

Patrycja BAZAN^{a)}, Stanisław KUCIEL^{a)}

^{a)} Instytut Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska,
al. Jana Pawła II 37, 31- 864 Kraków
e-mail: patrycja.bazan@gmail.com

Ocena możliwości wytworzenia i uzyskania nowych efektów wizualnych kompozytów na osnowie poliacetalu (POM) modyfikowanych włóknami i cząstkami naturalnymi

Streszczenie: W artykule dokonano oceny możliwości wytworzenia i uzyskania nowych efektów wizualnych kompozytów na osnowie poliacetalu (POM) modyfikowanych włóknami i cząstkami naturalnymi. Wytworzono trzy kompozycje na osnowie poliacetalu z 12.5% udziałem masowym mączki drzewnej, kawy mielonej oraz pociętych banknotów 200 złotych, jako kompatybilizator zastosowano Aldrich Tris (2-metoksyetoksy)(winyl). Wykonano badania podstawowych właściwości fizyko-mechanicznych w szerokim zakresie temperatur oraz zdjęcia makro i mikroskopowe za pomocą mikroskopu optycznego i elektronowego dla zobrazowania charakteru zastosowanych wypełniaczy. Kompozyty tego typu przeznaczone są na elementy sprężyste o wysokich wymaganiach odnośnie trwałości, ale też estetyki w przemyśle dekoracyjnym.

Słowa kluczowe: polioksymetylen, cząstki, włókna, mączka drzewna, mielona kawa

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF MANUFACTURING AND OBTAINING NEW VISUAL EFFECTS OF COMPOSITES BASED ON POLYACETAL (POM) MODIFIED BY NATURAL FIBER AND PARTICLES

Abstract: In this paper the possibility of producing and obtaining new visual effects of composites based on polyacetal (POM), modified by natural fibers and particles was evaluated. Three compositions based on polyacetal matrix with 12.5wt% content of wood flour, ground coffee and cut 200 PLN banknotes were prepared. As a compatibilizer Aldrich Tris(2-metoksyetoksy) (vinyl) was used. The basic physical and mechanical properties were estimated. The tests were conducted at wide temperature range. In order to illustrate the nature of used fillers macro and microscopic images were taken using optical and electron microscopy. Composites of this type are designed for elastic elements with high demands on durability, as well as aesthetics in the decorative industry.

Keywords: polyoxymethylene, particles, fibers, wood flour, ground coffee

1. WPROWADZENIE

Rozwój technologii, rosnąca liczba ludności i coraz wyższy standard życia powodują ciągły wzrost zapotrzebowania i zużycia materiałów, co poważnie wpływa na środowisko. Podczas procesu projektowania materiałów konieczne jest poszukiwanie sposobów na bardziej efektywne ich wykorzystanie oraz uwzględnienie czynników środowiskowych [1]. Warunki pracy, geometria części maszyn, jakość i barwa powierzchni to tylko niektóre z szeroko pojętych

zagadnień, które należy rozważyć, aby uzyskać pożądaną efekt i spełnić oczekiwania projektanta. Analizując warunki pracy, szczególną uwagę należy zwrócić na właściwości wytrzymałościowe, odporność na zużycie, stabilność wymiarową, a także na wpływ temperatury, wilgoci i czynników starzenia na wyżej wymienione parametry. Mnogość form produkcyjnych i kompozytów w zależności od rodzaju matrycy, formy wzmocnienia czy rozmieszczenie zbrojenia w kompozycie dają ogromne możliwości modyfikacji tradycyjnych materiałów.

Jednym z polimerowych materiałów konstrukcyjnych, szeroko stosowany w niemal każdej dziedzinie przemysłu z uwagi na swoje właściwości jest polioksymetylen. Polioksymetylen (POM) znany również, jako poliacetal i poliformaldehyd jest inżynierskim tworzywem termoplastycznym. Charakteryzuje się wysoką sztywnością, niskim współczynnikiem tarcia i doskonałą stabilnością wymiarową, jest łatwo przetwarzalny, ma niską absorpcję wody, wysoką twardość oraz błyszczącą i gładką powierzchnię. Doskonałe właściwości fizyczne i mechaniczne POM wynikają głównie z jego wysokiego stopnia krystaliczności [2÷3]. Polioksymetylen jest odporny chemicznie na większość rozpuszczalników, chemikaliów i paliw w temperaturze pokojowej, jako tworzywo sztuczne jest szeroko stosowany w częściach maszyn, urządzeniach domowych, sprzęcie sportowym, motoryzacyjnym, a także w przemyśle medycznym [4]. W Polsce polioksymetylen produkowany jest pod nazwą Tarnoform® przez Grupę Azoty Tarnów.

Istnieje wiele rodzajów napelnaczy, środków pomocniczych i modyfikatorów dodawanych do polimerów. Mają one na celu modelowanie właściwości przetwórczych i użytkowych. Są to między innymi włókna oraz cząstki organiczne i nieorganiczne, syntetyczne lub naturalne, środki antyutleniające, stabilizatory UV, plastyfikatory, środki barwiące, środki smarujące, upłynniające, antyadhezyjne, środki sieciujące czy spieniające [4÷5]. Poliformaldehyd nieustannie poddawany jest modyfikacjom w celu zróżnicowania jego właściwości lub zapewnienia specyficznych walorów użytkowych. Osiąga się to dzięki zastosowaniu proszkowych lub włóknistych wypełniaczy, między innymi w postaci włókien szklanych, szklanych kulek i proszków mineralnych. Napelniacze w proszku mają ograniczony wpływ na wytrzymałość i stabilność cieplną w porównaniu z modyfikacją w postaci włókien, ale zwykle zapewniają zauważalny wzrost sztywności materiału i ograniczają skurcz. Zastosowanie włókna szklanego w kompozytach poliformaldehydu zapewnia znaczną poprawę

wytrzymałości i sztywności elementu, zmniejsza zużycie, ale zwiększa chropowatość powierzchni, współczynnik tarcia i zmniejsza tłumienie dźwięku [6÷8]. Włóknistym napelniaczem, który ma tę zaletę, że zwiększa wytrzymałość oraz odporność na zużycie, obniża współczynnik tarcia i zmniejsza hałas jest włókno aramidowe. Współczynniki ścieralności są silnie związane z kształtem wzmocnienia, ze względu na lepsze pokrycie powierzchni kompozytowej. Wykazano, że proszki aramidowe stosowane jako napelniacz w kompozytach POM, były znacznie bardziej skuteczne w zmniejszaniu wysokiej przyczepności do matrycy, niż krótkie włókna aramidowe [9÷11]. Kolejnym przykładem modyfikacji polioksymetylenu jest włókno węglowe, które wpływa pozytywnie na właściwości mechaniczne zapewniając wysoką wytrzymałość i sztywność, a także zwieszoną odporność na ścieranie [12÷13]. Poliformaldehyd były również modyfikowanym przez badaczy poprzez dodatek polietylenu o niskiej gęstości (LDPE), elastomeru poliolefinowego (POE), szczepionego polietylenu o wysokiej gęstości glicydyloowo-metakrylanowej (GMA-g-HDPE) oraz termoplastycznego poliuretanu. Dodatek LDPE wpływa korzystnie na współczynnik tarcia w stosunku do niemodyfikowanego poliacetalu. Wprowadzenie elastomeru poliolefinowego powoduje wzrost udarności, a także zapewnia wyższą stabilność termiczną, natomiast termoplastyczny poliuretan przetwarzany jednocześnie z termoplastycznym poliacetalem zapewnia uzyskanie materiału o niższej twardości i większej zdolności tłumienia dźwięku [14÷16]. W celu zmniejszenia tarcia i zużycia w kompozytach polimerowych zastosowanie znalazł politetrafluoroetylen (PTFE), który jest pokrystalicznym polimerem charakteryzującym się bardzo niskim współczynnikiem tarcia. Prowadzono badania nad kompozytami POM modyfikowanymi cząstkami mikro i nano PTFE. Badania tribologiczne wykazały, że dodatek nanocząstek PTFE obniża współczynnik tarcia i zużycie ściernie kompozytu, niemniej jednak wpływa negatywnie na właściwości mechaniczne POM [9,17÷20]. Określono również wpływ

cząstek miedzi na przewodność cieplną i właściwości tribologiczne kompozytów POM [20÷21]. Wyniki wykazały, że dodanie Cu do polioksymetylenu ma niewielki wpływ na przewodność cieplną i nieznacznie zmniejsza współczynnik tarcia oraz szybkość ścierania.

W ostatnich latach zwiększone zainteresowanie kwestiami środowiskowymi przyczyniło się do wykorzystania włókien i cząstek naturalnych, jako wzmocnienia w materiałach polimerowych, które mogą być alternatywą dla napełniaczy sztucznych. Przykładami włókien naturalnych stosowanych w kompozytach POM są włókna celulozowe, fique, eukaliptusa, kenafu, juty czy sizalu [22÷30]. Włókna te, zastosowane w optymalnej ilości poprawiają wytrzymałość i sztywność materiałów, odporność na zużycie i współczynnik tarcia kompozytów POM. Jednakże włókna roślinne są bardzo wrażliwe na temperaturę i obciążenie higroskopijne, a także mają ograniczone właściwości mechaniczne. Powyższe przykłady pokazują różnorodność włókien stosowanych, jako wzmocnienie w kompozytach na bazie POM. Alternatywą dla włókien roślinnych, biorąc pod uwagę kwestie środowiskowe, jest wykorzystanie naturalnych włókien mineralnych, takich jak włókna bazaltowe. Włókno bazaltowe ma doskonałe właściwości, takie jak wysoki moduł sprężystości, wysoką wytrzymałość, dużą odporność na ciepło i bardzo dobrą odporność na korozję i korzystnie wpływa na właściwości mechaniczne kompozytów na osnowie poliacetalu [31-35].

Powyższa analiza literatury wskazuje na mnogość form wykorzystywanych, jako wzmocnie-

nie poliformaldehydu, a także na ciągle poszukiwanie napełniaczy pozwalających modyfikować polioksymetylen kierunkowo pod względem właściwości użytkowych. Celem niniejszej pracy było uzyskanie innowacyjnego produktu z kompozytu dotychczas niewytwarzanego w Polsce i niezwykle rzadko na świecie z dodatkiem materiałów naturalnych i pochodzących z recyklingu o wysokiej estetyce i funkcjonalności.

2. MATERIAŁY I METODYKA

Jako osnowę kompozytów wykorzystano polioksymetylen o handlowej nazwie Tarnoform T300 produkowany przez Grupę Azoty w Tarnowie. Standardowe próbki wiósełkowe i beleczki wykonano w Laboratorium Tworzyw Sztucznych Grupy Azoty SA w Tarnowie przy użyciu wtryskarki Engel ES 200/40 HSL w temperaturach wskazanych przez producenta dla wtryskiwania Tarnoformu T-300. Wytworzono trzy rodzaje kompozytów, których skład przedstawiono w tabeli 1. Jako kompatybilizer wykorzystano 1,5% roztwór (tris (2-metoksyetoxy)(vinyl)).

Kompozyty poliacetalu poddano badaniom fizyko-mechanicznym. Oznaczono gęstość metodą hydrostatyczną za pomocą wagi RADWAG WAS 22W, a także określono nasiąkliwość wodą po 1 i 7 dniach zanurzenia materiałów w wodzie. Jako badania wytrzymałościowe przeprowadzono statyczną próbę rozciągania (PN-EN ISO 527-1: 2010) i statyczną próbę zginania (PN-EN ISO 178: 2011) z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej MTS Criterion 43 (30 kN) z ekstensometrem MTS oraz określo-

Tab. 1. Zestawienie wytworzonych i badanych materiałów kompozytowych

Tab. 1. List of produced and tested composite materials

Oznaczenie	Skład kompozycji i jej opis
POM	100% Tarnoform T300
POM12M	87,5% Tarnoform T300+ 12,5% mączki drzewnej Lignocel BK40/90
POM12B	87,5% Tarnoform T300+ 12,5% zmielonych banknotów 200 złotych produkowanych z włókien o podwyższonej odporności termicznej.
POM12K	87,5% Tarnoform T300+ 12,5% kawy palonej Tchibo

no udarność Charpy'ego na młocie udarowym Zwick HIT 5.5P (PN-EN ISO 179-1: 2010). Przeprowadzono również obserwacje mikroskopowe z użyciem skaningowego mikroskopu elektronowego JEOL JSM 5510LV na przełamach próbek po rozciąganiu napyłanych złotem. Warstwa przewodnika wynosi kilka angstromów i jest nanoszona na próbki nieprzewodzące lub słabo przewodzące prąd w celu poprawy jakości uzyskanego obrazu.

3. WYNIKI BADAŃ

Podsumowanie wybranych właściwości fizyko-mechanicznych przedstawiono w tabeli 2 gdzie, ρ - gęstość, U - udarność, E_t - moduł sprężystości, σ_M - wytrzymałość na rozciąganie, ε_z - odkształcenie przy zerwaniu, E_g - moduł zginania, σ_g - wytrzymałość na zginanie.

Modyfikacja polioksymetyleny wybranymi napełniaczami nie zmienia znacząco gęstości wytworzonych kompozytów. Dodatek w postaci mączki

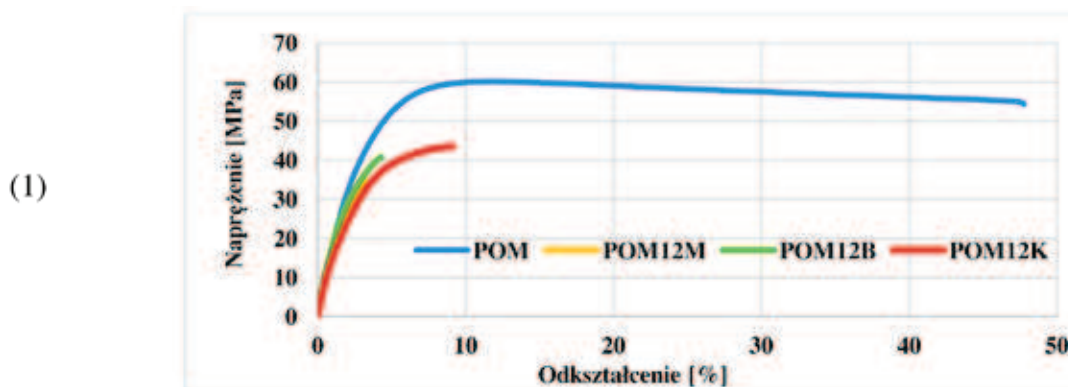
drzewnej oraz zmielonych banknotów powoduje nieznaczny wzrost gęstości (około 5%) w stosunku do niemodyfikowanego materiału. Analiza nasiąkliwości wody po 7 dniach zanurzenia próbek w wodzie wykazała, że wytworzone materiały nie oznaczają się zwiększoną absorpcją wody w stosunku do czystego POM. Wprowadzenie napełniaczy naturalnych w postaci zmielonej kawy i mączki drzewnej, a także zmielonych banknotów 200 złotych, (w których skład wchodzi włókna bawełniane) wpływa niekorzystnie na wytrzymałość, powodując 35% spadek przy rozciąganiu i mniejszy około 10% przy zginaniu oraz znaczące pogorszenie właściwości plastycznych dla każdej badanej kompozycji. Sztywność kompozytów wzrasta zarówno przy rozciąganiu jak i zginaniu. Modyfikacja materiału mączką drzewną (POM12M), powoduje wzrost sztywności przy rozciąganiu o 20% i nieznaczny 3% przy zginaniu. Dodatek zmielonych banknotów (POM12B) zapewnia zwiększoną sztywność zarówno przy rozciąganiu (wzrost o 25%) jak i przy zginaniu (wzrost 15%). Napeł-

Tab. 2. Porównanie wartości właściwości fizyko-mechanicznych badanych kompozytów

Tab. 2. Comparison of the value of physical and mechanical properties of tested composite

Oznaczenie	ρ [g/cm ³]	σ_M [MPa]	E_t [MPa]	ε_z [%]	σ_g [MPa]	E_g [MPa]	U [kJ/m ²]
POMT300	1,349 (0,001)	60,0 (0,2)*	2928 (21)	39,6 (5,4)	96,5 (0,55)	2609 (11)	76,4 (0,1)
POM12M	1,418 (0,002)	37,9 (2,6)	3486 (113)	1,8 (0,4)	86,7(3,85)	2713 (371)	16,5 (0,1)
POM12B	1,419 (0,002)	41,2 (1,1)	3671 (412)	3,1 (0,6)	87,9 (3,15)	3001 (4)	16,9 (0,2)
POM12K	1,394 (0,015)	41,7 (1,3)	2938 (52)	7,9 (0,6)	82,8 (1,1)	2729 (88)	18,0 (0,1)

*odchylenie standardowe



Rys. 1. Porównanie krzywych rozciągania dla badanych kompozytów

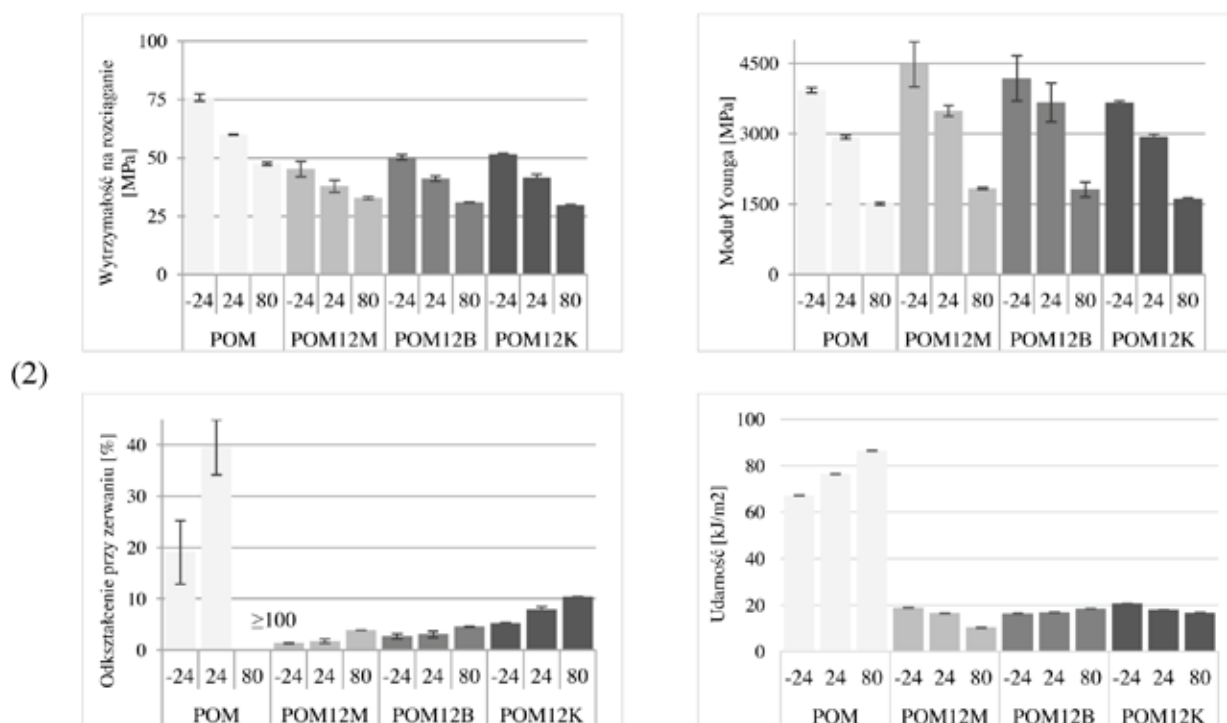
Fig. 1. Comparison of tensile curves for the tested composites

niacz w postaci zmielonej kawy (POM12K) nie ma znaczącego wpływu na sztywność kompozytu, gdyż dla tej kompozycji odnotowano nieznaczny 2-4% wzrost. Wytworzone kompozyty charakteryzują się również niskimi wartościami udarności, co świadczy o zmianie charakteru pęknięcia z ciągliwego na kruchy. Porównanie krzywych rozciągania przedstawiono na rysunku 1.

Właściwości wytrzymałościowe oznaczono na próbkach stabilizowanych przez 1 godzinę w trzech temperaturach -24, 24 i 80°C, co odpowiada temperaturom w skrajnych warunkach eksploatacji. Wyniki ze statycznej próby rozciągania oraz udarności przedstawiono na rysunku 2. Modułu sprężystości i wytrzymałości na rozciąganie charakteryzowały się tendencją spadkową wraz ze wzrostem temperatury dla wszystkich badanych materiałów, natomiast wartości odkształceń wskazują, że kompozycje z mielonymi banknotami i mączką drzewną przedstawiają wyższą stabilność wymiarową w badanych warunkach w porównaniu do pozostałych kompozycji.

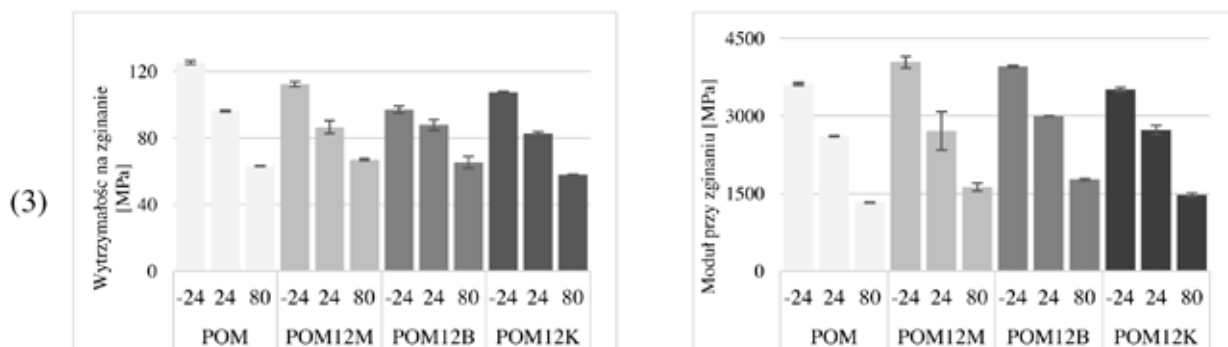
Analiza właściwości mechanicznych przy zginaniu w trzech temperaturach wykazuje, że właściwości w niższej temperaturze wzrastają dość proporcjonalnie, co jest związane z temperaturą zeszklenia poliacetalu, która wynosi około -50°C, jednakże w podwyższonych temperaturach można zaobserwować znaczną utratę sztywności o około 40-45% oraz mniejszy około 25% spadek wytrzymałości na zginanie dla wszystkich badanych kompozytów. Porównanie badanych właściwości przy zginaniu pokazano na rysunku 3.

Rysunki 4-5 przedstawiają mikrostruktury badanych materiałów, oraz efekty kolorystyczne uzyskane poprzez zabarwienie tworzywa wprowadzonymi napełniaczami. Na zdjęciach SEM dla kompozycji POM12M można zaobserwować mikrocząstki mączki drzewnej o nieregularnej powierzchni i wymiarach 10-60 μm . Obrazy mikrostruktury dla POM12B przedstawiają włókna bawełniane, które wchodzi w skład papieru stosowanego do produkcji banknotów. Włókna



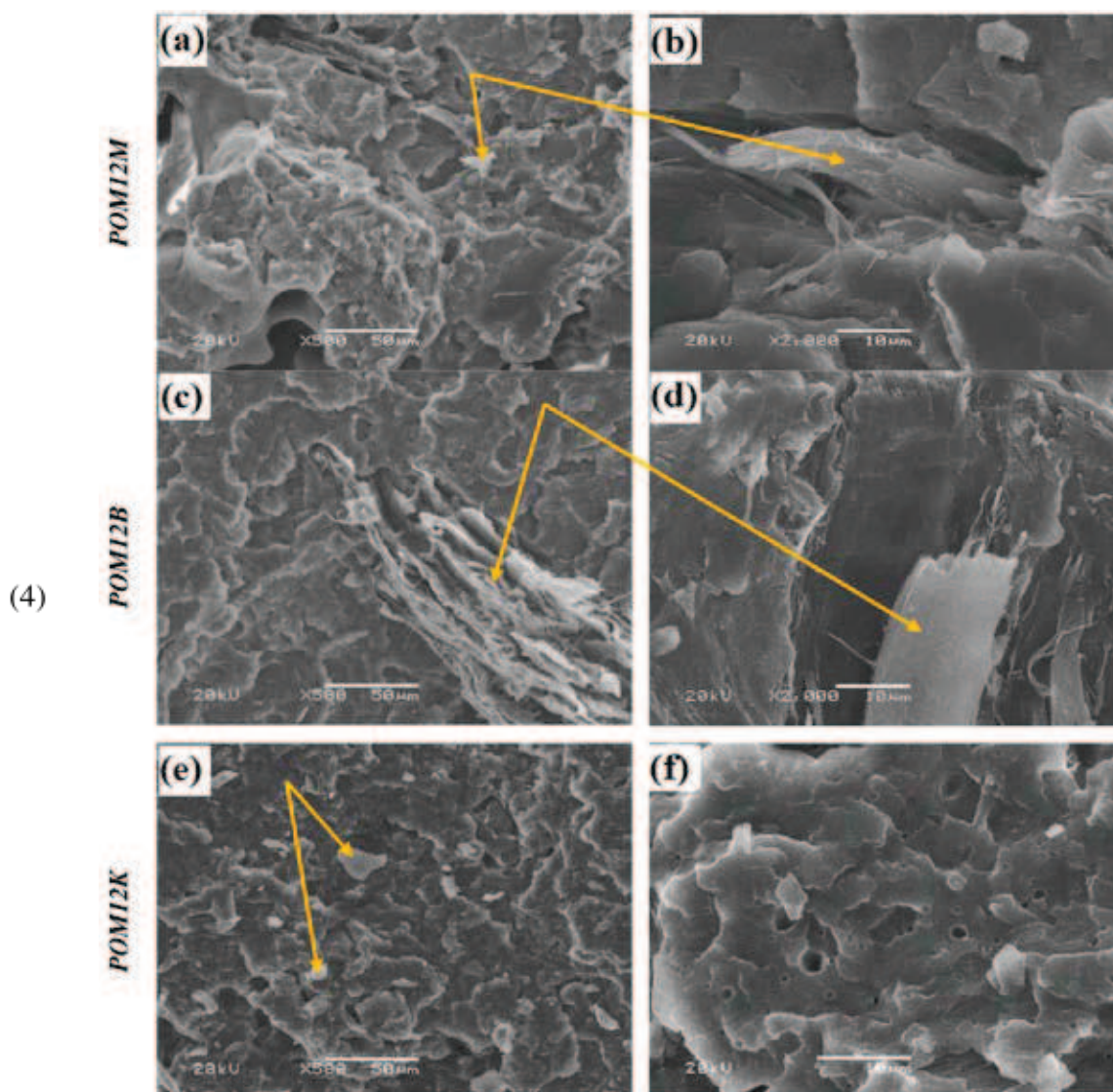
Rys. 2. Porównanie właściwości wytrzymałościowych uzyskanych ze statycznej próby rozciągania i próby udarowej w zależności od temperatury

Fig. 2. Comparison of strength properties obtained from static tensile test and impact test depending on temperature



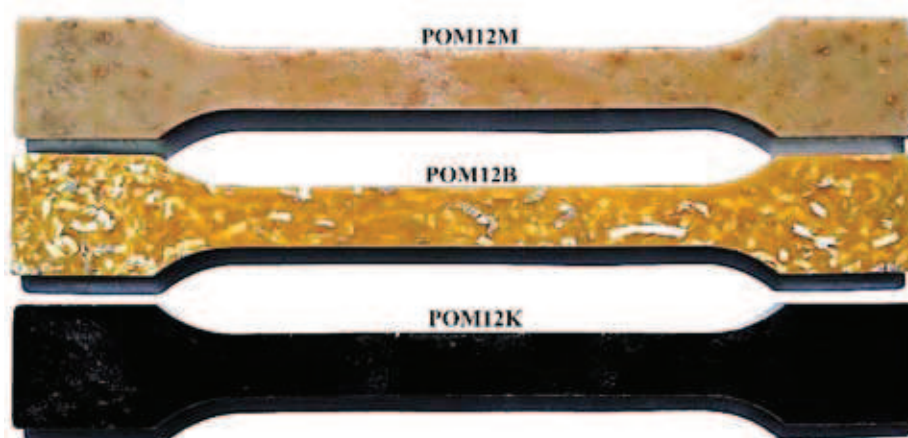
Rys. 3. Porównanie właściwości wytrzymałościowych uzyskanych ze statycznej próby zginania w zależności od temperatury

Fig. 3. Comparison of strength properties obtained from static bending test depending on temperature



Rys. 4. Zestawienie obrazów SEM wytworzonych kompozytów

Fig. 4. List of SEM images of the produced composites



Rys. 5. Fotografia przedstawiająca wpływ dodatków na barwę wytworzonych kompozytów

Fig. 5. Photograph showing the effect of additives on the color of the produced composites

te charakteryzują się rozwiniętą powierzchnią w kształcie pofałdowanych wstęg. Grubość pojedynczego włókna wynosi około 15-20 μm . Obrazy SEM kompozytów z dodatkiem kawy charakteryzują się równomiernym rozmieszczeniem napełniacza w osnowie. Średnica cząstek wyniosła 5-10 μm .

4. PODSUMOWANIE

Dodatek napełniaczy naturalnych pomimo zastosowania kompatybilizatora ALDRICH Tris(2-methoxyethoxy)(vinyl) spowodował spadek wytrzymałości na rozciąganie i zginanie oraz udarności przy około 20% wzroście modułu sprężystości dla wszystkich wytworzonych kompozycji. Niemniej celem była zarówno ocena możliwości modyfikacji POM włóknami i cząstkami naturalnymi jak i wytworzenie kompozytów o specjalnych efektach wizualnych czy aromatycznych jak w przypadku dodatku kawy. Tego typu kompozycje polimerowe mają być przeznaczone na wyroby małe typu żabki czy kółeczka karniszy, a POM wykorzystuje się jako materiał o niskim współczynniku tarcia, przeprowadzone badania wstępne wskazują, iż pozostaje on na niezmiennym poziomie.

BIBLIOGRAFIA

1. Ashby A., Shercliff H., Cebon D.: *Inżynieria Materiałowa*, tom 2. Galaktyka, Łódź 2011, s.270.
2. Capanidis B D.: *Mechanizm tarcia i zużycia wieloskładnikowych kompozytów na osnowie polioksymetylenu*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013, s. 7-8.
3. Hu K. H., Wang J., Schraube S. et al.: *Tribological properties of MoS₂ nano-balls as filler in polyoxymethylene-based composite layer of three-layer self-lubrication bearing materials*. Wear 2009, vol. 266, s. 1198-1207.
4. Lüftl D S., Visakh P. M., Chandran S.: *Polyoxymethylene Handbook: Structure, Properties, Applications and their Nanocomposites*. Scrivener Publishing, Beverly 2014, s. 1-2.
5. Kuciel S., Kuźniar P.: *Materiały polimerowe*. Politechnika Krakowska, Kraków 2013, s. 54-62.
6. Mimaroglu A., Unal H., Arda T.: *Friction and wear performance of pure and glass fibre reinforced poly-etherimide on polymer and steel counterface materials*. Wear 2007, vol. 262, s. 1407-1413.
7. Wojciechowska M., Kwiatkowski D., Tuzikiewicz W., *Wpływ włókna szklanego na właściwości mechaniczne i krystaliczność kompozytów POM i PA6*. Przetwórstwo Tworzyw 2014, vol. 5, s. 624-627.
8. Kunnan Singh J.S., Ching Y.C., Abdullah L.C., et al.: *Optimization of Mechanical Properties for Polyoxymethylene/Glass Fiber/Polytetrafluoroethylene Composites Using Response Surface Methodology*. Polymers 2018, vol. 10, s. 338.
9. Fakhar A., Razzaghi-Kashani M., Mehranpour M.: *Improvements in tribological properties of polyoxyme-*

- thylene by aramid short fiber and polytetrafluoroethylene. Iranian Polymer Journal 2013, vol. 22, s. 53-59.
10. Luo K W., Ding Q., Li Y., et al.: *Effect of shape morphology on mechanical, rheological and tribological properties of polyoxymethylene/aramid composites*. Polymer Science Series A 2015, vol. 57, s. 209-220.
 11. Lv M., Zheng F., Wang Q., et al.: *Friction and wear behaviors of carbon and aramid fibers reinforced polyimide composites in simulated space environment*. Tribology International 2015, vol. 92, s. 246-254.
 12. Tian Y. Q., Huo J. L.: *The mechanical and tribological properties of carbon fiber reinforced POM composites*. Applied Mechanics and Materials 2012, vol. 182, s. 135-138.
 13. Long C., Hua M.: *Study on POM Composites Modified by Ekonol and Lubricant*. Journal of Thermoplastic Composite Materials 2005, vol. 18, s. 381-391.
 14. He R. M., Zhang D., Guo J., et al.: *Mechanical, thermal, and dynamic mechanical properties of long glass fiber-reinforced thermoplastic polyurethane/polyoxymethylene composites*. Polymer Composites 2014, vol. 35, s. 2067-2073.
 15. Yang S., Wang W., Yan X. et al.: *Toughened polyoxymethylene by polyolefin elastomer and glycidyl methacrylate grafted high-density polyethylene*. Polymer Engineering and Science 2017, vol. 57, s. 1119-1126.
 16. Unal T H., Mimaroglu A., Demir Z.: *Tribological performance of POM, PTFE and PSU composites used in electrical engineering applications*. International Journal of Polymeric Materials 2010, vol. 59, s. 808-817.
 17. Xiang U D., Gu C.: *A study on the friction and wear behavior of PTFE filled with ultra-fine kaolin particulates*. Material Letters 2006, vol. 60, s. 689-692.
 18. Brown E N., Dattelbaum D M.: *The role of crystalline phase on fracture and microstructure evolution of polytetrafluoroethylene (PTFE)*. Polymer 2005, vol. 46, s. 3056-3068.
 19. Huang T., Lu R., Wang H., et al.: *Investigation on the Tribological Properties of POM Modified by Nano-PTFE*, Journal of Macromolecular Science. Part B Physics 2011, vol. 50, s.1235-1248.
 20. He J., Zhang L., Li C. et al.: *The Effects of Copper and Polytetrafluoroethylene (PTFE) on Thermal Conductivity and Tribological Behavior of Polyoxymethylene (POM) Composites*. Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics 2011, vol. 50, s. 2023-2033.
 21. He J., Zhang L., Li C.: *Thermal conductivity and tribological properties of POM-Cu composites*. Polymer engineering and science 2010, vol. 50, s. 2153-2159.
 22. Gañán P., Mondragon I.: *Effect of Fiber Treatments on Mechanical Behavior of Short Fique Fiber-reinforced Polyacetal Composites*. Journal of Composite Materials 2005, vol. 39, s. 633-646.
 23. Li W., Xiang D. H., Lu Y. et al.: *Effects of Concentration of Alkaline Treated SF on the Tribological Properties of POM Composites Filled with LDPE and Sisal Fibers*. Advanced Materials Research 2012, vol. 415, s. 94-99.
 24. Dan-Mallam Y., Abdullah M. Z., Yusoff P. S. M. M.: *Influence of Recycling Frequency on Mechanical and Physical Properties of Kenaf Fiber Reinforced Polyoxymethylene Composite*. Journal of Natural Fibers 2016, vol. 13, s. 532-546.
 25. Espinach F. X., Granda L. A., Tarres Q., et al.: *Mechanical and micromechanical tensile strength of eucalyptus bleached fibers reinforced polyoxymethylene composites*. Composites Part B 2017, vol. 116, s. 333-339.
 26. Bledzki A. K., Mamuna A. A., Feldmann M.: *Polyoxymethylene composites with natural and cellulose fibres: Toughness and heat deflection temperature*. Composites Science and Technology 2012, vol. 72, s. 1870-1874.
 27. Kawaguchi K., Mizuguchi K., Suzuki K. et al.: *Mechanical and Physical Characteristics of Cellulose-Fiber-Filled Polyacetal Composite*. Journal of Applied Polymer Science 2010, vol. 118, s. 1910-1920.
 28. Porebska R., Rybak A., Kozub B. et al.: *Polymer matrix influence on stability of Wood polymer composite*. Polymers for Advanced Technologies 2015, vol. 26, s. 1076-1082.
 29. Chen T Y., Khan S F., Tan W H.: *Influence of processing methods on flexural strength in interwoven hemp/PET reinforced POM hybrid composite*. Journal of Physics: Conference Series 2017, vol. 908 012055.
 30. Wacharawichanant S. Wimonsupakit N., Kuhaudomlap S.: *Comparison of Morphology and Mechanical Properties of Polyoxymethylene/Cellulose and Poly(Lactic Acid)/Cellulose Composites*. Materials Science Forum 2018, vol. 916, s. 19-23.
 31. Singha K.: *A Short Review on Basalt Fiber*. International Journal of Textile Science and Engineering 2012, vol. 1, s. 19-28.
 32. Fiore V., Scalici T., Di Bella G., et al.: *A review on basalt fibre and its composites*. Composites Part B 2015, vol. 74, s. 74-94.
 33. Dhand V., Mittal G., Rhee K. Y., et al.: *A short review on basalt fiber reinforced polymer composites*. Composites Part B 2015, vol. 73, s. 166-180.
 34. Liu C., Long C., Chen L., et al.: *Mechanical and Tribological Properties of Short Basalt Fiber-reinforced Polyoxymethylene Composites*. Polymer (Korea) 2016, vol. 40, s. 836-845.
 35. Wang Y., Wang X., Wu D.: *Mechanical and tribological enhancement of polyoxymethylene-based composites with long basalt fiber through melt pultrusion*. Composite Interfaces 2016, vol. 23, s. 743-761.
- Data wpłynięcia artykułu do redakcji: 26-04-2018
Data akceptacji publikacji do druku: 17-06-2018