

mgr inż. Sylwester NORWIŃSKI\*, dr hab. inż. Prof. PCz. Przemysław POSTAWA\*,  
mgr inż. Robert SACHAJKO\*\*

\*Politechnika Częstochowska, Zakład Przetwórstwa Polimerów  
Al. Armii Krajowej 19c, 42-200 Częstochowa

e-mail: snorwinski@ipp.pcz.pl

\*\*POLIMARKY Sp. z o. o. Sp. K., ul. Bieszczadzka 10 a, 35-082 Rzeszów

## Analiza zmian właściwości termomechanicznych kompozytów na osnowie polipropylenu

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono wyniki badań dla kompozytów polipropylenu wypełnionych: talkiem, włóknami szklanymi, kulkami szklanymi oraz antypirenem. Przedstawiono sposób przygotowania kompozytów i próbek badawczych. Badania obejmowały termiczną analizę dynamicznych właściwości mechanicznych metodą DMTA. Do badań przygotowano dziesięć kompozytów różniących się objętościową zawartością napętniaczy. Próbki przygotowano z wykorzystaniem metody wtryskiwania. Przeprowadzone badania dynamicznych właściwości mechanicznych pozwoliły na określenie wpływu zawartości napętniacza oraz jego kształtu na właściwości otrzymanych kompozytów.

**Słowa kluczowe:** kompozyty, właściwości mechaniczne i cieplne, polipropylen, talk, włókno szklane, kulki szklane

### ANALYSIS OF CHANGES IN THERMO-MECHANICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE COMPOSITES

**Abstract:** The paper presents the results of composites polypropylene filled of talc, glass fibers, glass beads and flame retardant. Preparation of test sample and research methodology were presented. The study included an analysis of the thermal dynamic mechanical properties using DMTA method. Tests of ten different polypropylene composites were prepared with different volume of fillers. The samples were prepared using the injection molding method. The studies of dynamic mechanical properties made it possible to determine the effect of filler content on the shape and properties of the composites.

**Keywords:** composites, mechanical and thermal properties, polypropylene, talc, glass fibre, glass beads

#### 1. WPROWADZENIE

Materiały polimerowe ze względu na stosunkowo niski koszt wytwarzania oraz dobre właściwości użytkowe w ostatnim stuleciu zdominowały wiele gałęzi przemysłu. Zaletą tworzyw polimerowych jest ich mała gęstość, odporność na korozję oraz łatwość przetwórstwa [1]. Charakteryzują się one również niskimi kosztami przetwórstwa dużych serii gotowych wyrobów w porównaniu do innych grup materiałów oraz możliwością wielokrotnego ich przetwórstwa.

W celu modyfikacji właściwości fizycznych i użytkowych do polimerów bazowych dodaje

się dodatki w celu modyfikacji ich właściwości. W wyniku tego powstają kompozyty polimerowe [2]. Modyfikacji można dokonać na drodze chemicznej, fizycznej lub fizykochemicznej [3].

Stosuje się coraz więcej materiałów modyfikowanych w różnych branżach, natomiast liczba używanych niemodyfikowanych polimerów maleje. Kompozyty wzmacniane włóknem szklanym stosowane są już od 1970 roku [4]. Dotychczasowe badania wykazują, że bezpośredni wpływ na właściwości termomechaniczne kompozytów wzmacnianych włóknem szklanym zależy od tego, czy są to włókna cięte krótkie, długie, czy też ciągłe [5, 6]. Najlepsze właściwości

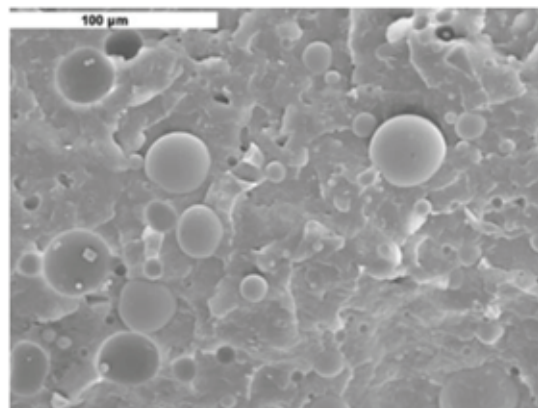
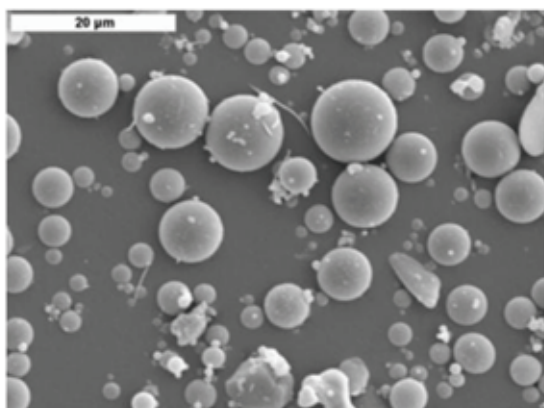
mają kompozyty napełniane włóknami ciągłymi [7–10]. Również dodatek talku do tworzywa wzmacnia jego właściwości mechaniczne [11]. Przemysł chemiczny ściśle współpracuje z firmami zajmującymi się produkcją materiałów stosowanych w różnych branżach np.: budowlanej, samochodowej i innych [12]. W ten sposób wychodzi naprzeciw wciąż rosnącym potrzebom i wymaganiom stawianym w zakresie stosowania tego typu materiałów. Właściwości tworzyw, które decydują o tym czy można zastosować je w różnego rodzaju konstrukcjach to m. in.: wytrzymałość mechaniczna, sztywność, zdolność do pochłaniania energii, cechy izolacyjne, właściwości tribologiczne, a także rozszerzalność termiczna i odporność na podwyższoną temperaturę [13]. Głównym celem modyfikacji może być również polepszenie udarności, zdolności tłumienia drgań mechanicznych, polepszenia odporności chemicznej, właściwości przetwórczych,

stabilności wymiarowej i wiele innych [14–16]. Nie ma możliwości zmodyfikowania materiału polimerowego tak, żeby polepszyć wszystkie jego wcześniej wspomniane właściwości. Należy więc projektować i wytwarzać materiały o właściwościach spełniających wymagania do produkcji wyrobów zgodnie z przewidzianym zastosowaniem.

Celem badań było określenie zmian właściwości termomechanicznych kompozytów polimerowych na osnowie polipropylenu przy zastosowaniu różnych kształtów napełniaczy.

## 2. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Zakres badań obejmował analizę zmian właściwości termomechanicznych dla 10 kompozytów polimerowych na bazie polipropylenu (PP) z różnymi napełniaczami i ich zmienną zawartością. Jako napełniacz w poszczególnych



Rys. 1. Zdjęcie mikroskopowe kulek szklanych oraz kompozytu PP z 10% zawartością kulek [3]

Fig. 1. SEM photo of microscopic glass beads and PP composite with 10% glass balls

seriach zastosowano: biały talk, kulki szklane, krótkie włókno szklane oraz uniepalniacz. Jako materiał bazowy do wykonania kompozytów użyto polipropylen (PP), o nazwie handlowej „Moplen HP500N” firmy „Basell Orlen Polyolefins”, tworzywo z grupy termoplastów o przeznaczeniu technicznym. Badania przeprowadzono na kompozytach, których bazę stanowi wspomniany polipropylen. Tego typu materiały mają zastosowanie w branżach artykułów gospodarstwa domowego motoryzacji

i elektrotechnice [17]. Wytworzone próbki podzielono na 4 serie w zależności od zastosowanego napełniacza.

Pierwszym napełniaczem jaki został zastosowany do wytwarzania kompozytów był biały talk płytkowy o nazwie handlowej Luzenac OXO. Jest używany głównie do uzyskania estetycznej powierzchni oraz do modyfikacji właściwości mechanicznych i przetwórczych (głównie do zmniejszenia anizotropii skurczu wzdłużnego względem poprzecznego).

Kolejnym napełniaczem zastosowanym w badaniach były kulki szklane (pełne GB i puste GBL), które charakteryzują się następującymi właściwościami poprawiającymi proces przetwórstwa i przepływu w masie wtryskiwanego tworzywa: gładka powierzchnia, najmniejszy możliwy stosunek powierzchni do objętości, duża nośność, doskonała forma przepływu, jednolita dyspersja (rys. 1).

Materiały napełnione kulkami szklanymi poprawiają właściwości mechaniczne (twardość powierzchni, wytrzymałość, trwałość, wysoki moduł sprężystości), mają doskonałą odporność chemiczną, małe deformacje oraz poprawiają płynięcie [12]. Główne zalety stosowania napełniaczy kulistych to:

- Poprawa płynięcia – kulki obniżają lepkość, działają jako wewnętrzne miniaturowe łożyska kulowe, które polepszają przepływ [17]. Przy stosowaniu w połączeniu z włóknem szklanym (inny kształt cząsteczek) poprawiają płynność, rozprowadzenie tworzywa w formie, a tym

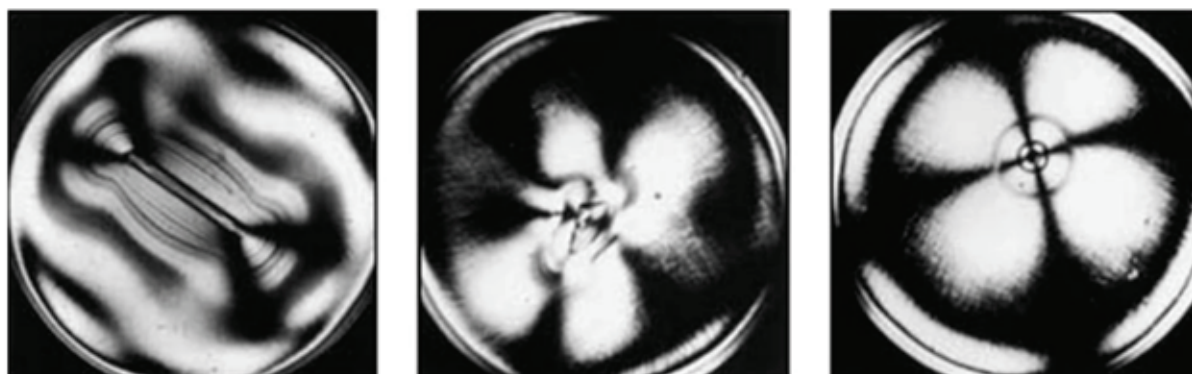
zwiększają żywotność narzędzia i wpływają na wydajność produkcji.

- Mniejsza deformacja wyprasek i skurcz – dzięki kulkom wypraski przenoszą duże obciążenia co znacząco poprawia stabilność wymiarową gotowego wyrobu przez zmniejszenie skurczu i zmniejszenie jego anizotropii w zakresie skurczu wzdłużnego i poprzecznego.

- Właściwości mechaniczne – napełniacze tego typu polepszają właściwości gotowego produktu poprzez zwiększenie modułu sprężystości przy zginaniu, zwiększają twardość powierzchni i poprawiają rozkład naprężeń (rys. 2).

- Stabilność wymiarową, uzyskujemy dzięki rozkładowi naprężeń cząstek o kształcie kulistym. Takie zachowanie jest przedstawione powyżej w trzech przykładach (włókno szklane, cząstki nierównomierne, kulki szklane).

Jako napełniacza użyto kulek szklanych typu A-Glass 3000 o średniej wielkości cząstek pomiędzy 30, a 50  $\mu\text{m}$  o gęstości gęstość 2,5  $\text{g}/\text{cm}^3$ .



Rys. 2. Obrazy elastoptyczne rozkładu naprężeń wokół różnych typów napełniaczy: włókno szklane, cząstki nierównomierne, kulki szklane [17]

Fig. 2. Elasto-optical images of stress distribution around the different types of filler: glass fiber, uneven particles, glass beads

Badaniom zostały poddane również kompozyty polipropylenowe z napełniaczem w postaci krótkiego włókna szklanego. Materiały te oprócz zastosowania w branżach artykułów gospodarstwa domowego motoryzacji i elektrotechnice, stanowią także alternatywę dla PA 6. Materiały zostały napełnione włóknem szklanym EC-S13-4.5-508A, rodzaj szkła E, cięty CS (chopped strand), średnica włókna 13 $\mu\text{m}$ , długość cięcia

4.5 mm. Na rysunku 2 przedstawiono obrazy elastoptyczne rozkładu naprężeń wokół różnych typów napełniaczy: włókno szklane, cząstki nierównomierne, kulki szklane.

Ostatnią grupą kompozytów polimerowych poddanych badaniom były kompozyty na osnowie polipropylenu z antypirenem i talkiem. Do modyfikacji ww. materiałów użyto talku dolomitowego oraz uniepalniacza ADK STAB

FP-2100JC, bezhalogenowego azotowo – fosforowego wykazującego dobrą ognioodporność z zachowaniem właściwości mechanicznych. ADK STAB FP-2100JC wykazuje wysoką stabilność przetwórstwa podczas łączenia z tworzywami termoplastycznymi. W szczególności zalecany jest do stosowania z polipropylenem (homo- i kopolimer) i polietylenem o wysokiej i niskiej gęstości oraz w kopolimerach etylenu i octanu winylu. Temperatura rozkładu termicznego zastosowanego uniepalniacza jest powyżej 300°C, a masę stanowi mieszanina substancji organicznych i nieorganicznych: kwas difosforowy 55%, związki kwasu fosforowego 35% oraz pozostałe wypełniacze 10%.

W wyniku modyfikacji z wykorzystaniem wycłaczarki dwuślimakowej współbieżnej otrzymano następujące kompozyty polimerowe na bazie polipropylenu oraz opisanych powyżej napełniaczy:

1. Bazowy polipropylene PPH – Moplen (PP)
2. PPH z 15% obj. zawartością talku: PPH9 T15,
3. PPH z 20% obj. zawartością talku: PPH9T 20,
4. PPH z 20% obj. zawartością talku dolomito-

- wego oraz 6% zawartością ADK STAB FP-2100JC: PPH9 T20V0,
5. PPH z 30% obj. zawartością talku: PPH9 T 30
6. PPH z 30% obj. zawartością włókna szklanego: PPX12 GF 30
7. PPH z 40% obj. zawartością włókna szklanego: PPX12 GF 40
8. PPH z 30% obj. zawartością kulek szklanych pustych: PPH10 GB30L
9. PPH z 30% obj. zawartością kulek szklanych pełnych: PPH10 GB30
10. PPH z 30 % obj. zawartością ADK STAB FP-2100JC: PPH10 WH HFV0

Kompozyty wytworzono na przemysłowej linii produkcyjnej wyposażoną w wycłaczarkę dwuślimakową współbieżną oraz głowicę do granulowania metodą mokrą. Uzyskane granulaty przed procesem wtryskiwania suszono w temperaturze 65 °C w czasie 2 godzin w suszarce laboratoryjnej Shini CD9 Cabinet. Próbkę badawczą wykonano z wykorzystaniem wtryskarki KraussMaffei KM 65 160C4. Parametry procesu przetwórstwa przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1. Zestawienie parametrów przetwórstwa**

**Table 1. Conditions of sample preparation by injection molding technology**

Parametr przetwórstwa	Wartość parametru	Jednostka
Temperatura wtryskiwania	225	°C
Ciśnienie wtrysku	80	MPa
Temperatura formy	40	°C
Ciśnienie docisku	40	MPa
Prędkość wtryskiwania	0,060	mm/s
Czas fazy wtrysku	0,73	s
Czas docisku	15	s
Czas chłodzenia	15	s

Analizę termiczną dynamicznych właściwości mechanicznych próbek wykonano z wykorzystaniem urządzenia DMA242C firmy Netzsch wyposażonego w uchwyt do trójpunktowego zginania próbek w postaci belki o wymiarach 50x10x4. W trakcie badania próbkę ogrzewano z prędkością 3K/min w zakresie temperatury od -50°C do 140°C. Badanie przeprowadzono dla

częstotliwości 10Hz i wartości amplitudy 120µm. Wyznaczono wartości modułu zachowawczego  $E'$  i tangensa kąta stratności  $tg\delta$  na podstawie wartości siły i odkształcenia przy uwzględnieniu wymiarów poprzecznych próbki. Wyniki badań zilustrowano w postaci wykresu zależności tangensa kąta stratności i modułu zachowawczego od temperatury.

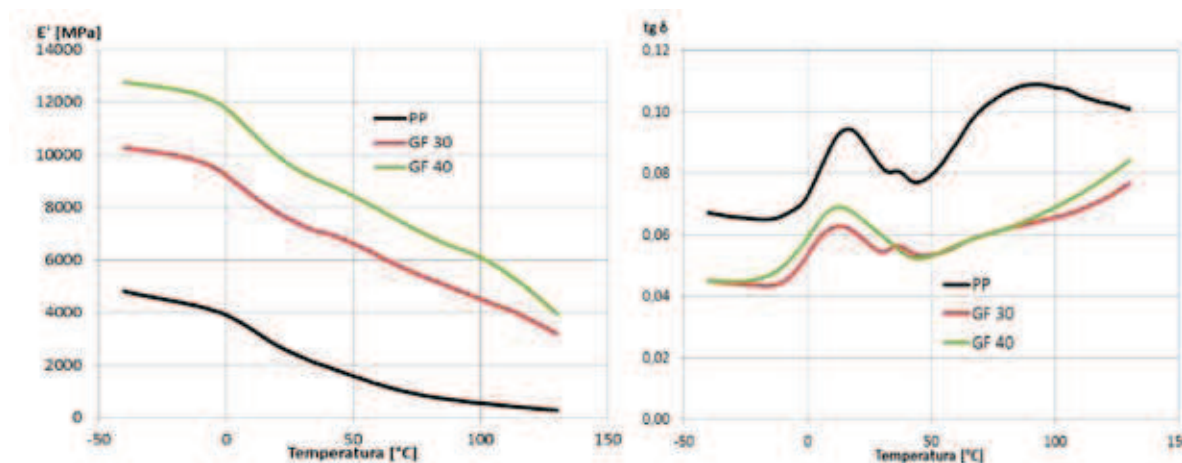


### 3. WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Na rysunkach 3–6 zestawiono zarejestrowane przebiegi zmian wartości modułu zachowawczego  $E'$  oraz współczynnika stratności mechanicznej  $tg\delta$  w zależności od temperatury, przy częstotliwości drgań 10 Hz polipropylenu oraz kompozytów polipropylenu z ww. napełniaczami i uniepalniaczami.

Na rysunku 3 przedstawiono przebieg zmian wartości modułu zachowawczego  $E'$  oraz tangensa kąta stratności mechanicznej  $tg\delta$  w funkcji temperatury dla kompozytów ze zmienną zawartością objętościową napełniacza w postaci włókna szklanego przy częstotliwości drgań 10 Hz. Użycie ww. napełniacza spowodowało znaczny wzrost modułu zachowawczego z 4800 MPa dla bazowego PP, do wartości 10 200 MPa w przypadku kompozytu z 30% zawartością napełniacza i 12 800 MPa w przypadku próbki z 40% zawartością

objętościową włókna szklanego. Charakterystyka przebiegu zmiany modułu zachowawczego dla wszystkich materiałów jest podobna a różnice między nimi są bardzo zbliżone w całym zakresie temperatury. Dodatek włókna szklanego do homopolimeru PP znacznie zwiększył jego odporność temperaturową co widać po wartościach modułu zachowawczego powyżej 100°C. Wartości badanych kompozytów wahają się pomiędzy 4500 a 6000 MPa a bazowego PP poniżej 500 MPa. Analizując przebieg zmian kąta stratności  $tg\delta$ , można zauważyć, że badane próbki ze zmienną zawartością włókna szklanego wykazują przemianę przejścia szklanego w podobnej temperaturze ok. 10–15°C. Różnią się natomiast intensywnością przebiegu. Wartości tangensa kąta stratności  $tg\delta$  w przypadku materiałów z włóknem szklanym przyjmują podobne wartości, a jednocześnie są znacznie niższe w całym zakresie temperatury od wartości dla czystego PP.



Rys. 3 Wykres zmian modułu zachowawczego  $E'$  oraz tangensa kąta stratności  $tg\delta$  w funkcji temperatury polipropylenu (PP), z napełniaczem w postaci włókna szklanego 30% (GF30), 40% (GF40)

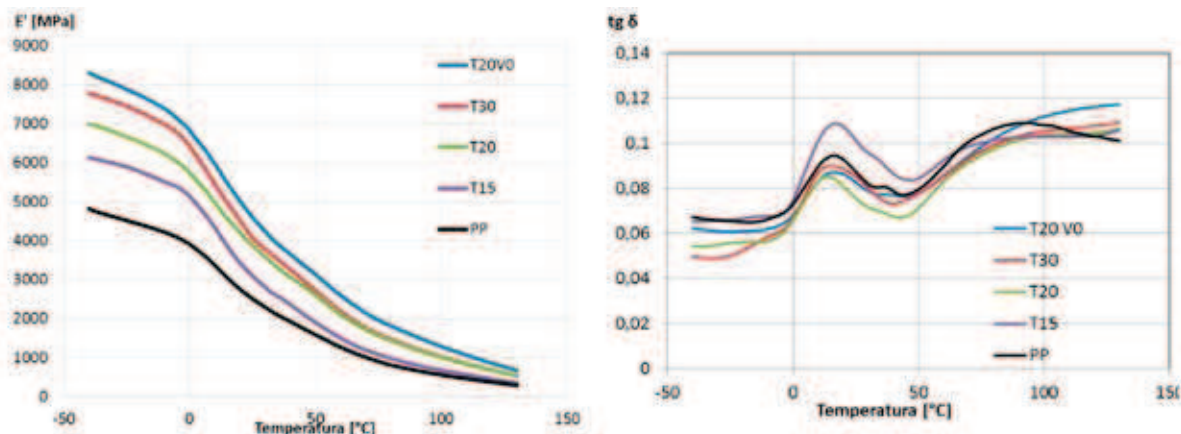
Fig. 3. Changes of storage modulus  $E'$  and the loss factor  $tg\delta$  vs. temperature of polypropylene (PP) filled of fiberglass 30% (GF30), 40% (GF40)

Na rysunku 4 przedstawiono analogicznie przebieg zmian wartości modułu zachowawczego  $E'$  oraz tangensa kąta stratności mechanicznej  $tg\delta$  w funkcji temperatury dla kompozytów ze zmienną zawartością objętościową talku oraz uniepalniacza. Podobnie

jak w przypadku włókna szklanego dodatek talku spowodował wzrost wartości modułu zachowawczego  $E'$ . Widoczna jest stopniowa i bardzo regularna zmiana wartości  $E'$  wraz ze zwiększaniem udziału talku w kompozycie. Jednak zmian ta nie jest tak znacząca jak mia-

ło to miejsce w przypadku włókna szklanego. Dodatek 30% talku spowodował zwiększenie modułu  $E'$  z wartości 4800 MPa do 7800MPa, natomiast w przypadku kompozytu zawierającego 20% talku oraz uniepalniacz wartość

ta wzrosła do ponad 8300MPa. Należy również zauważyć, że w temperaturze  $>120^{\circ}\text{C}$  różnice w wartościach  $E'$  są niewielkie, a w przypadku „PPH9 T15” są prawie równe w porównaniu z materiałem nienapełnionym.

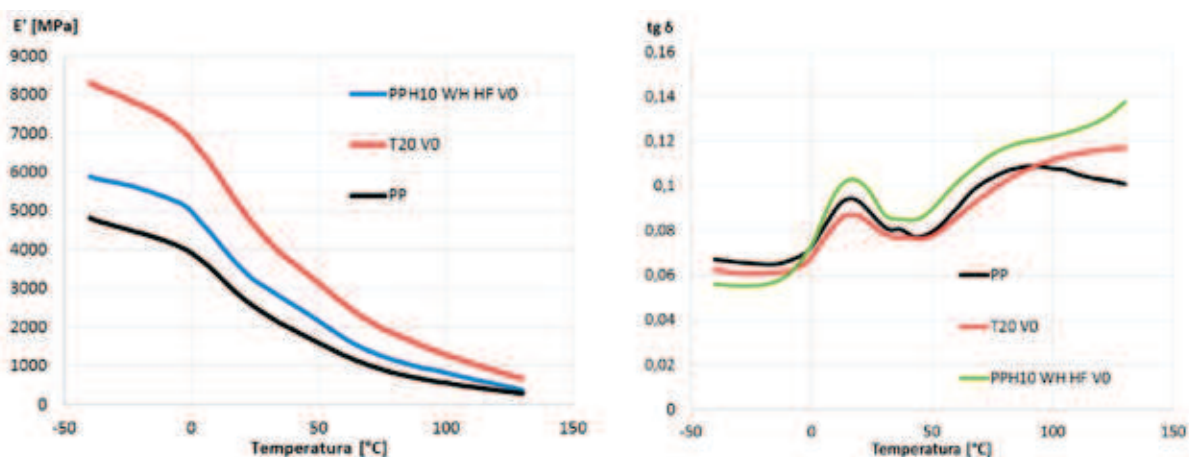


Rys. 4. Wykres zmian modułu zachowawczego  $E'$  oraz tangensa kąta stratności  $\text{tg}\delta$  w funkcji temperatury polipropylenu (PP), z napełniaczem w postaci talku 15% (T15), 20% (T20), 30% (T30) oraz talku 20% z uniepalniaczem (T20 V0).

Fig. 4. Changes of storage modulus  $E'$  and the loss factor  $\text{tg}\delta$  vs. temperature of polypropylene (PP) filled of talc 15% (T15), 20% (T20), 30% (T30) and talc 20% with flame retardant (T20 V0).

W odróżnieniu od dodatku włókna szklanego dodatek talku nie spowodował istotnych zmian tangensa kąta stratności mechanicznej  $\text{tg}\delta$  w funkcji temperatury dla kompozytów napełnionych talkiem. Badane kompozyty ze zmienną zawartością talku wykazują prze-

mianę przejścia szklistego w temperaturze ok.  $15^{\circ}\text{C}$ . Bardzo zbliżona jest również intensywność przebiegu zmian dla wszystkich próbek oprócz próbki z 15% zawartością talku. Z badań wynika że właściwości tłumiące nie są zakłócone przez dodatek talku.



Rys. 6. Wykres zmian modułu zachowawczego  $E'$  oraz tangensa kąta stratności  $\text{tg}\delta$  w funkcji temperatury polipropylenu (PP), z napełniaczem w postaci kulek szklanych pustych 30% (GB30) oraz kulek szklanych pełnych 30% (GB 30L)

Fig. 6. Changes of storage modulus  $E'$  and the loss factor  $\text{tg}\delta$  vs. temperature of polypropylene (PP) filled of glass beads 30% (GB30), 40% (GB30L)

Na rysunku 5 przedstawiono zmiany wartości modułu zachowawczego  $E'$  oraz tangensa kąta stratności mechanicznej  $tg\delta$  w funkcji temperatury dla kompozytu z 20% zawartością talku i 6 % zawartością uniepalniacza ADK STAB FP-2100JC „PPH9 T20 V0”, a także kompozytu z 30% zawartością uniepalniacza ADK STAB FP-2100JC „PPH10 WH HF”. Wartość  $E'$  dla obu kompozytów była wyższa w porównaniu z wyjściowym materiałem (PP) i wyniosła odpowiednio dla: PPH10 WH HF V0 – 5900 MPa, natomiast dla T20 V0 – 8300 MPa. Oznacza to, że większy wpływ na zmianę wartości  $E'$  miał talk w odniesieniu do uniepalniacza. Wraz ze wzrostem temperatury różnice w wartości  $E'$  dla kompozytów i bazowego PP zmniejszają się i przy temperaturze 130°C ich przebiegi są bardzo zbliżone. Różnica w tej temperaturze dla PP i PPH9 T20 V0 wynosi 380 MPa, a dla PPH10 WH HF V0 tylko 80 MPa. Przebieg zmian wartości kąta stratności  $tg\delta$  wykazuje, że temperatura zeszklenia wynosi ok. 15 °C. Wartości  $tg\delta$  dla kompozytów w zakresie ujemnej temperatury przyjmują wartości niższe w porównaniu z do materiału niemodyfikowanego, natomiast w temperaturze >90°C przyjmują wartości wyższe.

Najmniejszy wpływ na moduł zachowawczy  $E'$  wykazał dodatek mikrokulek szklanych 30% (PPH10 GB 30) oraz mikrosfer szklanych 30% (PPH10 GB 30L) (rys. 6). Zgodnie z przedstawionymi wykresami, napełniacze w postaci kulek szklanych w kompozycie polipropylenowym nie spowodowały tak znaczących zmian wartości  $E'$  jak wcześniej omówione materiały. Wartość modułu zachowawczego  $E'$  dla materiału napełnionego kulkami szklanymi pełnymi w temperaturze -40 °C wzrosła o 500 MPa, natomiast dla kompozytu z kulkami szklanymi pustymi wzrosła o 1000 MPa i wyniosła 5850 MPa. Warto również zauważyć, że różnica w wartości  $E'$  pomiędzy materiałem z homopolimeru, a kompozytem z kulkami szklanymi pustymi w wysokości 500 MPa jest jednakowa w całym zakresie temperaturowym. Natomiast w przypadku kompozytu z kulkami

szklanymi pełnymi, wartość  $E'$  w temperaturze powyżej 100°C jest porównywalna z wartością  $E'$  dla homopolimeru PP. Wprowadzone napełniacze w postaci kulek szklanych nie spowodowały znaczących zmian w przebiegu krzywej wartości kąta stratności  $tg\delta$ . Wartość  $tg\delta$  w zakresie temperatury od -40°C do -15°C dla kompozytu z kulkami pełnymi szklanymi jest niższa w porównaniu do bazowego PP. Wartości te wyrównują się jednak w fazie zeszklenia, a następnie wartość  $tg\delta$  dla kompozytu z kulkami szklanymi pełnymi przyjmuje wyższe wartości. Wartość  $tg\delta$  dla materiału napełnionego kulkami szklanymi pustymi jest niższa niż w przypadku PP w całym zakresie temperaturowym. Podobnie jak w poprzednio omawianych przypadkach kompozyty z kulkami szklanymi wykazują przemianę przejścia szklistego w temperaturze ok. 15 °C.

#### 4. PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki badań zmian modułu zachowawczego  $E'$  i tangensa kąta stratności  $tg\delta$  różnych materiałów bazujących na termoplastycznym polipropylenu obrazują różne zachowanie się materiałów w zależności od kształtu zastosowanego napełniacza. Podobne wartości udziału objętościowego zastosowanych napełniaczy powodują bardzo różnorodne zachowanie się uzyskanych kompozytów. Jest to uzależnione od kształtu oraz właściwości zastosowanych napełniaczy. Uzyskane wyniki pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- wartość modułu zachowawczego jest uzależniona od kształtu, ilości oraz właściwości fizycznych napełniacza.
- każdy z zastosowanych napełniaczy spowodował wzrost modułu zachowawczego przygotowanego kompozytu, przy czym kształt i przebieg krzywej  $E'$  i  $tg\delta$  są różne dla różnych napełniaczy,
- kulki szklane najslabiej wpływają na modyfikację modułu zachowawczego badanego PP bazowego,

– najsilniej na wartość modułu zachowawczego oraz zwiększenie stabilności termicznej wpływa dodatek włókna szklanego do PP.

W następnej kolejności planuje się wykonanie badań strukturalnych przygotowanych próbek kompozytów.

## LITERATURA

1. Rabek Jan F., „Współczesna wiedza o polimerach”, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 2016
2. Królikowski W., „Polimerowe kompozyty konstrukcyjne”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012
3. Kaczmar J. W., Bielański A., *Kompozyty na osnowie polipropylenu wzmacniane mikrokulkami szklanymi*, Teka Kom. Bud. Ekspl. Masz. Elektrotech. Bud. – OL PAN, 2008, 63–68
4. Subramanian C, Senthilvelan S., „Effect of reinforced fiber length on the joint performance of thermoplastic leaf spring”. *Mater Des* 2010;31:3733–41.
5. Panneerselvam K., Aravindan S., Noorul Haq A., „Study on resistance welding of glass fiber reinforced thermoplastic composites” 2012
6. [http://www.im.mif.pg.gda.pl/download/materialy\\_dydaktyczne/PIM\\_22\\_materialy\\_kompozytowe.pdf](http://www.im.mif.pg.gda.pl/download/materialy_dydaktyczne/PIM_22_materialy_kompozytowe.pdf) (25.06.2016r.)
7. Chollakup R, Tantatherdtam R, Ujgin S, Sriroth K., „Pineapple leaf fiber reinforced thermoplastic composites: effects of fiber length and fiber content on their characteristics”. *J Appl Polym Sci* 2011;119(4):1952–60.
8. Subramanian C, Deshpande SB, Senthilvelan S., „Effect of reinforced fiber length on the damping performance of thermoplastic composites”. *Adv Compos Mater* 2011;20(4):319–35.
9. Rezaei F, Yunus R, Ibrahim NA., „Effect of fiber length on thermomechanical properties of short carbon fiber reinforced polypropylene composites”. *Mater Des* 2009;30:260–3.
10. Yang Y., Boom R., Irion B, van Heerden D.J., Kuiper P., „Recycling of composite materials”. *Chem Eng Process* 2012;51:53–68.
11. Banasiak A., Sterzyński T., *Właściwości kompozytów polimerowych PE+talk*, *Composites* 2002, 3, 126–130.
12. Postawa P., Stachowiak T., Szarek A., „Badanie właściwości kompozytów drewno-polimer metodą DMTA”, *Kompozyty* 10:3 (2010) 266–269
13. Fornes T. D., Paul D. R., *Crystallization behavior of nylon 6 nanocomposites*, *Polymer* 2003, 44, 14 3945–3961.
14. Cowie J. M. G., Arrighi V.: „Polymers: chemistry and physics of modern materials”, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton 2008.
15. Sterzyński T., Śledź I., *Jednopolimerowe kompozyty polipropylenowe – wytwarzanie, struktura, właściwości*, *Polimery* 2007, 6, 443–452.
16. Sterzyński T., *Processing and property improvement in isotactic polypropylene by heterogeneous nucleation*. *Polimery* 2000, 45, 11–12, 786–791.
17. Potters Industries LLC Engineered Glass Materials Division, „High Performance Solid Glass Polymer Additives”

Publikację przyjęto do druku: 06.07.16