

Właściwości morfologiczne aktywnych napelniaczy do tworzyw polimerowych; wpływ na właściwości reologiczne kompozycji z nienasyconą żywicą poliestrową

Ewa KUŹDŹAŁ*, Barbara CICHY, Szymon DULIK - Instytut Nowych Syntez Chemicznych Oddział Chemii Nieorganicznej „IChN” w Gliwicach, Gliwice

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2016, 70, 4, 185–192

Wstęp

Organiczne polimery syntetyczne stanowią podstawę wielu współczesnych materiałów zastępujących materiały tradycyjne. Coraz większy udział na rynku materiałów polimerowych zajmują modyfikacje istniejących polimerów. Jednym z najczęściej stosowanych sposobów modyfikacji polimerów jest ich napelnienie. Środki pomocnicze, zwane napelniaczami, są wprowadzane do tworzyw sztucznych w celu polepszenia właściwości mechanicznych i cieplnych oraz obniżenia ceny gotowego wyrobu. Nie należy oczekiwać, że uzyska się poprawę wszystkich właściwości poprzez napelnienie. Zazwyczaj korzystnym zmianą jednej właściwości towarzyszy pogorszenie innych.

Wpływ aktywnych napelniaczy na właściwości mechaniczne, dielektryczne i termiczne materiałów polimerowych jest znaczący. Przydatność napelniaczy używanych do wytwarzania kompozytów polimerowych wynika nie tylko z ich składu chemicznego, ale też z właściwości fizycznych, takich jak: gęstość właściwa, wielkość ziarna, jego kształt i powierzchnia oraz porowatość [1 ÷ 3]. Struktura morfologiczna napelniaczy obecnych w matrycy polimerowej wpływa przede wszystkim na właściwości reologiczne kompozycji polimerowej oraz na właściwości mechaniczne tworzywa [4, 5]. Wśród aktywnych napelniaczy duże znaczenie mają antypireny.

Niektóre napelniacze, wprowadzone nawet w niewielkich ilościach, niekorzystnie zmieniają cechy przetwórcze polimerów, a inne nie wykazują istotnego wpływu. Ponieważ tak różne oddziaływanie obserwuje się dla napelniaczy o podobnym składzie, ale różniących się morfologią ziarna, można wnioskować, że czynnikiem determinującym wpływ napelniaczy na cechy przetwórcze polimerów są: rozmiar ziarna, jego kształt i powierzchnia właściwa. Szczegółowy wpływ średnicy ziaren na lepkość kompozycji polimerowych opisali autorzy publikacji [6, 7]. Natomiast autorzy [8] zaobserwowali efekt dyatacji, czyli wzrostu lepkości ze wzrostem szybkości ścinania, wprowadzania napelniaczy o różnych średnicach. Wpływ współczynnika kształtu na lepkość kompozycji polimerowej opisano w [6, 9, 10]. Wykazano, że im mniejszy jest współczynnik kształtu ziarna napelniacza, tym większa wartość lepkości napelnionego tworzywa polimerowego. Na odwrotną zależność lepkości od współczynnika kształtu wykazują badania [11 ÷ 13].

Śród właściwości morfologicznych napelniaczy, istotny wpływ na lepkość kompozycji ma również powierzchnia właściwa ziarna. Im większa jest powierzchnia właściwa ziaren napelniaczy, tym wyższa lepkość napelnionego tworzywa polimerowego [14, 15].

Nienasycone żywice poliestrowe (UP) są powszechnie stosowane do wytwarzania materiałów konstrukcyjnych, m.in. rur poliestrowo-szkłanych (GRP) wytwarzanych metodą odlewania odśrodkowego [16]. Badania reologiczne kompozycji na bazie nienasyconych żywic poliestrowych opisano w [17, 18]. Autorzy badali wpływ różnych modyfikatorów żywicy na właściwości reologiczne kompozytów, m.in. modyfikowane bentonity i nanoglinki.

W przetwórstwie kompozycji UP-napelniacze wykorzystuje się właściwości tiksotropowe układu. Tiksotropią nazywa się właściwość niektórych rodzajów płynów, w których występuje zależność lepkości od czasu działania sił ścinających. Na skutek niszczenia wewnętrznej struktury układu w warunkach izotermicznych, zmniejsza się tarcie wewnętrzne z upływem czasu ścinania; obserwuje się, dający się również zmierzyć w czasie, powolny powrót cieczy do pierwotnej konsystencji podczas spoczynku [19]. Spadek lepkości w funkcji czasu jest pożądanym m.in. podczas mieszania płynów; odbudowa struktury i towarzyszący jej wzrost lepkości może natomiast zapobiegać sedimentacji cząstek w zawiesinach. Właściwości płynów tiksotropowych są na tyle złożone, że nie można precyzyjnie i powtarzalnie określić ich ilościowo. Nie istnieje także jedna przyjęta zasada pomiaru tiksotropii. Właściwości reologiczne mediów tiksotropowych są charakteryzowane najczęściej za pomocą metody testu pętli histerezy i metodą skoku szybkości ścinania [20].

Wielu autorów podkreśla ważną rolę budowy morfologicznej [2 ÷ 5, 21], to jest rozmiaru i kształtu, jako ważny parametr struktury napelniaczy, który nie tylko wpływa na właściwości mechaniczne kompozytu, ale również na inne, oczekiwane właściwości materiału, np. na palność. Niektórzy badacze uważają, że mały rozmiar ziarnowy, niski współczynnik kształtu i minimalna powierzchnia właściwa, to odpowiednie wymagania dla napelniaczy do tworzyw i farb. Jednak w praktyce spotyka się napelniacze o bardzo różnej charakterystyce ziarnowej.

Rozmiar i kształt ziaren napelniacza wpływa nie tylko na właściwości fizykochemiczne wyrobu z tworzywa (głównie mechaniczne), ale też na właściwości reologiczne kompozycji polimer-napelniacz. W praktyce przekłada się to na lepsze lub gorsze zachowanie się kompozycji polimerowej w trakcie przetwórstwa, a w przypadku farb – na ich konsystencję i rozlewność.

W niniejszej pracy autorzy podjęli próbę określenia zależności pomiędzy zbadanymi właściwościami morfologicznymi napelniaczy a właściwościami reologicznymi kompozycji polimer-napelniacz. Napelniacze porównano wg rozmiarów ziarnowych, wielkości powierzchni właściwej i współczynnika kształtu. Wpływ napelniaczy na właściwości przetwórcze kompozycji polimerowej zbadano na przykładzie kompozycji: nienasycona żywica poliestrowa (UP)–napelniacz (N). Właściwości reologiczne określono za pomocą pomiaru lepkości, powierzchni pętli histerezy i współczynnika tiksotropii.

Autor do korespondencji:
Mgr inż. Ewa KUŹDŹAŁ, e-mail: ewa.kuzdzal@ichn.gliwice.pl

Część doświadczalna

Materiały i surowce

W badaniach stosowano nienasyconą żywicę poliestrową (UP) ortoftalowo-maleinowo – propylenową Distitron 412 V2 produkcji Polynt SPA. Zastosowane aktywne napełniacze zestawiono w Tabelicy 1. Wymienione napełniacze, za wyjątkiem kredy, stosowane są w materiałach polimerowych samodzielnie lub w układach, w celu obniżenia palności tworzywa. Kreda jest napełniaczem najszerzej znanym i pełniącym wiele funkcji, może więc stanowić punkt odniesienia dla porównywania zbadanych właściwości morfologicznych mniej znanych napełniaczy.

Tablica 1

Zastosowane aktywne napełniacze

Lp.	Oznaczenie	Napełniacz	Opis
1.	N1	Ecoret MP	fosforan melaminy prod. Zakłady Chemiczne Alwernia
2.	N2	Ecoret MPYP	pirofosforan melaminy prod. Zakłady Chemiczne Alwernia
3.	N3	Ecoret MPP	polifosforan melaminy prod. Zakłady Chemiczne Alwernia
4.	N4	MP	fosforan melaminy produkt doświadczalny INS (IChN) w Gliwicach
5.	N5	MPP	polifosforan melaminy produkt doświadczalny INS (IChN) w Gliwicach
6.	N6	Exolit AP 442	polifosforan amonu prod. Clariant GmbH
7.	N7	Martinal ON - 904	wodorotlenek glinu Al(OH) ₃ prod. Albemarle
8.	N8	EG	graft ekspandowany prod. Sinograf SA
9.	N9	Kreda Standard	węglan wapnia prod. „Piotrowice” Sp. z o. o.
10.	N10	Cloisite	glinokrzemian warstwowy Prod. Souther Clay Products INC. USA

Badania morfologiczne napełniaczy

Na podstawie analizy ziarnowej, wykonanej za pomocą analizatora laserowego Coulter LS Particie Size Analyser, określano rozmiar i kształt ziarna (k). Kształt ziarna definiuje się jako stosunek różnicy między 90. (L₉₀) a 10. percentylem (L₁₀) i medianą:

$$k = \frac{L_{90} - L_{10}}{L_{50}} \quad (1)$$

Współczynnik taki został zastosowany w wielu pracach badawczych, m.in. w [1, 21].

Dla rozkładów granulometrycznych wyznaczono analitycznie współczynnik niejednorodności, określający jednorodność ziarna – im jego wartość jest niższa, tym ziarno jest bardziej jednorodne. Parametr ten jest niekiedy stosowany zamiennie z współczynnikiem kształtu ziarna. Współczynnik niejednorodności jest zdefiniowany jako:

$$CV = \frac{(L_{84} - L_{16})}{2L_{50}} \quad (2)$$

Wyznaczano również powierzchnię właściwą ziaren retardantów – za pomocą analizatora Gemini VII firmy Micromeritics służącego do oznaczania jedno- i wielopunktowej powierzchni właściwej metodą BET, w zakresie od 0,001 do 4000 m²/g. Próbkę odgazowywano w temp.

130°C przez 2 h, a następnie przeprowadzono pomiar powierzchni właściwej (A) i objętości porów (V) i wyliczono średnicę porów (d_p):

$$d_p = \frac{4V}{A} \quad (3)$$

Przygotowanie kompozycji UP-N

Przygotowano kompozycje UP z dodatkami napełniaczy o stopniu napełnienia 20 %wag. Układ mieszano przez 30 minut, a następnie odgazowano pod próżnią.

Właściwości reologiczne kompozycji UP-N

Lepkość kompozycji UP z N badano za pomocą lepkościomierza rotacyjnego Rheothes z układem cylindrów pomiarowych S3, o zakresie obrotów 5–240 min⁻¹. Pomiary prowadzono w temp. 20°C. Lepkość kompozycji mierzono stosując stopniowo rosnącą (a następnie malejącą) szybkość obrotową. Liczba punktów pomiarowych dotycząca zmiennych szybkości ścinania wynosiła każdorazowo 24. Na podstawie stałych aparatu i wyznaczonego naprężenia ścinającego wyliczono lepkość dynamiczną z następującej zależności:

$$\eta = \frac{\tau}{D} \quad (4)$$

Właściwości tiksotropowe określono przez wyliczenie pola powierzchni pętli histerezy (5) i współczynnika tiksotropii (6) wg wzorów [20]:

$$S = S' - S'' = D_{\max} n^{-1} \sum_i^n \Delta \tau_i \quad (5)$$

gdzie: S – pole powierzchni pętli histerezy, S' i S'' – powierzchnia górnej i dolnej krzywej płynięcia przy maksymalnej szybkości ścinania, od D=0 do D_{max}, na sumę różnicy naprężeń górnej i dolnej krzywej płynięcia.

Współczynnik tiksotropii K_t obliczono wg wzoru:

$$K_t = \frac{S}{D_{\max}} \quad (6)$$

Wyniki badań

W Tabelicy 2 zestawiono właściwości morfologiczne stosowanych napełniaczy.

Tablica 2

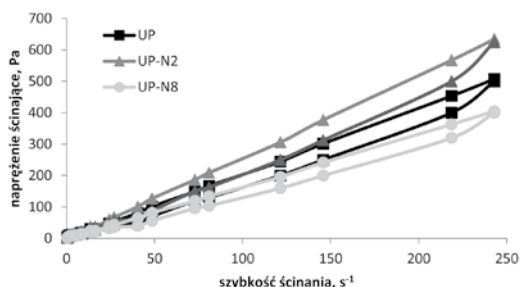
Zestawienie właściwości morfologicznych stosowanych napełniaczy

Lp.	Oznaczenie	A, m ² /g	V, cm ³ /g	d _p , cm	d _m , μm	d _g , μm	CV	k
1	N1	1,41	3,54E-03	1,01E-06	4,00	3,76	0,72	1,80
2	N2	4,92	1,81E-02	1,47E-06	3,20	2,76	0,80	2,00
3	N3	5,89	1,96E-02	1,33E-06	3,38	2,91	0,79	1,97
4	N4	0,78	1,27E-03	6,55E-07	29,84	15,67	1,23	4,25
5	N5	0,96	1,51E-03	6,28E-07	26,64	16,89	1,39	4,29
6	N6	0,57	1,93E-03	1,35E-06	27,84	17,23	1,28	4,17
7	N7	2,30	8,48E-03	1,47E-06	7,25	4,62	1,50	3,71
8	N8	2,52	6,70E-03	1,06E-06	256,30	228,90	0,72	1,88
9	N9	0,71	2,73E-03	1,53E-06	44,09	26,65	1,69	4,33
10	N10	5,68	2,57E-02	1,81E-06	11,94	10,74	0,72	1,97

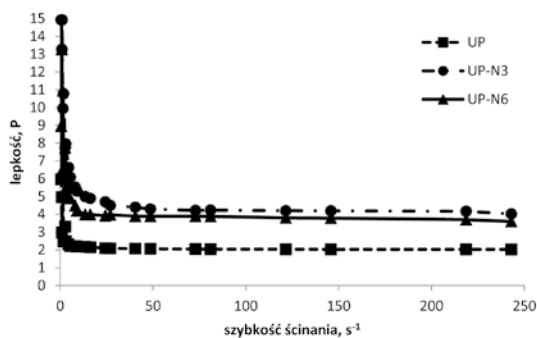
gdzie: A – powierzchnia właściwa, V – objętość porów, d_p – średnica porów, d_m – średni rozmiar ziarna, d_g – dominujący rozmiar ziarna, CV – współ. niejednorodności, k – współczynnik kształtu

Użyte w badaniach napelniacze różnią się w szerokim zakresie wszystkimi właściwościami morfologicznymi. Powierzchnia właściwa zmienia się od 0,57 m²/g do 5,89 m²/g; średni rozmiar ziarna obejmuje zakres 3,2 μm do 256,3 μm. Większość badanych napelniaczy charakteryzuje się niejednorodnym ziarnem, o czym świadczą dość wysokie wartości współczynnika kształtu i niejednorodności.

Kompozycje UP z dodatkiem napelniaczy poddano badaniom reologicznym. Na Rysunkach 1 i 2 przedstawiono pętle histerezy (Rys. 1) i krzywą lepkości (Rys. 2) dla żywicy UP bez dodatków i dla wybranych kompozycji żywica-napelniaz. Podczas badań reologicznych zaobserwowano zjawisko tzw. rozrzedzania ścinaniem, czyli zmniejszania się lepkości kompozytów wraz ze wzrastającą szybkością ścinania. Zależność ta jest zauważalna zwłaszcza w obszarze niewielkich prędkości ścinania, a niemal zanika w warunkach dużych szybkości ścinania. Wprowadzenie do polimerów napelniaczy nie powoduje znacznego zagęszczenia kompozycji, ale zmienia reologiczną naturę układu (Rys. 1 i 2). Krzywe lepkości i płynięcia żywicy napelnionej wykazują kształt zbliżony do żywicy niemodyfikowanej, są tylko przesunięte w kierunku wyższych wartości. Pole powierzchni pętli histerezy lepkości i współczynnik tiksotropii kompozycji UP z badanymi napelniaczami zestawiono w Tabelcy 3.



Rys. 1. Krzywa płynięcia kompozycji nienasyconej żywicy poliestrowej UP



Rys. 2. Krzywa lepkości nienasyconej żywicy poliestrowej UP niemodyfikowanej i napelnionej

Wprowadzenie do żywicy napelniacza N3 spowodowało 3-krotny wzrost średniej lepkości kompozycji z UP-N3 w porównaniu do żywicy niemodyfikowanej. Ziarno napelniacza N3 charakteryzuje się największą powierzchnią właściwą – 5,89 m²/g oraz wysokim współczynnikiem kształtu. Najmniejszy wzrost zaobserwowano dla układu UP-N6. Ziarno napelniacza N6 wykazało najniższą wartość powierzchni właściwej, tylko 0,57 m²/g i dość znaczny współczynnik kształtu i niejednorodności.

Właściwości tiksotropowe układu UP-N określono za pomocą pola powierzchni histerezy i współczynnika tiksotropii. Najniższy wzrost tych parametrów zaobserwowano dla układu UP-N8 i UP-N9. Ziarna napelniaczy N8 i N9 charakteryzują się największymi spośród badanych rozmiarami, odpowiednio 256,30 μm i 44,09 μm i nieznaczną powierzchnią właściwą. Najwyższą wartość pola powierzchni pętli histerezy i współczynnika tiksotropii wykazały kompozycje UP-N2 i UP-N3. Napelniacze te posiadają ziarna dość

podobne do siebie, o czym świadczą niskie wartości współczynnika kształtu i niejednorodności. Charakteryzują się najniższym średnim rozmiarem spośród wszystkich badanych napelniaczy.

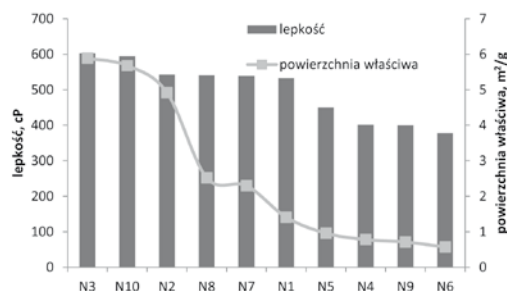
Tabela 3

Charakterystyka reologiczna kompozycji UP-N

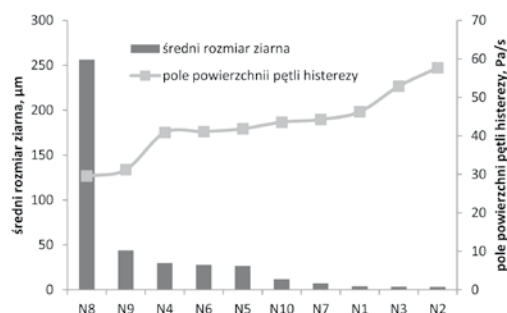
Lp.	Oznaczenie	η_{sr} , cP	S, Pa/s	K_t , Pa
1	0	210,3	20,82	0,0856
2	N1	533,1	46,26	0,178
3	N2	543,3	57,68	0,237
4	N3	602,4	52,87	0,217
5	N4	401,4	40,86	0,168
6	N5	450,2	41,85	0,171
7	N6	378,2	41,09	0,169
8	N7	539,1	44,28	0,182
9	N8	540,9	29,56	0,122
10	N9	399,8	31,24	0,129
11	N10	594,3	43,56	0,179

gdzie: η_{sr} – Lepkość średnia, S – Pole powierzchni pętli histerezy, K_t – współczynnik tiksotropii

Zaobserwowano istotny wpływ właściwości morfologicznych napelniaczy na właściwości reologiczne napelnionej żywicy. Wraz ze wzrostem powierzchni właściwej ziaren napelniaczy zaobserwowano znaczący wzrost lepkości kompozycji (Rys. 3). Natomiast średni rozmiar ziarna wpływa istotnie na pole powierzchni histerezy.



Rys.3. Zależność lepkości kompozycji UP+ 20% N od powierzchni właściwej ziaren napelniaczy



Rys. 4. Średni rozmiar ziarna a pole powierzchni pętli histerezy

Spośród właściwości morfologicznych, największy wpływ na właściwości reologiczne, wyrażone przez lepkość, pole powierzchni pętli histerezy i współczynnik tiksotropii, ma rozmiar ziarna i jego powierzchnia właściwa, znacząco wpływając na wartości tych parametrów. Największy wpływ na wielkość lepkości ma powierzchnia właściwa ziarna: im mniejsza powierzchnia, tym niższa lepkość kompozycji (Rys.3). Na pole powierzchni histerezy

i współczynnik tiksotropii największy wpływ ma rozmiar ziarna: im większy rozmiar ziarnowy napełniacza, tym niższe wartości pola powierzchni histerezy krzywych płynięcia kompozycji i ich współczynnika tiksotropii (Rys.4).

Podsumowanie wyników

Wymiary i kształt napełniacza współdecydują o jego powierzchni właściwej, a więc o sile jego oddziaływania z matrycą polimerową. Czynnikiem wpływającym na właściwości kompozycji UP-N są oddziaływania występujące pomiędzy jego składnikami. Najsilniejszy wpływ na badane właściwości reologiczne ma powierzchnia właściwa ziarna napełniacza i jego rozmiar. Powierzchnia właściwa, będąca miarą rozwinięcia powierzchni właściwej ziarna, jest czynnikiem determinującym lepkość modyfikowanego tworzywa. Im wyższa wartość powierzchni tym wyższa wartość lepkości kompozycji. Wprowadzenie napełniaczy o dużym rozmiarze ziarna powoduje wzrost lepkości oporów przepływu. Mniejsze ziarna napełniacza poprawiają rozlewność, czemu odpowiada większe pole powierzchni pętli histerezy krzywej płynięcia kompozycji polimer-napełniacz i większy współczynnik tiksotropii. Właściwości reologiczne kompozycji polimer-napełniacz zależą od powierzchni styku fazy rozproszonej (napełniacza) z fazą ciągłą oraz od charakteru oddziaływań między fazą ciągłą a rozproszoną. Gdy wzrasta współczynnik kształtu napełniacza i maleje jego wymiar poprzeczny, to zwiększa się powierzchnia właściwa napełniacza i suma sił oddziaływań między osnową (matrycą) polimerową a jego cząstkami.

Pomiary reologiczne, w powiązaniu z morfologią ziaren napełniacza, umożliwiają zrozumienie wpływu charakterystyki morfologicznej napełniacza na właściwości przetwórcze kompozycji polimerowej. Przedstawione wyniki pomiarów uzyskane w badaniach charakteryzują wyłącznie badane napełniacze, natomiast w przypadku kompozycji tylko opisane kompozycje.

Wszystkie badane napełniacze aktywne dodane w ilości 20% masowych do żywicy UP nie spowodowały znaczącego zagęszczenia matrycy polimerowej, co mogłoby w sposób negatywny wpłynąć na rozlewność, czyli w konsekwencji na właściwości przetwórcze. Badane kompozycje UP-N wykazują zasadniczo dobre właściwości przetwórcze, chociaż wpływ wielkości ziaren napełniaczy, ich kształt i krzywa rozkładu ziarnowego, nie pozostają bez wpływu na właściwości istotne dla przetwórstwa.

Badania wykonano w ramach Programu Badań Stosowanych, Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, PBS2 /B2/7/2013.

Literatura

- Cichy B., Kuźdżał E.: *Obtaining Monodisperse Melamine Phosphate Grains by a Continuous Reaction Crystallization Process*. Ind. Eng. Chem. Res. 2014, **53**, 6593–6599.
- Fu S.Y., Feng X. Q., Lauke B., Mai Y. W.: *Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate-polymer composites*. Composites Part B: Engineering 2008, **39**, 6, 933- 961.
- Cho J., Joshi M.S., Sun C.T.: *Effect of inclusion size on mechanical properties of polymeric composites with micro and nano particles*. Composites Science and Technology 2006, **66**, 13, 1941–1952.
- Huang H., Tian M., Liu L., Liang W., Zhang L.: *Effect of particle size on flame retardancy of Mg(OH)₂-filled ethylene vinyl acetate copolymer composites*. Journal of Applied Polymer Science 2006, **100**, 4461–4469.
- Zhang L., Li C.Z., Zhou Q.: *Aluminum hydroxide filled ethylene vinyl acetate (EVA) composites: effect of the interfacial compatibilizer and the particle size*. J. Mater Sci. 2007, **42**, 4227–4232.
- Shenoy A.V.: *Rheology of Filled Polymer Systems*. Springer – Science-Business Media 2013.
- Petra Pötschke P., Fornes T. D., Paul D. R.: *Rheological behavior of multiwalled carbon nanotube/polycarbonate composites*. Polymer 2002, **43**, 11, 3247–3255.
- Lesueur D.: *The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification*. Advances in Colloid and Interface Science 2009, **145**, 1–2, 42–82.
- Chong M. K., Mi J. K., Min H. Ch., Sang O. K., In J. Ch.: *Mechanical and Rheological Properties of the Maleated Polypropylene-Layered Silicate Nanocomposites with Different Morphology*. Journal of Applied Polymer Science 2003, **88**, 1526–1535.
- Al-Saleh M. H. Sundararaj U.: *Review of the mechanical properties of carbon nanofiber/polymer composites*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 2011, **42**, 12, 2126–2142.
- Hornsby P.R.: *Rheology, compounding and processing of filled thermoplastics*. Adv. in Polymer Sci. 1999, 139, 155–2014.
- Steller R. T.: *Rheological Behavior of Polymer Melts with Natural Fibers*. Journal of Applied Polymer Science 2004, **97**, 1401–1409.
- Tartakowski Z., Lewandowska-Kosyl J., Kosyl M.: *Właściwości przetwórcze kompozytów polipropylenowych modyfikowanych grafitem ekspandowanym*. Przetwórstwo Tworzyw 2014, **20**, 4, 160, 344–348.
- Leblanc J. L.: *Rubber-filler interactions and rheological properties in filled compounds*. Progress in Polymer Science 2002, **27**, 4, 627–687.
- Yanovsky Y. G., *Polymer Rheology: Theory and Practice*. Springer – Science-Business Media, BV 1993. ISBN 978-94-010-4938-2.
- Kicko-Walczak E., Rymarz G., Gajewicz I.: *New polyester matrices with reduced flammability for the production of the innovative pipe – lines*. Przem. Chem. 2013, **92**, 4, 504–507.
- Oleksy M., Heneczkowski M.: *Thixotropic compositions of unsaturated polyester resins with modified smectic clays*. Polimery 2004, **49**, 11–12, 806–8012.
- Oleksy M., Heneczkowski M., Galina H.: *Thixotropic compositions: unsaturated polyester resins/ modified bentonites*. Polimery 2007, **52**, 5, 345–350.
- Bautista F., de Santos J.M., Puig J.E, Manero O.: *Understanding thixotropic and antithixotropic behavior of viscoelastic micellar solutions and liquid crystalline dispersions*. J. Non-Newtonian Fluid Mech. 1999, **80**, 93–113.
- Barnes A. H.: *Thixotropy – a review*, J. Non-Newton. Fluid Mech. 1997, **70**, 1–33.
- Zhang Q., Tian M., Wu Y., Lin G., Zhang L.: *Effect of particle size on the properties of Mg(OH)₂-filled rubber composites*. Journal of Applied Polymer Science 2004, **94**, 2341–2346.

*Mgr inż. Ewa KUŹDŻAŁ ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach (2007). Jest asystentką w Instytucie Nowych Syntez Chemicznych, Oddział Chemii Nieorganicznej „IChN” w Gliwicach w Zakładzie Syntezy Nieorganicznej i Ochrony Środowiska. Specjalność – technologia chemiczna i ochrona środowiska.

Dr hab. inż. Barbara CICHY prof. nadzw. ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Krakowskiej (1978). Obecnie jest profesorem nadzwyczajnym, kierownikiem Zakładu Syntezy Nieorganicznej i Ochrony Środowiska w Oddziale Chemii Nieorganicznej „IChN” w Gliwicach Instytutu Nawozów Sztucznych. Specjalność – technologia nieorganiczna.

Mgr inż. Szymon DULIK ukończył studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach (2014). Pracuje na stanowisku technologa w Instytucie Nowych Syntez Chemicznych, Oddział Chemii Nieorganicznej „IChN” w Gliwicach w Zakładzie Syntezy Nieorganicznej i Ochrony Środowiska. Specjalność – technologia organiczna.