

Janusz W. SIKORA, Sebastian JAROSIŃSKI,
Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin,
e-mail: janusz.sikora@pollub.pl

PE-LLD napełniony rozdrobnionymi łuskami orzeszków ziemnych

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości mechanicznych, tj. wytrzymałości w próbie statycznego rozciągania, twardości i udarności liniowego polietylenu małej gęstości napełnionego rozdrobnionymi łuskami orzeszków ziemnych. Badania przeprowadzono przy różnym udziale masowym łusek dyni wynoszącym 0, 5, 10, 20, 30 oraz 40% i różnej wielkości ziarn napelniacza. Próbkę do badań uzyskano w procesie wtryskiwania. Stwierdzono wzrost współczynnika sprężystości wzdłużnej i twardości oraz spadek pozostałych badanych właściwości wraz ze wzrostem wielkości ziarn i udziału napelniacza.

Słowa kluczowe: moduł Younga, polietylen, statyczne rozciąganie, wtryskiwanie

LLDPE FILLED WITH SHREDDED PEANUT SHELLS

Abstract: The manuscript presents the results of testing the mechanical properties namely strength in the static tensile test, hardness and impact of linear low density polyethylene filled with shredded peanut shells. The tests were conducted at different mass content of pumpkin scales equaling 0, 5, 10, 20, 30 and 40% and different sizes of filler grains. The test samples were obtained in the process of injection moulding. It was stated that Young modulus and hardness increase while other tested properties decrease with the increase of grain size and filler content.

Keywords: Young modulus, polyethylene, static tension, injection moulding

1. WPROWADZENIE

Właściwości tworzyw napełnionych zależą nie tylko od rodzaju i właściwości geometrycznych napelniacza, tworzywa przetwarzanego, obecności składników dodatkowych, rozwiązania konstrukcyjnego układu uplastyczniającego, warunków przetworstwa, ale także od zawartości napelniacza i wielkości jego cząstek [1, 2, 3]. Zainteresowanie tworzywami napełnionymi, w szczególności napełnionymi odpadami pochodzącymi ze źródeł odnawialnych oraz ich właściwościami jest coraz większe, ze względu na szeroki zakres możliwych zastosowań oraz spełniania istotnej roli w ograniczaniu emisji CO₂ [4]. Jednym z najbardziej rozpowszechnionych napelniaczy jest mączka drzewna, która stanowi skład kompozytów polimerowo-drzewnych WPC. Połączenie napelniaczy drzewnych z polimerem termoplastycznym, daje materiał lekki, posiadający dobrą wytrzymałość mechaniczną i nadający się do ponownego przetworstwa [5, 6].

W pracy [3] stwierdzono, że mączka pozyskiwana z łupin orzechów włoskich i laskowych stanowić może dobry napelniacz kompozytów WPC na osnowie polietylenu, charakteryzujących się mniejszą od tradycyjnych kompozytów WPC, chłonnością wody. Z kolei, w [7] analizowano wpływ odpadów poprodukcyjnych w postaci zmielonych łupin orzecha włoskiego, orzecha laskowego, orzecha ziemnego, nasion truskawek, jak również wyłoków z czarnej porzeczki na właściwości sztywnych pianek poliuretanowych otrzymanych z udziałem bio-poliolu z oleju rzepakowego. Natomiast, Autorzy [8] badając właściwości mechaniczne tworzyw na osnowie liniowego polietylenu małej gęstości napełnionego rozdrobnionymi łuskami pestek dyni stwierdzili ich dobrą przydatność jako napelniacza, co może predysponować tego rodzaju tworzywa do różnych aplikacji.

Szczególna uwaga jest skupiona na podstawowych właściwościach mechanicznych,

w tym na właściwościach wytrzymałościowych, które stanowią podstawę oceny i istotne kryterium wyboru aplikacji polimerowych [2, 9].

Celem pracy jest określenie wpływu wielkości ziarn i masowej zawartości napełniacza w postaci rozdrobnionych łusek orzeszków ziemnych na właściwości mechaniczne otrzymanych polietylenowych wyprasek wtryskowych.

2. PROGRAM BADAŃ

Program badań obejmował dobór tworzywa jakim był polietylen małej gęstości, ilości i wielkości ziarn napełniacza w postaci rozdrobnionych łupin orzeszków ziemnych, metody przetwórstwa i metodyki badań poszczególnych właściwości. Ilość napełniacza w próbkach wynosiła 0, 5, 10, 20, 30 oraz 40% udziału masowego. Wstępne mieszanie tworzywa i napełniacza odbywało się w pojemniku za pomocą mieszadła mechanicznego, natomiast mieszanie ostateczne odbywało się w układzie uplastyczniającym wtryskarki, za pomocą której uzyskiwano próbki do badań wytrzymałościowych w próbie statycznego rozciągania. Z otrzymanych próbek, pozyskiwano także próbki do badań udarności i twardości. Badania wymienionych właściwości przeprowadzono zgodnie ze stosownymi normami.

3. MATERIAŁY

Do badań użyto sproszkowany liniowy polietylen małej gęstości (PE-LLD) o nazwie handlowej DOWLEX® i symbolu 2631.10EU, wyprodukowany przez The Dow Chemical Company. PE-LLD zawiera stabilizatory cieplny i UV. Tworzywo to jest przeznaczone, według producenta, do otrzymywania folii w procesie wytłaczania z rozdmuchiwaniami i wylewania, do wytwarzania powłok metodą wytłaczania, do wtryskiwania i odlewania rotacyjnego. Polietylen DOWLEX® jest wykorzystywany w wielu gałęziach przemysłu, np. w produkcji opakowań przemysłowych, spożywczych i medycznych. Niektóre właściwości tego tworzywa, według danych producenta, zostały zebrane w Tabeli 1.

Napełniaczem użytym w badaniach były rozdrobnione łuski orzeszków ziemnych. Proces przygotowania łusek orzeszków ziemnych obejmował ich mechaniczne rozdrabnianie za pomocą miksera oraz oddzielanie frakcji o określonej wielkości ziaren przy pomocy sit o rozmiarach oczek 0,4 mm, 0,8 mm, 1,2 mm oraz 1,6 mm. W efekcie końcowym uzyskano cztery frakcje proszków o wielkości ziaren zawierających się w przedziałach 0 – 0,4 mm; 0,4 – 0,8 mm; 0,8 – 1,2 mm oraz 1,2 – 1,6 mm.

Tab. 1. Podstawowe właściwości tworzywa stosowanego w badaniach

Tab. 1. The basic properties of the test polymer

Właściwość	Wartość
Gęstość 23 °C, kg/m ³	935
Masowy wskaźnik szybkości płynięcia(190 °C; 2,16 kg), g/10 min	7
Odkształcenie względne przy zerwaniu, %	419
Twardość Shore'a, 15s, °ShD	56
Temperatura odporności cieplnej HDT, B (0.45 MPa), °C	52
Temperatura mięknięcia wg. Vicata(A120 (120°C/h; 10N), °C	115
Temperatura topnienia, °C	124

4. STANOWISKO I PRÓBKKI DO BADAŃ

Badania przeprowadzono w Uniwersytecie Technicznym w Koszycach, wykorzystując wtryskarkę firmy Demag Mannesmann

GmbH, Ergotech pro 25-80 ze ślimakiem o średnicy 18 mm i stosunku L/D = 20 (rys. 1).

Do badań wytrzymałościowych użyto maszynę wytrzymałościową firmy Tira GmbH o symbolu Tira test 2300 (rys. 2).



Rys. 1. Wtryskarka Demag Ergotech pro 25-80 użyta w badaniach: 1 – panel sterujący, 2 – osłona układu narzędziowego, 3 – forma wtryskowa, 4 – zasobnik tworzywa

Fig. 1. Demag Ergotech pro 25-80 used in the testing: 1 – control panel, 2 – casing of the tool, 3 – injection mould, 4 – hopper



Rys. 2. Maszyna wytrzymałościowa Tira test 2300: 1 – górny uchwyt szczękowy, 2 – dolny uchwyt szczękowy, 3 – kolumny prowadzące, 4 – stół ruchomy, 5 – stół nieruchomy

Fig. 2. The static tension testing machine Tira test 2300 used in research: 1 – upper grip, 2 – lower grip, 3 – columns, 4 – upper crosshead, 5 – lower crosshead

Próby statycznego rozciągania wykonano z prędkością rozciągania 100 mm/min i dokładnością pomiaru siły rozciągającej 1N.

Badania udarności wykonano za pomocą aparatu Charpy'ego o symbolu 639 F, przy użyciu młota o energii 5J.

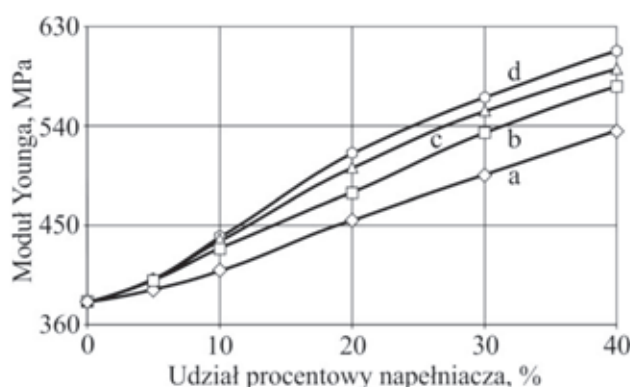
Twardość Shore'a oznaczono, wykorzystując twardościomierz firmy Affri Hardness Testers (Italy), stosując głowicę pomiarową przystosowaną do pomiarów według skali D.

Próbki do badań wytrzymałościowych typu 2, przygotowano i badanie przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 527-1:2012E oraz

PN-EN ISO 527-2:2012E. Próbki do badań udarności oraz badania udarności metodą Charpy wykonano według zaleceń normy PN-EN 179-1:2010E oraz PN-EN 179-2:2001/A1:2012E, natomiast próbki do badań twardości metodą Shore'a przygotowano i badania zrealizowano według normy PN-EN ISO 868:2005P.

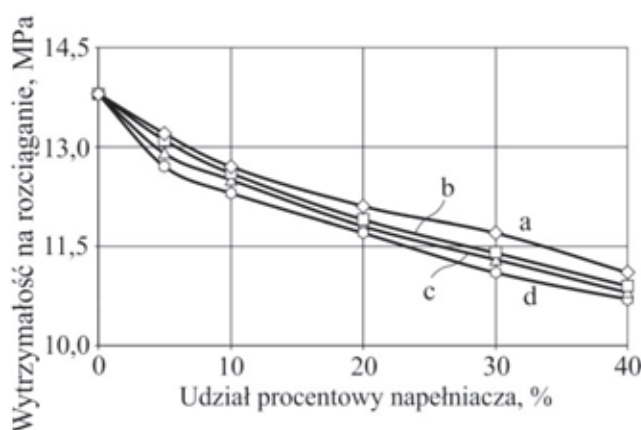
5. WYNIKI BADAŃ

W wyniku przeprowadzonych badań otrzymano rezultaty, które przedstawiono w postaci graficznej na rysunkach od 3 do 9. Na rysunkach



Rys. 3. Zależność modułu Younga polietylenu napełnionego rozdrobnionymi łuskami orzeszków ziemnych od różnej ich zawartości i rozmiarów ziarn: a) ziarna rozmiarów od 0 do 0.4 mm, b) ziarna rozmiarów od 0.4 do 0.8 mm, c) ziarna rozmiarów od 0.8 do 1.2 mm, d) ziarna rozmiarów od 1.2 do 1.6 mm

Fig. 3. The dependence of Young's modulus of filled polyethylene on different mass content of peanut powder for different filler size: a) lower than 0.4 mm, b) from 0.4 to 0.8 mm, c) from 0.8 to 1.2 mm, d) from 1.2 to 1.6 mm



Rys. 4. Zależność wytrzymałości na rozciąganie polietylenu napełnionego rozdrobnionymi łuskami orzeszków ziemnych od różnej ich zawartości i rozmiarów ziarn; oznaczenia, jak na rysunku 3

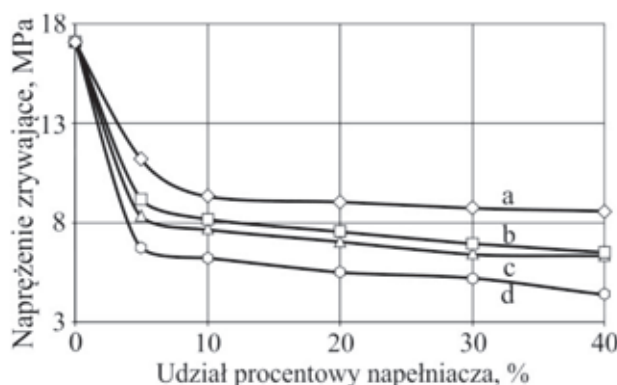
Fig. 4. The dependence of ultimate tensile strength of filled polyethylene on different mass content of peanut powder for different filler size: indications as in figure 3

od 3 do 7 pokazano zmiany, otrzymanych w próbie statycznego rozciągania, właściwości wytrzymałościowych, natomiast na rysunku 8 – zmiany udarności, a na rysunku 9 – zmiany twardości.

Moduł Younga napełnionego polietylenu wzrasta wraz ze wzrostem masowego udziału rozdrobnionych łusek orzeszków ziemnych, niezależnie od wielkości ziarn napełniacza (rys. 3). I tak, dla najbardziej rozdrobnionych łusek orzeszków ziemnych wzrost modułu Younga, przy wzroście ich udziału masowego do 40% wynosi 156 MPa, co stanowi zwiększenie o 41,05% w porównaniu z wartością początkową, a więc bez napełniacza. Natomiast, dla najmniej rozdrobnionych łusek, wzrost Modułu Younga wynosi 228 MPa, co

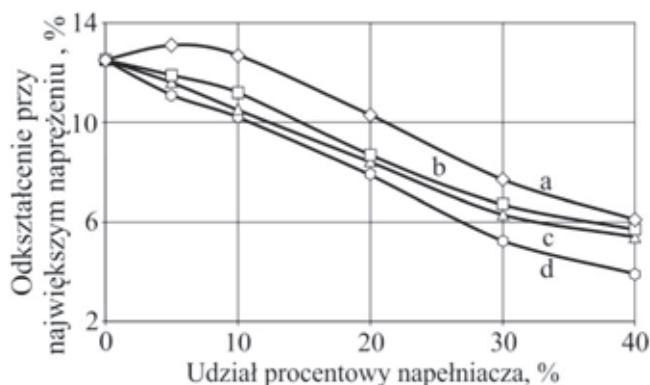
z kolei stanowi 60% wartości początkowej.

Maksymalne naprężenia rozciągające w wypraskach polietylenowych napełnionych rozdrobnionymi łuskami orzeszków ziemnych maleją wraz ze wzrostem zawartości badanego napełniacza (rys. 4). Dla najmniejszych rozmiarów ziarn łusek orzeszków ziemnych, w badanym zakresie zmienności ich udziału masowego, spadek wartości maksymalnego naprężenia rozciągającego wynosi 2,7 MPa, natomiast dla największych rozmiarów ziarn, spadek ten jest większy i wynosi 3,1 MPa. W pierwszym przypadku oznacza to 19,6% spadek wartości, a w drugim przypadku 22,5% w porównaniu do wartości wytrzymałości na rozciąganie otrzymanej bez tego napełniacza.



Rys. 5. Zależność naprężenia zrywającego polietylenu napełnionego rozdrobnionymi łuskami orzechów ziemnych od różnej ich zawartości i rozmiarów ziarn: oznaczenia jak na rysunku 3

Fig. 5. The dependence of tensile strength at break of filled polyethylene on different mass content of peanut powder for different filler size: indications as in figure 3



Rys. 6. Zależność odkształcenia przy największym naprężeniu rozciągającym polietylenu napełnionego rozdrobnionymi łuskami orzechów ziemnych od różnej ich zawartości i rozmiarów ziarn: oznaczenia jak na rysunku 3

Fig. 6. The dependence of strain at ultimate tensile strength of filled polyethylene on different mass content of peanut powder for different filler size: indications as in figure 3

Naprężenie zrywające badanych wyprasek również maleje wraz ze wzrostem udziału masowego użytego napełniacza proszkowego (rys. 5). Zwiększanie udziału masowego rozdrobnionych łusek orzeszków ziemnych w zakresie od 0 do 40% w otrzymanej wyprasce wtryskowej powoduje zmniejszenie naprężenia zrywającego o 49,82% przy napełnieniu badanego tworzywa najmniejszymi ziarnami.

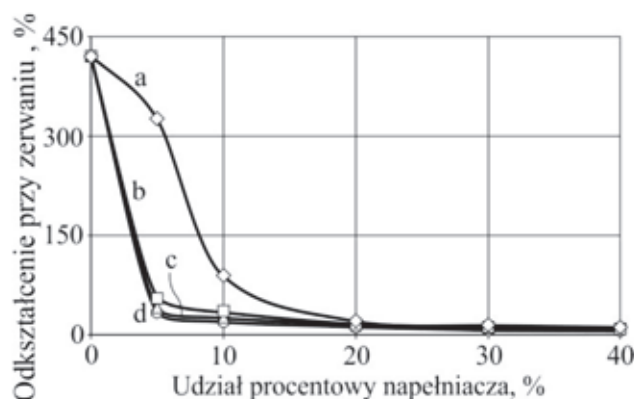
Natomiast, w przypadku napełnienia tworzywa największymi ziarnami łusek, zmniejszenie naprężenia zrywającego wynosi aż 74,4% wartości uzyskanej bez zastosowania napełniacza.

Odształcenie, przy największym naprężeniu rozciągającym, podobnie jak dwie poprzednie właściwości maleje wraz ze wzrostem zawartości napełniacza niezależnie od jego wielkości (rys. 6). Napełnienie badanego polietylenu ziarnami napełniacza łusek orzeszków ziemnych o najmniejszych rozmiarach w ilości 40% mas., skutkuje zmniejszeniem badanego odkształcenia o 6,4%, co stanowi 51,2% wartości początkowej oznaczonej bez udziału napełniacza. Z kolei, dla największych ziarn napełniacza, spadek wartości odkształcenia przy największym naprężeniu rozciągającym jest większy i wynosi 8,6%, co stanowi 68,6% wartości początkowej.

Zwiększaniu udziału masowego napełniacza w postaci rozdrobnionych łusek orzeszków ziemnych do 40% w badanym polietylenie skut-

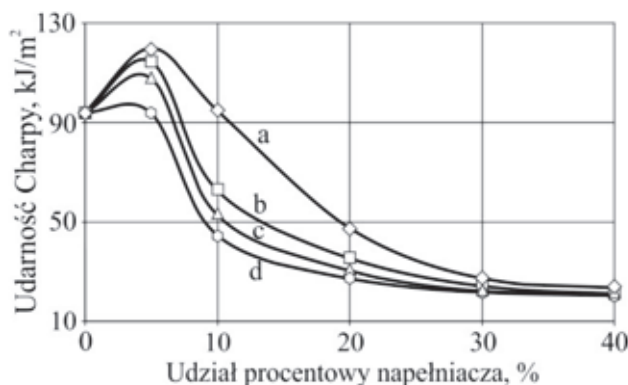
kuje bardzo gwałtownym spadkiem odkształcenia przy zerwaniu polietylenu napełnionego badanym napełniaczem już przy niewielkiej ilości ziarn wynoszącej 10% udziału masowego (rys. 7). Dalsze zwiększanie udziału masowego napełniacza również powoduje intensywne zmniejszanie badanej właściwości. Spadek wartości odkształcenia przy zerwaniu przy 10% udziale masowym napełniacza o największych rozmiarach ziarn wynosi 401,1%, co stanowi aż 95,5% wartości uzyskanej bez udziału napełniacza, dalszy spadek badanej właściwości wraz ze wzrostem udziału masowego napełniacza wynosi już tylko 13,6%.

Zastosowanie napełniacza w postaci rozdrobnionych łusek orzeszków ziemnych wpływa też na udarność otrzymanych tworzyw (rys. 8). W przypadku najmniejszych ziarn tego napełniacza niewielka ilość napełniacza (5%) powoduje zwiększenie udarności badanych próbek, ale dalsze zwiększanie udziału masowego rozdrobnionych łusek orzeszków ziemnych powoduje już spadek badanej właściwości. I tak, początkowy wzrost wartości udarności polietylenu napełnionego najmniejszymi ziarnami napełniacza wynosi 25,88 kJ/m², co stanowi 27,57% wartości początkowej, następnie następuje zmniejszanie się udarności do wartości 23,56 kJ/m², co stanowi 80,33% wartości uzyskanej przy 5% zawartości tego napełniacza.



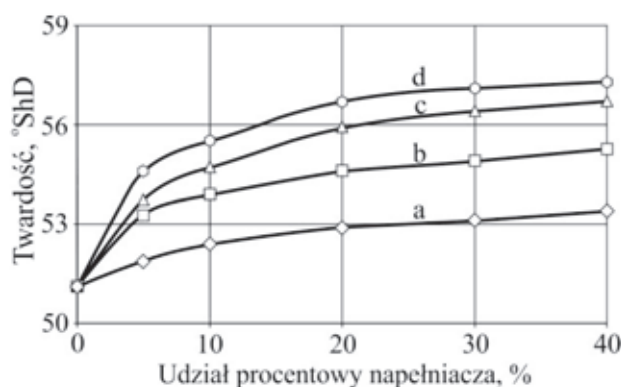
Rys. 7. Zależność odkształcenia przy zerwaniu polietylenu napełnionego rozdrobnionymi łuskami orzechów ziemnych od różnej ich zawartości i rozmiarów ziarn: oznaczenia jak na rysunku 3

Fig. 7. The dependence of strain at break of filled polyethylene on different mass content of peanut powder for different filler size: indications as in figure 3



Rys. 8. Zależność udarności Charpy polietylenu napelnionego rozdrobnionymi łuskami orzechów ziemnych od różnej ich zawartości i rozmiarów ziarn: oznaczenia jak na rysunku 3

Fig. 8. The dependence of Charpy impact of filled polyethylene on different mass content of peanut powder for different filler size: indications as in figure 3



Rys. 9. Zależność twardości polietylenu napelnionego rozdrobnionymi łuskami orzechów ziemnych od różnej ich zawartości i rozmiarów ziarn: oznaczenia jak na rysunku 3

Fig. 9. The dependence of hardness of filled polyethylene on different mass content of peanut powder for different filler size: indications as in figure 3

Twardość tworzyw napelnionych rozdrobnionymi łuskami orzeszków ziemnych wzrasta niezależnie od wielkości ziarn łuski napelnacza (rys. 8). Największy wzrost twardości zanotowano przy największych ziarnach i największym ich udziale masowym. I tak, wzrost ten wynosi od 51,1 °ShD przy tworzywie bez udziału napelnacza i 57,3 ShD przy 40% udziale masowym użytego napelnacza. Przy najmniejszych ziarnach analogiczny wzrost wartości badanej właściwości wynosi tylko 2,3 °ShD.

6. PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonych badań, stwierdzono wzrost współczynnika sprężystości wzdłużnej oraz spadek pozostałych badanych właściwości wytrzymałościowych, jak również wzrost twardości i zmniejszenie udarności. Spadki te mimo, że mogą wynosić nawet kilkadziesiąt procent w ujęciu procentowym w stosunku do wartości uzyskanych bez napelnacza, nie dyskwalifikują badanego napeł-

niacza jako interesującego składnika tworzyw polimerowych. Szczególnie interesujące wydają się aspekty dotyczące degradacji tego rodzaju tworzyw, jak również ich przetwarzalność, odporność cieplna i pozostałe właściwości mechaniczne, a także stopień zdyspergowania badanego napełniacza proszkowego w osnowie polimerowej oraz powstała struktura. Będzie to przedmiotem kolejnych badań.

BIBLIOGRAFIA

1. Alonso M., Velasco I. J., de Saja J. S.: *Constrained crystallization and activity of filler in surface modified talc polypropylene composites*. European Polymer Journal 1997, **33**, 3, 255-262.
2. Głogowska K., Sikora J. W., Duleba B.: *Effect of mechanical properties of metal powder filled hybrid moulded products*. Journal of Polymer Engineering 2016, **36**, 7, 705-712.
3. Chmielnicki B., Konieczny J.: *Właściwości kompozytów WPC o osnowie polietylenowej napełnionych mączką z łupin orzechów*. Przetwórstwo tworzyw 2014, **20**, 1, 12-20.
4. Korol J., Rydarowski H.: *Wytwarzanie i badanie właściwości biokompozytów polimerowych na bazie polietylenu i skrobi termoplastycznej*: http://www.composites.polsl.pl/article/11/26._KOROL%20Jerzy%20RYDAROWSKI%20Henryk%20_PO%20FORM.pdf.
5. Cyga R., Czaja K.: *Kompozyty polimerowe z napełniaczem roślinnym*. Przemysł chemiczny 2008, **87**, 9, 932-936.
6. Głowacka L., Zajchowski S.: *Właściwości i przetwarzanie kompozytów polimerowo-drzewnych*. Inżynieria i Aparatura Chemiczna 2005, **44**, 3s, 26-27.
7. Kurańska, M., Zieleniewska, M., Auguścik, M. i inni: *Zastosowanie odpadów poprodukcyjnych do wytwarzania sztywnych pianek poliuretanowych*. Przemysł chemiczny 2016, **95**, 2, 250-255.
8. Głogowska K., Sikora J. W.: *Properties of moldings prepared from LLDPE pumpkin seed hulls blend*. Advances in Science and Technology Research Journal 2017, **11**, - w druku.
9. Sikora J. W., Kliszowska A., Noack B.: *Właściwości mechaniczne kompozytu polietylenowego z proszkiem szklanym*. Przetwórstwo tworzyw 2016, **22**, 2, 100-108.

Data wpłynięcia artykułu do redakcji: 03-05-2017

Data akceptacji publikacji do druku: 10-05-2017