

JOLANTA TOMASZEWSKA^{*)}, STANISŁAW ZAJCHOWSKI

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej
Zakład Technologii Polimerów
ul. Seminaryjna 3, 85-326 Bydgoszcz

Właściwości mechaniczne i struktura mieszanin recyklatów polietylenu i poli(chlorku winylu) napełnionych mączką drzewną

Streszczenie — Mieszaniny recyklatów PVC/PE o różnym składzie i kompozyty na ich osnowie, zawierające 15 %, 30 % lub 50 % mas. mączki drzewnej przetwarzano w komorze plastografometru Brabendera. Zbadano właściwości mechaniczne żelowanych mieszanin i kompozytów oraz oznaczono temperaturę mięknięcia wg Vicata. Przeprowadzono obserwacje metodą mikroskopii optycznej i elektronowej. Stwierdzono, że dodatek niemieszalnego polimeru w mieszaninie pogarsza jej właściwości mechaniczne, a najmniej korzystne cechy wykazują mieszaniny, w których stosunek zawartości obu składników wynosi 1:1. Dodatek napełniacza drzewnego do osnowy, w skład której wchodzi dwa trudnomieszalne polimery powoduje ujednorodnienie struktury osnowy a w konsekwencji poprawę właściwości kompozytów.

Słowa kluczowe: mieszanina recyklatów PVC/PE, kompozyty polimerowo-drzewne, plastografometr Brabendera, właściwości mechaniczne.

STUDY ON THE MECHANICAL PROPERTIES AND STRUCTURE OF THE COMPOUNDS OF PE/PVC RECYCLATES FILLED WITH WOOD FLOUR

Summary — The compounds of PVC/PE recyclates of various compositions and composites with the matrix of these blends, containing 15, 30 and 50 wt. % wood flour were processed in the Brabender measuring mixer. The mechanical properties of the gelated compounds and composites as well as Vicat softening temperature were determined. SEM and optical microscopy examination was also performed. It has been found, that the addition of an immiscible polymer decreases the mechanical properties of the blend, and that the least advantageous properties were displayed by the compound with a PVC:PE ratio of 1 to 1. The research showed that an addition of wood filler to the matrix containing two immiscible polymers results in a more homogeneous matrix structure and consequently an improvement in the properties of composites.

Keywords: compound of PVC/PE recyclates, wood polymer composites, Brabender measuring mixer, mechanical properties.

WSTĘP

Z produkcją polimerów wielkotonazowych wiąże się duża ilość powstających odpadów technologicznych i komunalnych. Polimery masowego stosowania, tj. PE, PP i kopolimery propylenu, PVC, PS i PET, używane również jako tworzywa inżynieryjne i konstrukcyjne, stanowią główne strumienie w łańcuchu przemian surowce — odpady [1].

Ilość odpadów można zmniejszyć, ponownie je wykorzystując w wyniku, np. recyklingu materiałowego [2]. Aby otrzymać tworzywo wtórne o dobrych właściwościach przetwórczych, a po jego przetworzeniu wytwó-

o zadowalających cechach użytkowych, niezbędna jest operacja sortowania odpadów polimerowych. W praktyce przemysłowej nie zawsze jednak jest możliwe precyzyjne ich rozdzielenie [1, 3]. Zdarza się często, że odpad technologiczny składa się z więcej niż jednego rodzaju tworzywa [3, 4]. Odpady, zwykle w postaci przemiału, mogą zawierać nawet kilkuprocentową domieszkę innego polimeru. Polimer ten może być ponadto niemieszalny z polimerem podstawowym i wówczas produkty otrzymane z takich mieszanin wykazują zdecydowanie gorsze właściwości mechaniczne [5–7] oraz zróżnicowaną kinetykę krystalizacji [8]. Zdarza się zatem, że zanieczyszczenie jednego tworzywa drugim, często w znacznych ilościach, dyskwalifikuje taki materiał jako surowiec do dalszego przetwórstwa. Można oczywiście przeprowadzić dokładną separację, ale musi być ona

^{*)} Autor do korespondencji; e-mail: jolanta.tomaszewska@utp.edu.pl

poprzedzona identyfikacją poszczególnych składników mieszaniny. Do tego celu mogą być wykorzystane różne metody, m.in. optyczne i termooptyczne, spektroskopii fluorescencji rentgenowskiej, spektroskopii masowej lub spektroskopii w bliskiej podczerwieni [9]. Ocena rodzaju, jakości i ilości poszczególnych składników, jak również ich segregacja jest jednak bardzo kosztowna [1, 3]. Problem ten dotyczy również mieszanin recyklatów poli(chloroku winylu) z poliolefinami [10].

W przypadku wspomnianych mieszanin stwierdzono m.in., że ich właściwości mechaniczne w istotnym stopniu zależą od zawartości i stopnia zdyspersgowania PE w drugim, dominującym pod względem udziału, składniku mieszaniny, tj. PVC. Rodzaj polietylenu i jego ciężar cząsteczkowy nieznacznie wpływają na te właściwości, wyraźnie zmieniając jednak temperaturę zeszklenia i temperaturę rozkładu PVC [6]. Na zmianę temperatury zeszklenia i temperatury rozkładu PVC, będącego składnikiem mieszaniny PVC/PE, wpływa też krotność jej wytlaczania [11]. Często mamy do czynienia również z sytuacją odwrotną, jeszcze bardziej niekorzystną z punktu widzenia przetwórcy, gdy w dominującej masie PE, jako drugi składnik występuje PVC [4].

Poprawę właściwości mechanicznych, zwłaszcza udarności mieszanin PE-LLD i PVC ze składnikami dodatkowymi (ditlenek tytanu, poliizopren lub poliwinylpirydyna) można uzyskać w wyniku poddania takiego układu działaniu promieniowania elektronowego o dużej energii. Wartość udarności wytworzonego materiału zależy przy tym nie tylko od udziału wymienionych składników w mieszaninie, ale również od warunków mieszania [12].

Poprawę współmieszalności kompozycji polimerowych można osiągnąć również na drodze wprowadzenia do mieszaniny promotorów kompatybilizacji [13–17]. Dodanie podczas reaktywnego wytłaczania, do mieszaniny poliolefin modyfikatora w postaci, np. metakrylanu glicydyłu skutkuje poprawą właściwości mechanicznych kompozycji, zwłaszcza udarności [18]. Perspektywną metodą umożliwiającą skuteczną homogenizację mieszanin odpadów niekompatybilnych polimerów, bez konieczności wcześniejszego ich sortowania jest opracowany niedawno przetwórczy proces pulweryzacji w przepływie ścinającym w wytłaczarce. Nowa technologia pozwala przy tym na wspólne przetwarzanie polimerów o wyraźnie różnej lepkości, np. poliolefin, PS, PVC [19].

Jednym ze sposobów zagospodarowania odpadów tworzyw polimerowych, nienadających się do recyklingu materiałowego, może być zastosowanie ich jako osnowy kompozytów z napelniaczami naturalnymi, szczególnie z mączką drzewną. Ze względu na wysoką cenę granulatów pierwotnych, do wytworzenia takich kompozytów najchętniej wykorzystuje się recyklaty lub regranulaty [20–26]. Nie opisano dotychczas badań nad możliwością zastosowania w charakterze osnowy mieszaniny recyklatów poli(chloroku winylu) i polietylenu, prawdopodobnie ze względu na znany z literatury efekt

znacznego pogorszenia właściwości materiałów otrzymanych z wzajemnie niemieszalnych składników. Mimo to, podjęliśmy próby otrzymania kompozytów polimero-drzewnych na osnowie dwóch różnych, niezdefiniowanych pod względem składu mieszanin PVC i PE, dostarczonych przez firmy recyklingowe. Uzyskane pozytywne wyniki były inspiracją do przeprowadzenia badań na wytypowanych przez nas mieszaninach zawierających zróżnicowane lecz zdefiniowane ilości PVC i PE, o znanym pochodzeniu. Podobny, do stosowanego w niniejszej pracy udział PVC i PE może występować w przemysłowych mieszaninach recyklatów.

Celem naszych badań było określenie właściwości mieszanin recyklatów PVC i PE-HD oraz możliwości ich wykorzystania do wytwarzania kompozytów polimero-drzewnych z różną zawartością napelnacza.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Materiały

– Przemiał polietylenu dużej gęstości PE-HD (Tipe-lin BA 550-13) z odpadów technologicznych rurek cienkościennych (masowy wskaźnik szybkości płynięcia $MFR_{190^{\circ}C/21kg/8/2} = 39,2$ g/10 min);

– Przemiał poli(chloroku winylu) PVC, pochodzący z technologicznych odpadów profili okiennych ($MFR_{190^{\circ}C/21kg/8/2} = 1,2$ g/10 min, stabilność termiczna $_{190^{\circ}C} = 18$ min);

Oba przemiaty pochodziły z produkcji krajowych przetwórców tworzyw polimerowych.

– Napelniacz z drewna sosny Lignocel L9 (wielkość cząstek ok. 1 mm) firmy Rettenmaier & Söhne GmbH + Co.

Przygotowanie próbek do badań

Przemiaty PE-HD i PVC oraz ich mieszaniny o różnym udziale PE-HD (5, 10, 50, 90 lub 95 % mas.) ugniatały w komorze plastografometru Brabendera typ Plasti-Corder Pl 2200-3. Termostatowaną komorę o pojemności 50 cm³ napelniano każdorazowo 56 g mieszaniny. Tworzywa ugniatały w komorze o temperaturze $T_K = 185$ °C stosując szybkość obrotową głównego rotora 30 min⁻¹, przy frykcji 1:1,5. W identycznych warunkach przetwarzano kompozyty na osnowie mieszanin przemiatów PVC i PE-HD (o składzie podanym wyżej) z zawartością 15, 30 i 50 % mas. mączki drzewnej w stosunku do każdej z mieszanin. Czas ugniatań wynosił 10 min.

Uplastycznione mieszaniny i kompozyty na ich osnowie, po ochłodzeniu rozdrabniano a uzyskany przemiał prasowano w temp. 180 °C, pod ciśnieniem w gnieździe formy wynoszącym 8 MPa. Z otrzymanych wyprasek o grubości 4 mm wycinano kształtki do badań udarności metodą Charpy'ego oraz oznaczenia temperatury mięknienia metodą Vicata. Po zamrożeniu kształtek w ciekłym azocie wykonano przełomy do obserwacji struktury metodą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM).

W powyższych warunkach wykonano również wypraski o grubości 1 mm, które wykorzystano do badań właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu oraz do obserwacji struktury metodą mikroskopii optycznej.

Metody badań

– Badania termiczne przemiałów wykonano metodą różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC), przy użyciu aparatu Phoenix DSC 204 F1 Netzsch w standardowych warunkach: próbki o masie 10 mg ogrzewano w temperaturze 30–220 °C (PE-HD) i 60–220 °C (PVC) z szybkością grzania 5 °C/min.

W przypadku recyklatu PE-HD przeprowadzono dwa cykle badań: w trakcie ogrzewania i chłodzenia.

– Masowy wskaźnik szybkości płynięcia (*MFR*) oznaczano zgodnie z PN-EN ISO 1133:2006, stosując plastometr obciążnikowy Dynisco typ D4004DE.

– Stabilność termiczną przemiału PVC oznaczono według PN-C-89265-4:1998.

– Strukturę napylnych złotem powierzchni przełomów mieszanin PE-HD i PVC oraz kompozytów na ich osnowie z mączką drzewną obserwowano za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego Zeiss EVO 40. Przeprowadzono również obserwacje metodą mikroskopii optycznej w świetle przechodzącym i odbitym za pomocą mikroskopu Nikon Eclipse.

– Właściwości mechaniczne przy statycznym rozciąganiu badano przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Instron 5960, wg PN-EN ISO 527-1.

– Udarność metodą Charpy'ego określano wg PN-EN ISO 179-1:2010.

– Oznaczenie temperatury mięknięcia wg Vicata prowadzono wg PN-EN ISO 306.

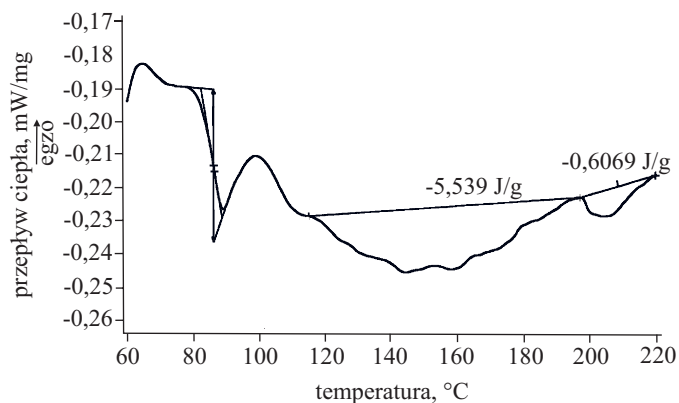
WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Recyklaty PVC i PE-HD

W celu zdefiniowania recyklatów określano wartość ich *MFR* i stabilność termiczną, wykonano także analizę termiczną metodą DSC.

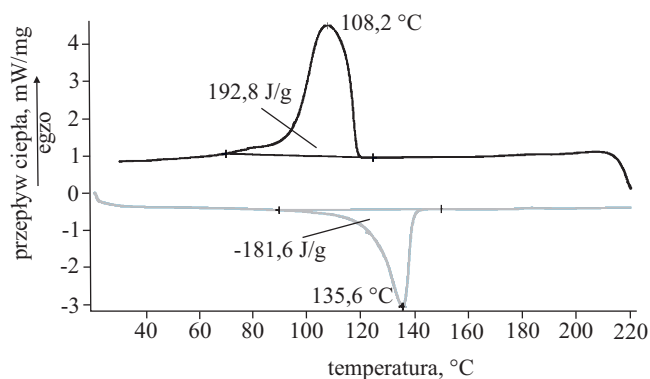
Przemiał polietylenu charakteryzował się wartością *MFR* = 39,2 g/10 min, natomiast przemiał PVC wartością *MFR* = 1,2g g/10 min. Stabilność termiczna PVC wynosiła 18 min.

Na podstawie badań metodą DSC stwierdzono, że przebiegi termogramów stosowanych w niniejszej pracy recyklatów polietylenu i poli(chloroku winylu) nie różnią się od przebiegu krzywych DSC polimerów pierwotnych. Na termogramie PVC są widoczne dwie, charakterystyczne dla zżelowanej nieplastyfikowanej mieszanki, szerokie endotermie topnienia krystalitów pierwotnych i wtórnych (rys. 1). Na termogramie DSC przemiału PE-HD (rys. 2), w pierwszym cyklu ogrzewania jest widoczny pik endotermiczny w temp. 135,6 °C, związany z topnieniem fazy krystalicznej. W cyklu chłodzenia jest



Rys. 1. Termogram DSC recyklatu PVC

Fig. 1. DSC thermogram of PVC recylate



Rys. 2. Termogram DSC recyklatu PE-HD

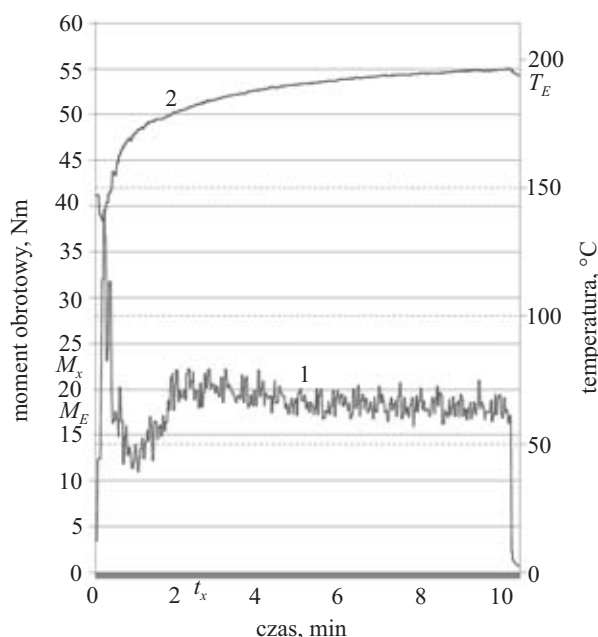
Fig. 2. DSC thermogram of PE-HD recylate

widoczny natomiast pik egzotermiczny w temp. 108 °C, związany z krystalizacją tego polimeru.

Mieszanki recyklatów PVC/PE-HD

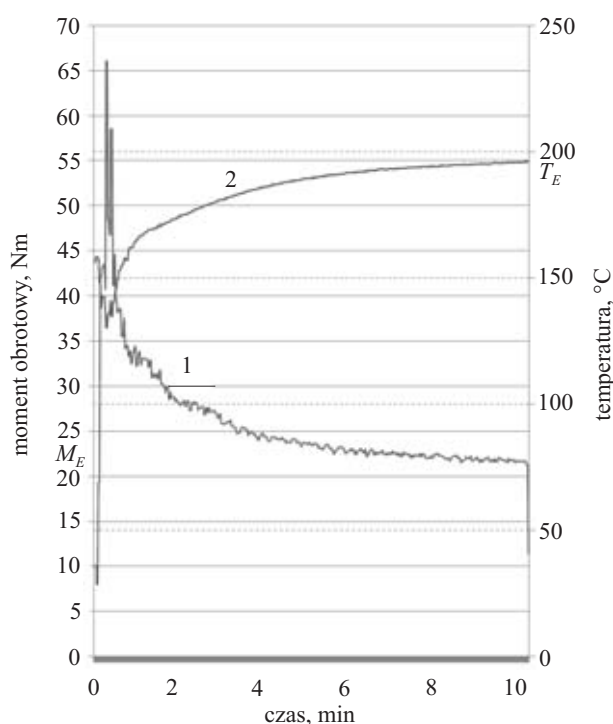
Przebieg plastogramów ugniatania mieszanin PVC z udziałem 5 lub 10 % mas. PE-HD, jest charakterystyczny dla ugniatania nieplastyfikowanego PVC. Po początkowym wzroście wartości momentu obrotowego, związanym z załadowaniem materiału do komory, obserwuje się drugie maksimum (M_X) związane z żelowaniem PVC (rys. 3), a następnie moment obrotowy maleje i ustala się stan równowagi (M_E). Rzeczywista temperatura mieszaniny w trakcie ugniatania rośnie, osiągając wartość maksymalną w stanie równowagi (T_E).

W przypadku, gdy fazę ciągłą stanowi PE-HD, przebieg plastogramów jest odmienny. Po początkowym wzroście momentu obrotowego, związanym z załadowaniem materiału do komory, jego wartość maleje i po około 10 min zbliża się do stanu równowagi (rys. 4). Malejąca w czasie ugniatania wartość momentu obrotowego jest związana ze stopniowym uplastycznianiem materiału i zmniejszaniem się jego lepkości. Temperatura ugniatającej mieszaniny łagodnie rośnie osiągając wartość prak-



Rys. 3. Plastogram mieszaniny 90 % PVC/10 % PE; 1 – moment obrotowy, 2 – temperatura

Fig. 3. Plastogram of 90 % PVC/10 % PE compound; 1 – torque, 2 – temperature



Rys. 4. Plastogram mieszaniny 90 % PE/10 % PVC; 1 – moment obrotowy, 2 – temperatura

Fig. 4. Plastogram of 90 % PE/10 % PVC compound; 1 – torque, 2 – temperature

tycznie biorąc stałą, po 10 minutach, równocześnie z ustaleniem się stanu równowagi momentu obrotowego.

W przypadku mieszanin z różną zawartością PE-HD, w których fazę ciągłą stanowi PVC, wartości maksymalnego momentu obrotowego (M_X) i momentu w stanie

równowagi (M_E) maleją wraz z rosnącym udziałem przeziaru PE w mieszaninie. Skróceniu ulega czas upływający do chwili wystąpienia momentu maksymalnego (t_X) oraz obniża się rzeczywista temperatura (T_E) ugniatanej masy, związana z osiągnięciem przez moment obrotowy stanu równowagi. W przypadku mieszanin, których fazę ciągłą stanowi PE, moment ten rośnie wraz z rosnącym udziałem PVC (tabela 1).

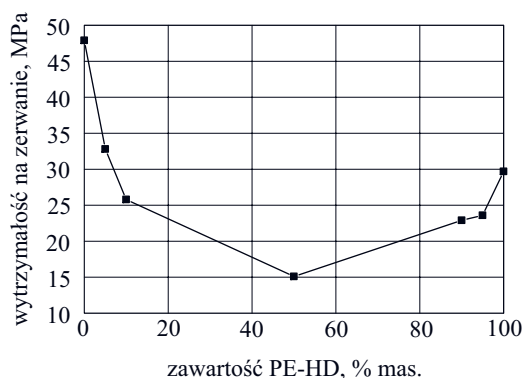
Tabela 1. Wartości M_X , M_E , t_X , T_E ugniatanych mieszanin PVC/PE-HD

Table 1. The M_X , M_E , t_X , T_E values of kneaded PVC/PE-HD compounds

Skład mieszanin PVC/PE-HD %/ %	M_X , Nm	M_E , Nm	t_X , min	T_E , °C
100/0	26,0	26,0	4,0	200
95/5	21,0	22,0	4,0	198
90/10	20,5	18,0	2,0	193
50/50	ok. 20,0	17,5	ok. 1 min	194
0/100	–	17,5	–	193
5/95	–	21,5	–	192
10/90	–	22,5	–	193

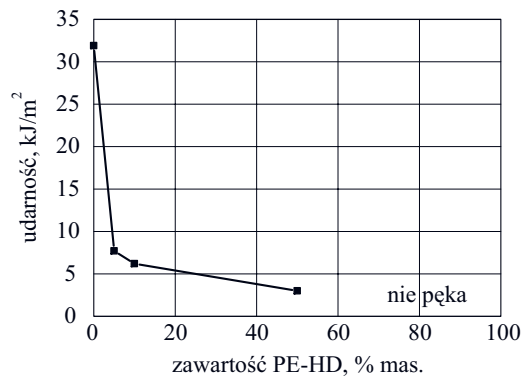
Z zależności wytrzymałości na zerwanie w funkcji składu mieszaniny PVC/PE-HD (rys. 5) wynika, że rosnący udział jednego ze składników powoduje pogorszenie tej wytrzymałości. Istotne jest, że wytrzymałość na zerwanie mieszanin zawierających 5–10 % drugiego składnika wynosi powyżej 20 MPa. Jest to wartość wystarczająca, aby takie mieszaniny można było zastosować do produkcji wytworów, których użytkowanie wymaga spełnienia określonych kryteriów wytrzymałościowych.

Przebieg zależności udarności w funkcji składu mieszaniny PVC/PE-HD przedstawia rys. 6. Gdy fazę dominującą w mieszaninie stanowi recyklat PVC, wówczas



Rys. 5. Zależność wytrzymałości na zerwanie w funkcji zawartości PE-HD w mieszaninie z PVC

Fig. 5. Dependence of the tensile strength of PVC/PE-HD compound on the PE-HD content

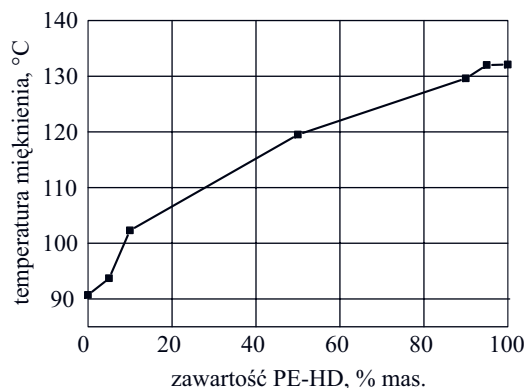


Rys. 6. Zależność udarności w funkcji zawartości PE-HD w mieszaninie z PVC

Fig. 6. Dependence of the impact strength of PVC/PE-HD compound on the PE-HD content

Dodatek przemiału PE-HD powoduje znaczne pogorszenie udarności, w przypadku zaś, gdy fazą ciągłą jest PE-HD, niezależnie od udziału PVC, wszystkie próbki nie pękają.

Zaobserwowano również wyraźny wzrost temperatury mięknięcia wg Vicata mieszaniny PVC/PE-HD wraz z rosnącym udziałem polietylenu (rys. 7).

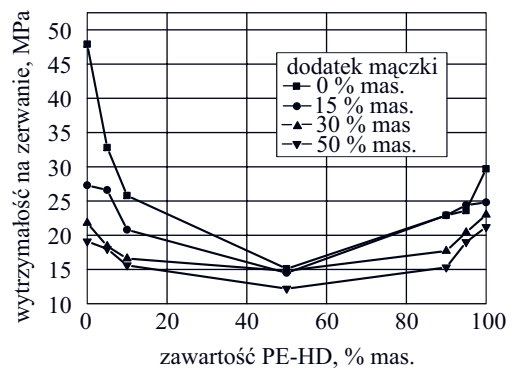


Rys. 7. Zależność temperatury mięknięcia w funkcji zawartości PE-HD w mieszaninie z PVC

Fig. 7. Dependence of the softening temperature of PVC/PE-HD compound on the PE-HD content

Kompozyty drzewne na osnowie mieszanin recyklatów PE-HD/PVC

Wiadomo, że dodatek mączki drzewnej do tworzyw termoplastycznych, zarówno w postaci granulatu pierwotnych, jak i recyklatów, powoduje pogorszenie wytrzymałości na zerwanie. W przypadku jednak, gdy osnowę w postaci mieszaniny niemieszalnych ze sobą polimerów napełnimy mączką drzewną, to właściwości otrzymanych kompozytów w mniejszym stopniu zależą od składu osnowy niż w przypadku mieszaniny bez udziału drzewnego napełniacza.

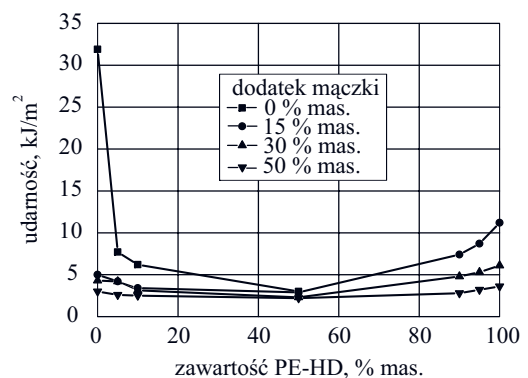


Rys. 8. Zależność wytrzymałości na zerwanie w funkcji zawartości PE-HD w mieszaninie z PVC, stanowiącej osnowę kompozytu z różną zawartością mączki drzewnej

Fig. 8. Dependence of the tensile strength of PVC/PE-HD compound, as the matrix of composites with various concentration of wood flour (WF), on the PE-HD content

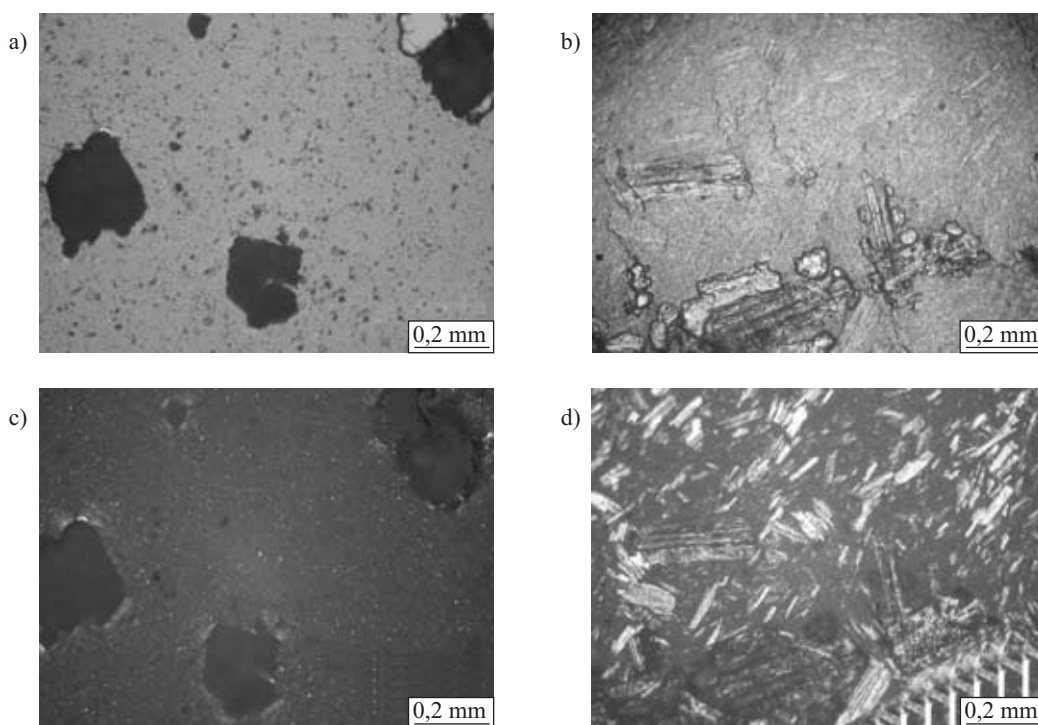
Dodatek mączki drzewnej do osnowy zawierającej 5 % mas. recyklatu PE-HD lub PVC w mieszaninie powoduje nieznaczne zmniejszenie wytrzymałości na zerwanie w porównaniu ze zmianą wytrzymałości kompozytu z mączką drzewną, którego osnowę stanowi recyklat tylko jednego rodzaju (rys. 8). Należy zauważyć, że wytrzymałość na zerwanie takich kompozytów z zawartością do 10 % mas. PE-HD w PVC lub PVC w PE-HD ma zbliżoną wartość.

Podobnie przedstawia się zależność udarności w funkcji składu osnowy polimerowej kompozytów z różną zawartością napełniacza (rys. 9). Dodatek napełniacza drzewnego powoduje pogorszenie udarności w porównaniu z udarnością mieszanin nienapełnionych. W tym przypadku również można stwierdzić wyraźnie mniejszy wpływ na udarność składu mieszaniny stanowiącej osnowę kompozytu niż składu mieszaniny bez udziału napełniacza drzewnego.



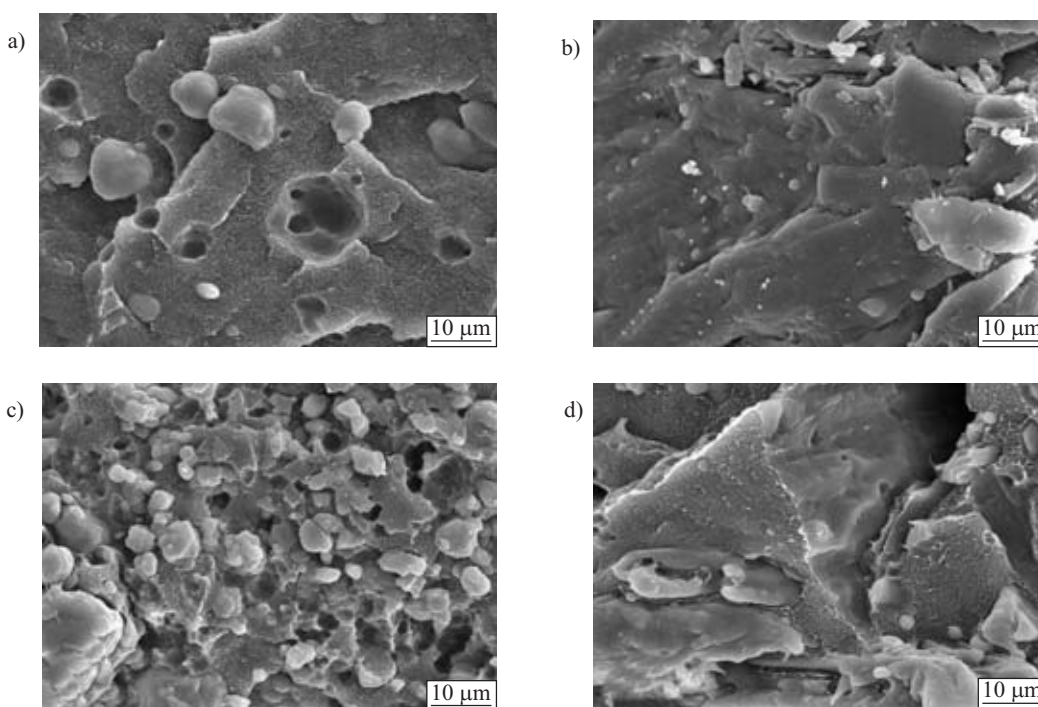
Rys. 9. Zależność udarności w funkcji zawartości PE-HD w mieszaninie z PVC, stanowiącej osnowę kompozytu z różną zawartością mączki drzewnej

Fig. 9. Dependence of the impact strength of PVC/PE-HD compound, as the matrix of composites with various concentration of wood flour (WF), on the PE-HD content



Rys. 10. Obrazy próbek mieszanin otrzymane metodą mikroskopii optycznej: a, c) 90 % PE/10 % PVC; b, d) 90 % PE/10 % PVC/15 % mączki drzewnej; a, b) światło przechodzące; c, d) światło spolaryzowane

Fig. 10. Optical microscopy images of the compound samples: a, c) 90 % PE/10 % PVC; b, d) 90 % PE/10 % PVC/15 % wood flour; a, b) transmitted light; c, d) polarized light



Rys. 11. Obrazy SEM powierzchni przelomów próbek: a) 95 % PE/5 % PVC, b) 95 % PE/5 % PVC/15 % mączki drzewnej, c) 90 % PE/10 % PVC, d) 90 % PE/10 % PVC/15 % mączki drzewnej; powiększenie 5000×

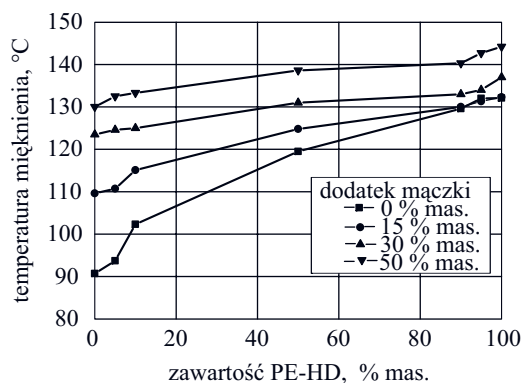
Fig. 11. SEM images of the sample fracture surfaces: a) 95 % PE/5 % PVC, b) 95 % PE/5 % PVC/15 % wood flour, c) 90 % PE/10 % PVC, d) 90 % PE/10 % PVC/15 % wood flour; magnification: 5000×

Efekt ten można wytłumaczyć korzystnym wpływem napelnacza drzewnego na ujednorodnienie struktury osnowy, co potwierdzają zdjęcia z obserwacji metodą

mikroskopii optycznej i elektronowej. Na zdjęciu folii, otrzymanej po sprasowaniu wstępnie przetworzonej w komorze plastografometru, mieszaniny zawierającej 10 %

recyklatu PVC w fazie ciągłej PE-HD, widać wyraźnie niejednorodnie zdyspergowane cząstki PVC zarówno w postaci drobin, jak i większych wtrąceń (rys. 10a, 10c, 11a, 11c). Po dodaniu do osnowy recyklatów 15 % mas. mączki drzewnej wymiary wtrąceń są zdecydowanie mniejsze (rys. 10b, 10d), a na niektórych fragmentach przełomów próbek są prawie niewidoczne (rys. 11b, 11d). Świadczy to o korzystnym wpływie napełniacza na ujednorodnienie osnowy kompozytu, prawdopodobnie w wyniku większych naprężeń ścinających w materiale, występujących podczas ugniatania w komorze plastografometru, skutkujących zwiększonym tarcim cząstek napełniacza drzewnego o cząstki przemiału PVC oraz cząstek przemiału PVC o cząstki przemiału PE-HD. Poznanie dokładnego mechanizmu strukturalnych przemian zachodzących podczas ujednorodniania mieszanin niemieszalnych polimerów z napełniaczem drzewnym wymaga jednak dalszych badań.

Na zdjęciach próbek wykonanych w świetle spolaryzowanym (rys. 10b, 10d) jest widoczna drobnokrystaliczna struktura ciągłej fazy PE-HD oraz drobniejsze włókna napełniacza w ujednorodnionej osnowie mieszaniny PVC/PE-HD.



Rys. 12. Zależność temperatury wg Vicata w funkcji składu kompozytów drzewnych na osnowie mieszaniny recyklatów PVC/PE-HD

Fig. 12. Dependence of the Vicat softening temperature on the compositions of wood polymer composites with PVC/PE recycle compound matrix

Obserwacje mikroskopowe prowadzą do wniosku, że do wytwarzania kompozytów drzewnych można stosować recyklaty PVC lub PE-HD zanieczyszczone dodatkiem drugiego składnika, ponieważ dodatek napełniacza drzewnego poprawia homogeniczność takich mieszanin.

Na rysunku 12 przedstawiono zależność temperatury mięknienia wg Vicata w funkcji składu osnowy polimerowej kompozytów oraz zawartości napełniacza. Dodatek mączki drzewnej wyraźnie podnosi tę temperaturę w porównaniu z temperaturą mięknienia mieszanin nie-napełnionych, zwłaszcza w przypadku, gdy fazę ciągłą w osnowie kompozytu stanowi PVC. Wzrost temperatu-

ry mięknienia próbek kompozytów napełnionych 50 % mas. mączki drzewnej wyniósł 40 °C.

Obserwowane zjawisko zasługuje na podkreślenie, gdyż nieplastyfikowany PVC często nie może być wykorzystywany, zwłaszcza w wyrobach konstrukcyjnych, ze względu na zbyt niską temperaturę mięknienia. Zastosowanie mączki drzewnej, zarówno w mieszaninach recyklatów z przeważającym udziałem PVC, jak i w samym PVC znacznie rozszerza możliwości użycia tego polimeru.

WNIOSKI

Mieszaniny recyklatów PE-HD i PVC można wykorzystać do wytwarzania kompozytów polimero-drzewnych, zwłaszcza wtedy gdy dodatek jednego ze składników nie przekracza ok. 10 % mas.

Wprowadzenie napełniacza drzewnego do osnowy, którą stanowią dwa niemieszalne polimery skutkuje zwiększeniem naprężeń ścinających w mieszaninie a to z kolei powoduje zwiększenie jednorodności osnowy. Wpływa to korzystnie na wybrane właściwości mechaniczne.

Na uwagę zasługuje uzyskany efekt podwyższenia temperatury mięknienia kompozytów na skutek dodatku napełniacza drzewnego, szczególnie widoczny w przypadku, gdy osnowa zawiera powyżej 90 % mas. recyklatu PVC. Zjawisko pozwala na potencjalne rozszerzenie zakresu zastosowań kompozytów w podwyższonej temperaturze.

Celowa byłaby kontynuacja badań obejmujących zastosowanie w charakterze osnowy kompozytów, mieszanin odpadów polimerów o podobnych cechach przetwórczych, definiowanych, np. wartością wskaźnika szybkości płynięcia.

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

1. Rejewski P., Kijeński J.: *Polimery* 2010, 55, 711.
2. Tomaszewska J., Ryszkowska J., Zajchowski S., Lewandowski K., Mirowski J.: w pracy zbiorowej „Recykling i odzysk materiałów polimerowych materiały-technologie-utylicacja” (red. Błędzki A. K., Tartakowski Z.), Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, Szczecin 2010, str. 139–142.
3. Szostak M.: „III Środkowo-Europejska Konferencja Recykling Materiałów Polimerowych. Nauka-Przemysł”, Krynica 2004, Wyd. IChP Warszawa, str. 51–52.
4. Szostak M., Trzeciak M.: „III Środkowo-Europejska Konferencja Recykling Materiałów Polimerowych. Nauka-Przemysł”, Krynica 2004, Wyd. IChP Warszawa, str. 130.

5. Prachayawarakorn J., Khamsri J., Chaochanchaikul K., Sombatsompop N.: *J. Appl. Polym. Sci.* 2006, **102**, 598.
6. Thongpin C., Santavitee O., Sombatsompop N.: *J. Vinyl Addit. Technol.* 2006, **12**, (3), 115.
7. Rydzkowski T.: *Polimery* 2011, **56**, 135.
8. Pauksza D., Borysiak S.: *Polimery* 2009, **54**, 126.
9. Praca zbiorowa „Recykling materiałów polimerowych” (red. A. K. Błędzki), WNT, Warszawa 1997.
10. Tartakowski Z.: *Polimery* 2010, **55**, 479.
11. Sombatsompop N., Sungsan K., Thongpin C.: *Polym. Eng. Sci.* 2004, **44**, 487.
12. Żenkiewicz M.: *Polimery* 2005, **50**, 4.
13. Danella O. J., Manrich S.: *Wysokomolek. Sojed.* 2003, **45**, 1821.
14. Simek J., Dockalova V., Duchacek V.: *Polimery* 2008, **53**, 138.
15. Jastrzębska M., Rutkowska M., Janik H., Jose S., Thomas S.: *Polimery* 2009, **54**, 801.
16. Darie R. N., Brebu M., Vasile C., Kozłowski M., Kozłowska A.: „III Międzynarodowa Konferencja Naukowa Recykling Tworzyw Sztucznych”, Jeseník 2002, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, str. 39–46.
17. Bataille P., Jolicoeur C., Schroeiber H. P.: *J. Vinyl Addit. Technol.* 1980, **2**, (4), 218.
18. Jeziórska R., Świerż-Motyś B., Szadkowska A.: *Polimery* 2010, **55**, 748.
19. Młodzianowska E., Steller R.: *Polimery* 2011, **56**, 317.
20. Jiang H., Kamdem D. P.: *J. Vinyl Addit. Technol.* 2004, **10**, (2), 59.
21. Kuciel S., Liber-Kneć A., Zajchowski S.: *Polimery* 2010, **55**, 718.
22. Kuciel S., Liber-Kneć A., Zajchowski S.: w pracy zbiorowej „Kompozyty polimerowe na osnowie recyklatów z włóknami naturalnymi” (red. S. Kuciel), Politechnika Krakowska, Kraków 2010, str. 63–68.
23. Ryszkowska J., Gajewski J., Tomaszewska J., Zajchowski S.: w pracy zbiorowej „Kompozyty polimerowe na osnowie recyklatów z włóknami naturalnymi” (red. Kuciel S.), Politechnika Krakowska, Kraków 2010, str. 107–119.
24. Tomaszewska J., Zajchowski S.: w pracy zbiorowej „Kompozyty polimerowe na osnowie recyklatów z włóknami naturalnymi” (red. Kuciel S.), Politechnika Krakowska, Kraków 2010, str. 85–103.
25. Kuciel S., Liber-Kneć A., Zajchowski S.: „IX Środkowo-Europejska Konferencja Recykling i Odzysk Materiałów Polimerowych. Nauka-Przemysł”, Przemysł—Lwów 2010, str. 113–118.
26. Tomaszewska J., Szulc M., Zajchowski S., Mirowski J., Ryszkowska J.: „VIII Środkowo-Europejska Konferencja Recykling i Odzysk Materiałów Polimerowych. Nauka-Przemysł”, Ustroń Jaszowiec 2009, str. 67–69.

Otrzymano 1 II 2012 r.

