Key words:** melt flow index, thermoplastic composites, polypropylene.

Praca jest wynikiem realizacji programu Co-ExIn FP7 – GA 269177 „Technological and design aspects of extrusion and injection moulding of thermoplastic polymer composites and nanocomposites” finansowanego w ramach Marie Curie Actions – International Research Staff Exchange Scheme.