

# Ocena właściwości przetwórczych kompozytów polimerowo-drzewnych na podstawie poli(chlorku winylu)

Krzysztof LEWANDOWSKI, Stanisław ZAJCHOWSKI, Jacek MIROWSKI, Artur KOŚCIUSZKO  
– Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2011, 65, 4, 329-336

## Wstęp

Poszukiwania nowych materiałów o szczególnych właściwościach, jakich nie uzyskują tradycyjne materiały konstrukcyjne, przyczyniły się do dużego zainteresowania materiałami kompozytowymi [1]. Pomimo obserwowanego gwałtownego rozwoju przetwórstwa kompozytów, w literaturze brakuje definicji jednoznacznie je określającej i klasyfikującej [1 ÷ 3]. Autorzy Powszechnej Encyklopedii PWN, definiują kompozyt jako: (łac. *compositus* „złożony”), tworzywo złożone z co najmniej dwóch składników (osnowy i wzmocnienia) tak dobranych, by każdy, zachowując swoje właściwości, nadawał kompozytowi jako całości właściwości lepsze i/lub nowe (dodatkowe) [4].

Definicja ujmuje główny cel tworzenia nowych kompozytów; określa możliwość projektowania i wpływania na właściwości ostatecznego produktu, które zdeterminowane są przez rodzaj i zawartość poszczególnych składników kompozytu [1, 2], jak również warunków jego przetwórstwa [5].

Wytwarzanie kompozytów zalicza się do fizycznej modyfikacji polimerów, pozwalającej na poprawę ich właściwości mechanicznych, odporności cieplnej i/lub chemicznej, poprawę właściwości przetwórczych, możliwie z jednoczesnym obniżeniem ceny [3].

Jedną z obiecujących i dynamicznie rozwijających się metod modyfikacji tworzyw termoplastycznych jest użycie drewna jako napelnacza. Otrzymane kompozyty polimerowo-drzewne, w literaturze światowej nazywane są WPC (*Wood-Plastic Composites*) i – jak wynika z definicji – posiadają właściwości dające im przewagę nad drewnem i tworzywem termoplastycznym. Zalety drewna to mała gęstość, niskie właściwości cieplne, relatywnie niski koszt oraz zdolność do biodegradacji. Jego wady kompensowane są przez osnowę polimerową, co w efekcie nadaje produktom WPC interesujące właściwości konstrukcyjne i użytkowe przy zachowaniu atrakcyjnego wyglądu. Wytwory takie można stosować jako zamiennik drewna w warunkach, gdzie wyrób narażony jest na częsty lub stały kontakt z wodą, np. pomosty, tarasy, baseny, ławki, a także w budownictwie, przemyśle motoryzacyjnym, architekturze ogrodowej [6, 7].

Połączenie naturalnego biodegradowalnego drewna z tworzywem polimerowym sprawia, że WPC uważane są za produkty ekologiczne, a aspekt ten tym bardziej jest podkreślany, gdy oba surowce pochodzą z recyklingu. Dodatkową zaletą kompozytów jest możliwość ich wielokrotnego przetwarzania [7 ÷ 10].

Możliwe jest również zastosowanie odpadów technologicznych PVC nie zawsze nadających się do ponownego przetwórstwa [11, 12], do produkcji dobrych jakościowo produktów WPC.

## Cel pracy

Celem było ustalenie wpływu temperatury przetwórstwa na wybrane właściwości przetwórcze i mechaniczne poli(chlorku winylu) (PVC) i jego mieszanin, z napelnaczem drzewnym (PVC/WF), podczas przetwórstwa metodą wtryskiwania i wytłaczania, za pomocą wytłaczarki plastografometru Brabendera.

## Surowce

W pracy użyto mieszanki typu *dry blend*, opartej na poli(chlorku winylu) S-58 (ANWIL SA), zawierającej układ stabilizatorów oraz sma-

rów wewnętrznych i zewnętrznych, których zadaniem było ułatwienie przetwórstwa kompozycji PVC/drewno. Jako napelnacz drzewny zastosowano mączkę sosnową frakcji 0,25-0,5 mm (WF), otrzymaną w Zakładzie Technologii Polimerów UTP.

## Metodyka badań

### Przygotowanie granulatu

Suchą mieszkankę PVC wytłoczono przy użyciu wytłaczarki jednoślismakowej T-32 (Metalchem Gliwice) wyposażonej w ślimak L/D=28 przy D=32 mm, obroty ślimaka wynosiły 9 obr/min. Kontrolę temperatury wytłaczania prowadzono w czterech niezależnych strefach grzewczo-chłodzących wytłaczarki oraz dwóch niezależnych segmentach głowicy. Użyto głowicy wytaczarskiej, uzbrojonej w dyszę o wymiarach L/D = 30/5. Wytłaczanie prowadzono przy zachowaniu stałej temperatury w układzie uplastyczniającym wytłaczarki, która wynosiła kolejno: 140°C, 150°C, 160°C, 170°C, 185°C. Wytłoczony z każdej wymienionej temperatury wytłaczania zgranulowano za pomocą młyna udarowego.

Otrzymane przemiały i ich mieszaniny z mączką drzewną, suszoną 3 h w temp. 105°C i dodawaną do PVC bezpośrednio przed przetworzeniem, posłużyły do dalszych badań. Udział mączki drzewnej w WPC wynosił 30%.

### Badanie procesu wytłaczania

Przemiały PVC i oddzielnie ich mieszaniny z drewnem, poddano procesowi wytłaczania za pomocą jednoślismakowej laboratoryjnej wytłaczarki plastografometru Brabendera. Regulowano temperaturę za pomocą dwóch stref grzejnych cylindra oraz jednej na łączniku cylinder-głowica. Wytłaczanie prowadzono w temperaturze w zakresie 140 -185°C, odpowiadającej temperaturze, w której otrzymano przetwarzany granulatu PVC. Użyto głowicę o przekroju prostokątnym o wymiarach 10x4 mm i długości 130 mm, o powierzchni wewnętrznej napyłonej teflonem. Zastosowanie takiego typu głowicy pozwala na formowanie profilu i jednoczesną jego kalibrację. Temperatura głowicy zależała od temperatury przetwórstwa i zmniejszała się wraz z odaleniem od łącznika cylinder-głowica. Wynosiła ona odpowiednio dla różnej temperatury przetwórstwa (temperatura przetwórstwa/początek głowicy/koniec głowicy): 140°C/103°C/93°C, 150°C/112°C/98°C, 160°C/120°C/104°C, 170°C/125°C/110°C, 185°C/129°C/114°C. Na podstawie prób ustalono prędkość obrotową ślimaka 20 obr/min. Podczas procesu wytłaczania dokonywano pomiaru momentu obrotowego na ślimaku ( $M_{obr}$ ), ciśnienia przed wejściem do głowicy ( $P$ ), oraz wydatku ( $W$ ). Otrzymane listewki posłużyły do oznaczania właściwości mechanicznych.

### Badanie procesu wtryskiwania

Przemiały oraz sporządzone mieszaniny PVC/WF posłużyły również do badania procesu wtryskiwania przy użyciu wtryskarki Wh-80 Ap. Temperaturę na cylindrze i dyszy wtryskowej utrzymywano, w miarę możliwości, taką samą jak w przypadku wytłaczania określonego przemiału.

Wtryskiwanie prowadzono do gniazda formy w kształcie wiosełek, zgodnych z PN ISO 527 lub w kształcie spirali Archimedesesa.

W przypadku wtryskiwania, stosowano następujące parametry: wtrysk – 5 s, docisk – 0,3 s, chłodzenie 78 s, obroty ślimaka 110 obr/min. Temperatura gniazda formy wynosiła 75°C. Oznaczono wzdłużny skurcz przetwórczy wiosełkowych wyprasek wtryskowych. Pomiaru dokonywano z dokładnością 0,01 mm co najmniej 48 h po ich otrzymaniu. Wypraski poddano również badaniom właściwości mechanicznych.

Punkt wtrysku, w przypadku głowicy spiralnej, znajdował się w centrum spirali, kanał ramienia miał głębokość 1,7 mm i szerokość 6 mm. Formę chłodzono za pomocą wody do temperatury 17°C. Formowanie kształtek spiralnych przeprowadzono przy następujących parametrach wtrysku: wtrysk – 2 s, docisk – 0,5 s, chłodzenie 42 s, obroty ślimaka 110 obr/min. Długość otrzymanych spiral mierzono za pomocą specjalnie przygotowanego przyrządu.

### Oznaczanie właściwości mechanicznych

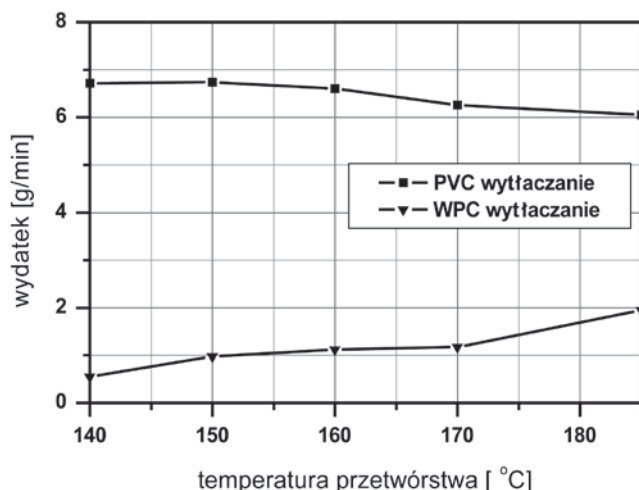
Wiosełka oraz wycięte z wytłoczonych listewek odcinki poddano badaniom wybranych właściwości mechanicznych. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu, wykonano za pomocą wytrzymałościowej maszyny TIRA test 2200. Badanie prowadzono przy parametrach: prędkość rozciągania 10 mm/s, odległość między szczękami 100 mm. Podczas pomiaru mierzono: wytrzymałość na rozciąganie ( $\sigma_M$ ), wydłużenie względne przy zerwaniu ( $\varepsilon_B$ ). Pomiar udarności metodą Charpy'ego wykonano wg normy PN-ISO 179-1 stosując uderzenie płaszczyznowe młota o energii uderzenia 4 J. Badania przeprowadzono na prostokątnych beleczkach o wymiarach około 80x10x4 mm wyciętych z wiosełek i wytłoczonych listewek. We wszystkich przypadkach temperatura pomiaru wynosiła 21°C.

### Wyniki

#### Wytłaczanie

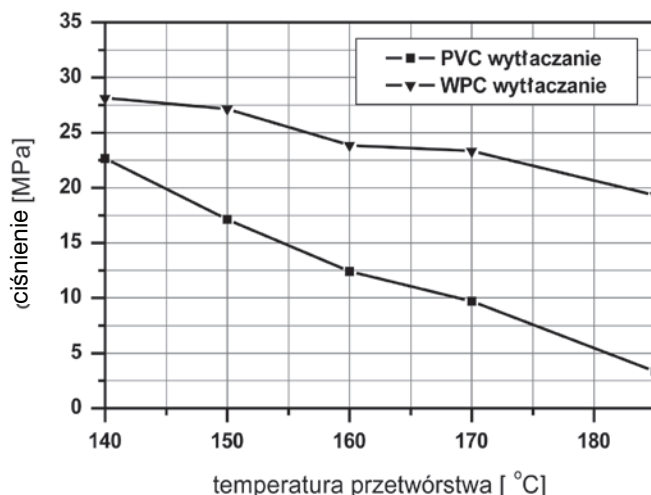
Wytłaczanie przemiałów PVC nie nastrocza żadnych problemów w całym zakresie zastosowanej temperatury przetwórstwa, a jej wzrost powoduje nieznaczny spadek wydatku (rys. 1). Zależność ta przedstawia się odmiennie w przypadku wytłaczania kompozytów. Pomimo nawet dwunastokrotnego obniżenia wydatku w porównaniu z czystą osnową, podczas przetwórstwa PVC/WF, ulega on zwiększeniu z 0,6 g/min (140°C) do 1,9 g/min (185°C).

Wzrost temperatury przetwórstwa powoduje spadek ciśnienia tworzywa przed wejściem do głowicy, zarówno w przypadku wytłaczania nienapełnionego *dry blendu* poli(chlorku winylu) jak i kompozytu (rys. 2). Napełnienie osnowy polimerowej cząstkami drewna powoduje zwiększenie lepkości i oporów przepływu stopionej masy kompozytu przez głowicę, co przejawia się wzrostem ciśnienia wytłaczania z 3,4 MPa dla PVC do 19,3 MPa dla PVC/WF podczas prze-



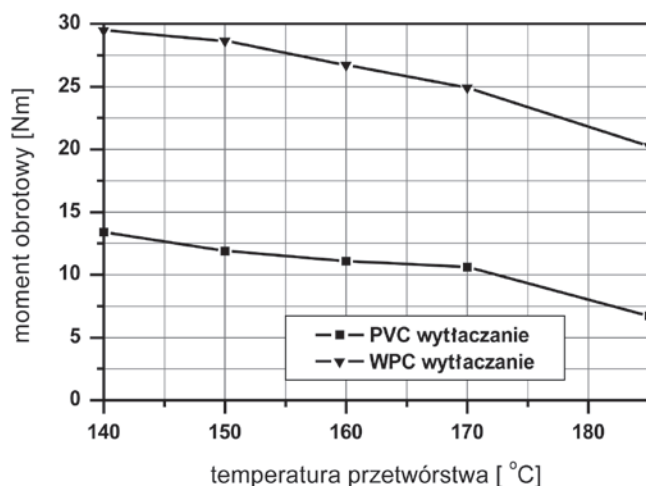
Rys. 1. Wpływ temperatury przetwórstwa na wydatek w procesie wytłaczania PVC oraz kompozytów PVC/WF

twórstwa w 185°C, gdzie różnica ta jest największa. W przypadku wytłaczania kompozytu, spadek ciśnienia wraz ze wzrostem temperatury jest mniej gwałtowny w porównaniu do PVC.



Rys. 2. Wpływ temperatury przetwórstwa na ciśnienie tworzywa przed wejściem do dyszy w procesie wytłaczania PVC oraz kompozytów PVC/WF

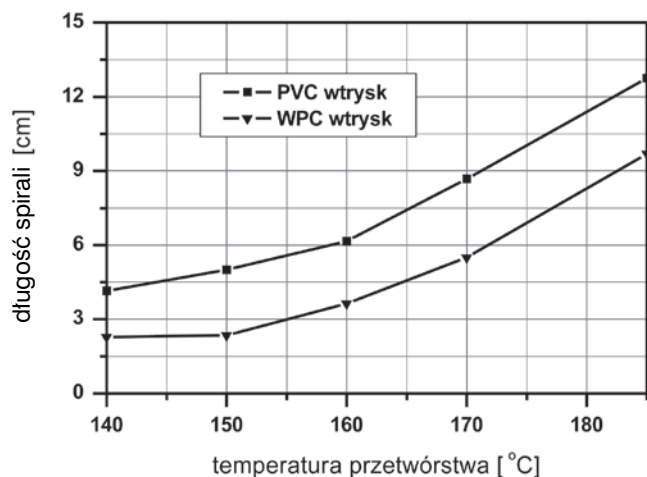
Zmiana wspomnianych wartości ciśnienia, lepkości i oporu przepływu uwidoczniła się również w wartościach momentu obrotowego, powodującego ruch obrotowy ślimaka w trakcie wytłaczania. W każdym przypadku następuje jego spadek wraz ze wzrostem temperatury przetwórstwa. Zależności te przedstawiono na rysunku 3. W przypadku wytłaczania mieszaniny PVC/mączka drzewna w 140°C, obserwowany jest ponad dwukrotnie większy moment obrotowy przyłożony do ślimaka (28,5 Nm) w porównaniu z PVC (13,4 Nm).



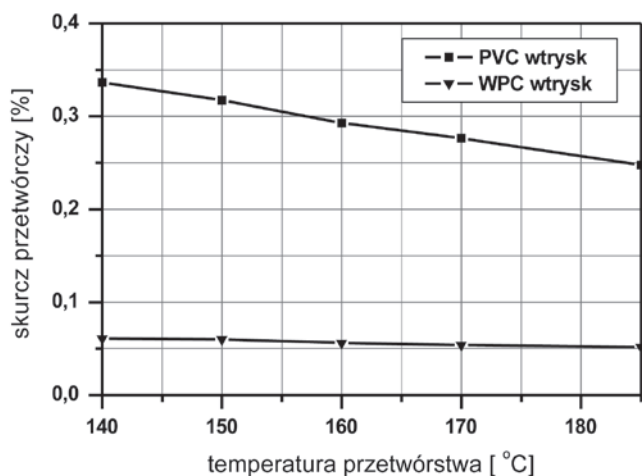
Rys. 3. Wpływ temperatury przetwórstwa na moment obrotowy przyłożony do ślimaka w procesie wytłaczania PVC oraz kompozytów PVC/WF

### Wtryskiwanie

Pomiary długości spiral pokazały, w jakim stopniu dodatek mączki drzewnej do osnowy poli(chlorku winylu) wpływa na zdolność do wypełnienia gniazda formy. Jak już wspomniano, dodatek cząstek drewna zwiększa opory przepływu w narzędziach przetwórczych. Przejawia się to również zmniejszeniem długości spiral kompozytowych w stosunku do spiral z czystego polimeru, otrzymywanych w temperaturze 150°C nawet o 53%. Wzrost temperatury wtryskiwania, znacząco wpływa na poprawę zdolności do wypełnienia gniazda formy spiralnej. Zależności te przedstawiono na wykresie (rys. 4).



Rys. 4. Wpływ temperatury wtryskiwania na długość otrzymanej spirali dla PVC i PVC/WF



Rys. 5. Wpływ temperatury wtryskiwania na wartość skurczu liniowego wyprasek wiósełkowych z PVC i PVC/WF

Na wykresie (rys. 5) przedstawiono zależność skurczu liniowego ( $S_L$ ) mierzonego dla długości wiósełek PVC i PVC/WF wtryskiwanych w różnej temperaturze. Poli(chlorek winylu) należy do tworzyw o małym stopniu krystaliczności, dlatego wartość skurczu liniowego jest niewielka. Jednakże zwiększenie temperatury wtryskiwania z 140°C do 185°C powoduje dodatkowo obniżenie wartości  $S_L$  o 26,5%.

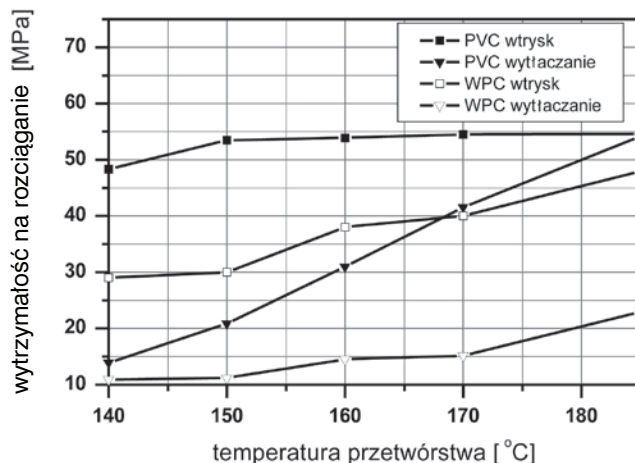
W czasie trwania docisku następuje uzupełnienie strat skurczowych stygnącego tworzywa. Trwa ono aż do momentu zestalenia tworzywa w kanale wtryskowym. Zatem, podczas procesu wtryskiwania w temperaturze najwyższej (185°C) wydłużony czas stygnięcia PVC pozwala na lepsze przenoszenie ciśnienia kompensującego wartość skurczu [13]. Dodatkowo, wzrost temperatury przetwórstwa powoduje wzrost stopnia żelowania PVC, a wraz z nim sprężystości tworzywa [14], które w lepszym stopniu wypełnia gniazdo formy.

Dodatek mączki drzewnej do PVC w znaczący sposób wpływa na obniżenie omawianej właściwości, z tym że zmiany te są już prawie niezależne od temperatury przetwórstwa.

#### Właściwości mechaniczne

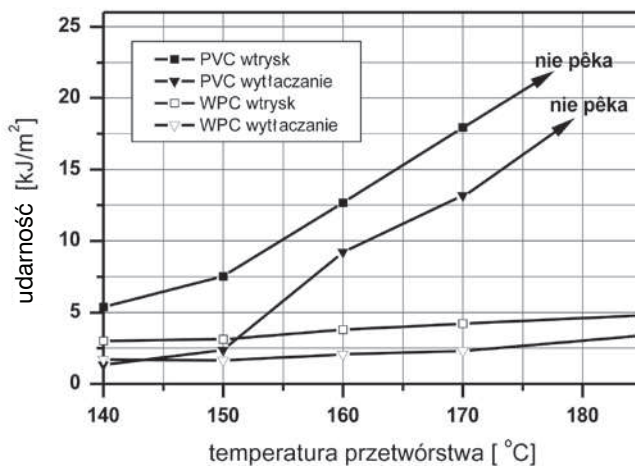
Na wykresie (rys. 6) przedstawiono zależność wytrzymałości na rozciąganie ( $\sigma_M$ ) wiósełek i wytłoczyn w postaci listwek z PVC i kompozytu WPC, w zależności od temperatury przetwórstwa.

Podwyższenie temperatury przetwórstwa powoduje wzrost stopnia żelowania poli(chloroku winylu), co wpływa na zwiększenie wartości wytrzymałości na rozciąganie, zarówno w przypadku PVC jak i kompozytów na nim opartych. Dla wytłoczyn w postaci listwek



Rys. 6. Wpływ temperatury przetwórstwa na wartość wytrzymałości na rozciąganie PVC i PVC/WF otrzymanych metodą wtryskiwania i wytłaczania

z PVC, wzrost temperatury od 140°C do 185°C powoduje zwiększenie wartości wytrzymałości na rozciąganie, z 13,9 MPa do 54,4 MPa. Zbliżona wartość  $\sigma_M$  dla listwek i wtryskiwanych wiósełek, osiągnięta jest dopiero w temperaturze przetwórstwa 185°C. Wytrzymałość na rozciąganie wiósełek z PVC wtryskiwanych w temperaturze 140°C jest wyraźnie niższa od próbek otrzymanych w wyższej temperaturze. Pomiędzy temperaturą wtryskiwania 150°C a 185°C, różnice w wytrzymałości na rozciąganie są nieznaczne. Dodatek mączki drzewnej do PVC powoduje obniżenie właściwości mechanicznych, w porównaniu do nienapełnionej osnowy polimerowej. W przypadku kompozytów, PVC/mączka drzewna wzrost temperatury przetwórstwa powoduje zwiększenie wartości  $\sigma_M$  nawet o 90%. Należy zwrócić uwagę, że w przypadku kompozytów sposób przetwórstwa ma duży wpływ na omawianą wartość. Kompozytowe kształtki wtryskowe wykazują zdecydowanie wyższą wytrzymałość na rozciąganie w porównaniu z wytłoczonymi listwekami, nawet przy najwyższej zastosowanej temperaturze wytwarzania.



Rys. 7. Wpływ temperatury przetwórstwa na wartość udarności PVC i PVC/WF otrzymanymi metodą wtryskiwania i wytłaczania

Na wykresie (rys. 7) przedstawiono przebieg zmiany udarności dla wytłoczyn i wiósełek PVC i PVC/WF. Wzrost temperatury przetwórstwa powoduje zwiększenie udarności PVC i PVC/WF, przy czym dla nienapełnionego tworzywa jest on dużo większy. Wytłoczyny i wiósełka z PVC, otrzymane przy najwyższej zastosowanej temperaturze, nie ulegają zniszczeniu podczas badania. Zauważyć można, iż dodatek do osnowy polimerowej napełniacza drzewnego wpływa na wyraźne obniżenie omawianej wartości niezależnie od zastosowanej metody przetwórstwa.



## Wnioski

Wzrost temperatury przetwórstwa wpływa na poprawę właściwości mechanicznych PVC i kompozytów PVC/WF, zarówno w procesie wytłaczania jak i wtryskiwania. W przypadku przetwórstwa PVC i PVC/WF metodą wtryskiwania, otrzymuje się wyroby o wyższych wartościach badanych właściwości mechanicznych. Zmiany te należy wiązać ze wzrostem stopnia zżelowania PVC [14, 15]. Pomiar charakteryzujący proces wytłaczania i wtryskiwania ukazały, z jakimi problemami może się spotkać potencjalny przetwórcza kompozytów WPC z osnową z poli(chloroku winylu). Tym samym wykonane badania wykazały, iż zastosowanie mieszanki typu *dry blend* o odpowiednio dobranym składzie umożliwia przetwórstwo PVC/WF w całym proponowanym zakresie temperatury, przy użyciu klasycznych narzędzi przetwórczych.

Praca finansowana ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz ze środków budżetu państwa w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007-2013. Umowa o dofinansowanie projektu nr UDA-POIG.01.03.01-00-092/08-00

## Literatura

- Hyla I., Ślężona J.: *Kompozyty – elementy mechaniki i projektowania*. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
- Owsiak Z.: *Materiały kompozytowe wybrane zagadnienia*. Wyd. Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2006.
- Koszkul J.: *Materiały polimerowe*. Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1999.
- www.encyklopedia.pwn.pl.
- Lewandowski K., Zajchowski S., Tomaszewska J.: *Wpływ temperatury wytłaczania na właściwości kompozytów PVC/drewno*. Inżynieria i Aparatura Chemiczna 2010, **5**, 71-72.
- Zajchowski S., Tomaszewska J., Ryszkowska J., Sterzyński T.: *Zjawiska reologiczne podczas przetwórstwa WPC*. Przetwórstwo materiałów polimerowych p. red. Koszkula J., Bociągi E.: Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2008.
- Klyosov A.: *Wood – Plastic Composites*. Wiley – Interscience, Hoboken 2007.
- Jiang H., Kamdem D. P.: *Development of Poly(vinyl chloride)/Wood Composites. A Literature Review*. Journal of Vinyl&Additive Technology 2004, **10**, 59 – 69.
- Ashori A.: *Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries*. Bioresource Technology 2008, **99**, 4661-4667.
- Pełka J., Kowalska E.: *Modyfikacja tworzyw termoplastycznych włóknami celulozowymi z makulatury*. Polimery 2001, **46**, 201-207.
- Tomaszewska J., Zajchowski S., Sterzyński T., Lewandowski K.: *Badania plastografometryczne PVC i recyklatu PVC napelnionego mączką drzewną*. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej – Budowa Maszyn i Zarządzanie Produkcją 2010, **12**, 249-355.
- Tomaszewska J., Ryszkowska J., Zajchowski S., Lewandowski K., Mirowski J.: *Badania kompozytów polimerowo-drewnych na osnowie z nadziaren PVC, Recykling i odzysk materiałów polimerowych materiały-technologie-utyliczacja, praca zbiorowa pod red. Błędzkiego A. K., Tartakowskiego Z.* Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, Szczecin 2010, 139-142.
- Zawistowski H., Frenkler D.: *Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych*. WNT, Warszawa 1984.
- Zajchowski S., Piszczek K., Tomaszewska J.: *Żelowanie nieplastyfikowanego poli(chloroku winylu) w procesie przetwórstwa*. Polimery 2001, **46**, 232-243.
- Zajchowski S., Lewandowski K., Tomaszewska J., Mirowski J., Kuciel S.: *Ocena zmian stopnia zżelowania PVC w kompozytach polimerowo-drewnych*. Czasopismo Techniczne-Mechanika 2009, **1-M/2009**, 409-413.

Mgr inż. Krzysztof LEWANDOWSKI jest absolwentem Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy (2009). Wyróżniony przez SITPCHEM II nagrodą w konkursie na najlepszą pracę dyplomową z obszaru chemii. Obecnie kontynuuje naukę na studiach III stopnia na kierunku Budowa i Eksploatacja Maszyn na Uniwersytecie Technologiczno-Przyrodniczym w Bydgoszczy. Obecnie pracuje w Zakładzie Technologii Polimerów UTP. Zainteresowania naukowe: przetwórstwo i zastosowanie kompozytów polimerowo-drewnych. Jest autorem i współautorem 6. artykułów w prasie naukowo technicznej i autorem lub współautorem 9. referatów i posterów na konferencjach krajowych.

Dr Stanisław ZAJCHOWSKI jest absolwentem Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu (1969), na którym uzyskał stopień naukowy doktora (1978). Od 1969 r. do dnia dzisiejszego jest pracownikiem Zakładu Technologii Polimerów Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy (wcześniej Wyższa Szkoła Inżynierska i Akademia Techniczno-Rolnicza) obecnie na stanowisku docenta. Zainteresowania naukowe: modyfikacja i recykling poli(chloroku winylu), nowoczesne techniki przetwórstwa tworzyw polimerowych, przetwórstwo i zastosowanie kompozytów polimerowo-drewnych. Jest autorem i współautorem ponad 150. artykułów w prasie naukowo technicznej i autorem lub współautorem 65. referatów i posterów na konferencjach krajowych i zagranicznych.

Mgr inż. Jacek MIROWSKI jest absolwentem Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy (2006). Obecnie pracuje w Zakładzie Technologii Polimerów UTP. Zainteresowania naukowe: przetwórstwo i zastosowanie polimerów i kompozytów polimerowo-drewnych. Jest autorem i współautorem 30. artykułów w prasie naukowo technicznej oraz takiej samej ilości referatów i posterów na konferencjach krajowych i zagranicznych.

Mgr inż. Artur KOŚCIUSZKO ukończył studia magisterskie na wydziale Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy (UTP). Obecnie kontynuuje naukę na studiach doktorskich na kierunku Budowa i Eksploatacja Maszyn na Uniwersytecie Technologiczno-Przyrodniczym w Bydgoszczy, realizując jednocześnie pracę doktorską w Zakładzie Technologii Polimerów UTP. Zainteresowania naukowe: analiza termiczna, modyfikacja struktury krystalicznej polimerów, kompozyty polimerowo-drewno, kompozyty jednopolimerowe. Jest autorem i współautorem 5. artykułów oraz takiej samej ilości referatów i posterów na konferencjach krajowych i zagranicznych.

