

Wpływ zawartości talku w LDPE na właściwości kompozytu

Paulina Pikosz, Jacek Iwko, Rafał Mrzygód

W pracy zaprezentowano wyniki pomiarów właściwości mechanicznych, cieplnych i reologicznych kompozytu LDPE/talk. Kompozyty te uzyskano w wyniku wytlaczania mieszanin LDPE oraz talku o zawartości napełniacza proszkowego w zakresie 0–60% na klasycznej wytłaczarce jednoślindakowej z typowym ślimakiem trójstrefowym, a następnie wtrysnięto je na wtryskarce używając wiosła i beleczki, które posłużyły do pomiarów właściwości uzyskanych układów. Praca miała odpowiedzieć na pytanie, jak zmiana zawartości talku w kompozycie z LDPE wpływa na jego typowe właściwości mechaniczne, reologiczne i cieplne.

Talk $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$ to krystaliczna forma krzemianu magnezu. Jest miękkim minerałem, charakteryzującym się najniższą twardością w skali Mohsa. Posiada właściwości antyadhezyjne i antystatyczne. Talk jest hydrofobowy i obojętny chemicznie, ponieważ na swojej powierzchni nie zawiera aktywnych jonów czy reaktywnych grup OH⁻. Ze względu na wspomnianą hydrofobowość dobrze rozprasza się w poliolefinach, np. w polietylenie PE, dlatego też jest napełniaczem chętnie stosowanym w produkcji polimerowych materiałów kompozytowych na bazie PE oraz PP.

Ponieważ talk jest materiałem tańszym od typowych polimerów, również od PE i PP, tym bardziej powinien być chętnie wykorzystywany do produkcji wyrobów z tworzyw polimerowych, głównie na bazie hydrofobowych poliolefin. Jednak dodatek takiego napełniacza może w różny sposób zmieniać właściwości tworzywa w zależności od zawartości tego dodatku w tworzywie, rodzaju i stopnia jego zdyspergowania w osnowie polimerowej itd. Dlatego też postanowiono przyrzeć się bliżej problemowi wpływu zawartości napełniacza talkowego na podstawowe właściwości mechaniczne, przetwórcze (reologiczne) oraz cieplne otrzymanych materiałów, przy czym analizując właściwości cieplne wyznaczono te związane z ich palnością z uwagi na szeroko znany problem łatwopalności wyrobów wytworzonych z materiałów polimerowych na bazie poliolefin.

BADANIA

Przeprowadzone badania polegały na uzyskaniu układów LDPE/talk o zawartości napełniacza odpowiednio 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 oraz 60%. Do badań użyto LDPE o nazwie handlowej Malen E FABS 23D022. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe właściwości fizyczne i mechaniczne tego polimeru. Jako napełniacza użyto talk o symbolu handlowym M-30. Ma on postać szarego, bezwonnego proszku. Jest nierozpuszczalny w wodzie, rozpuszczalny w kwasie fluorowodorowym i niepalny. Jego podstawowe właściwości przedstawia tabela 2.

W celu uzyskania próbek do badań w postaci kształtek zawierających wiosło i belkę, przygotowano mieszaniny składające się z polietylenu LDPE oraz talku. W tym celu dla określonych za-

Tabela 1. Właściwości LDPE Malen E FABS 23D022 [1]

Parametr	Metoda	Wartość	Jednostka
gęstość	ISO 1183	0,919-0,923	g/cm ³
wskaźnik szybkości płynięcia (MFR) (190° C/2,16 kg)	ISO 1133	1,6-2,5	g/10 min
moduł elastyczności przy rozciąganiu	ISO 527-1,-2	8-23	MPa
naprężenie zrywające	ISO 8986-2	11	MPa
wydłużenie na granicy plastyczności	ISO 527-1,-2	300-1000	%
udarność wg Charpy'ego z karbem	ISO 179	nie pęka	kJ/m ²
temperatura topnienia	-	50-140	°C
twardość wg Brinella	ISO 6506	14-25	MPa
temperatura mięknięcia wg Vicata	ISO 306	90	°C

Tabela 2. Właściwości talku M-30 [2]

Właściwości	Opis/Wartość	Jednostka
gęstość	2,75	g/cm ³
masa cząsteczkowa	96,33	g/mol
stan skupienia w temp. 20°C	ciało stałe	-
rozpuszczalność w wodzie	< 0,2	%
rozpuszczalność w innych rozpuszczalnikach	HF	-
pH	ok. 9	-
zawartość wilgoci	0,5	%
strata po prażeniu	ok. 5,6	%



Rys. 1. Wyłaczarka jednoślیمakowa z wanną do chłodzenia wytłoczony

Tabela 3. Parametry techniczne wyłaczarki Almech 36

Parametr	Wartość
średnica ślimaka D	36 mm
długość ślimaka, L/D	20
moc silnika	2,2 kW
maksymalna prędkość obrotowa ślimaka	70 obr./min

Tabela 4. Parametry robocze procesu wytłaczania

Parametr	Wartość
temperatura cylindra	180°C
temperatura głowicy	180°C
prędkość obrotowa ślimaka	30 obr./min

wartości napelniacza, od 0% do 60% odważono przy użyciu wagi laboratoryjnej określoną ilość polimeru. Łączna waga mieszanki granulatu polimerowego i napelniacza proszkowego wynosiła 1000 g. Obliczoną ilość talku połączono z czystym granulem polietylenu LDPE i wymieszano. Tak zhomogenizowaną mieszan-



Rys. 2. Wtryskarka ślimakowa wykorzystana do otrzymywania próbek z kompozytów LDPE/talk

kę wytłoczono przy użyciu wyłaczarki jednoślیمakowej Almech 36, którą przedstawiono na rysunku 1. Parametry techniczne tej wyłaczarki przedstawiono w tabeli 3.

Proces wytłaczania pozwolił na otrzymanie wytłoczony z kompozytu LDPE/talk. Parametry procesu wytłaczania przedstawiono w tabeli 4. Wyłaczarka była wyposażona w głowicę z ustnikiem do wytłaczania prętów o średnicy 5 mm. Uzyskane w procesie przetwórczym pręty różniły się między sobą zawartością napelniacza. Po opuszczeniu ustnika, wytłaczany filament kierowany był do wanny z wodą w celu jego ochłodzenia, a stamtąd trafiał bezpośrednio do granuladora, gdzie następowała jego granulacja.

Tak uzyskany granulak poddawano procesowi wtryskiwania w celu uzyskania kształtek do badań wytrzymałościowych. Do tego celu wykorzystano wtryskarkę Battenfeld Plus 350/75,

Tabela 5. Parametry techniczne wtryskarki Battenfeld Plus 350/75

Parametr	Wartość
średnica ślimaka	25 mm
L/D	17
długość strefy zasilania/sprężania / dozowania	14/4/4 [il. zwojów]
głębokość kanału w strefie zasilania / dozowania	4,1/1,9 mm
skok linii śrubowej ślimaka	19 mm
szerokość zwoju	3,7 mm
maks. siła zwarcia	350 kN
maks. objętość wtrysku (PS)	49 cm ³
maks. ciśnienie wtrysku	157,5 MPa

Tabela 6. Parametry robocze procesu wtryskiwania

Parametr	Wartość
temperatura I strefy	170°C
temperatura II strefy	180°C
temperatura dyszy	180°C
temperatura formy	40°C
ciśnienie wtrysku	90 MPa
ciśnienie docisku	55 MPa
czas docisku	6 s
czas chłodzenia	30 s
prędkość obrotowa ślimaka	250 obr./min

którą przedstawiono na rysunku 2. Jej podstawowe parametry techniczne zawarto w tabeli 5, natomiast parametry pracy – w tabeli 6. Przed procesem wtryskiwania granulaty suszono w suszarce półkowej w temperaturze 100°C w czasie 90 minut celem doprowadzenia wilgotności materiału do wartości poniżej 0,05%, wymaganej do prawidłowego przebiegu procesu wtryskiwania.

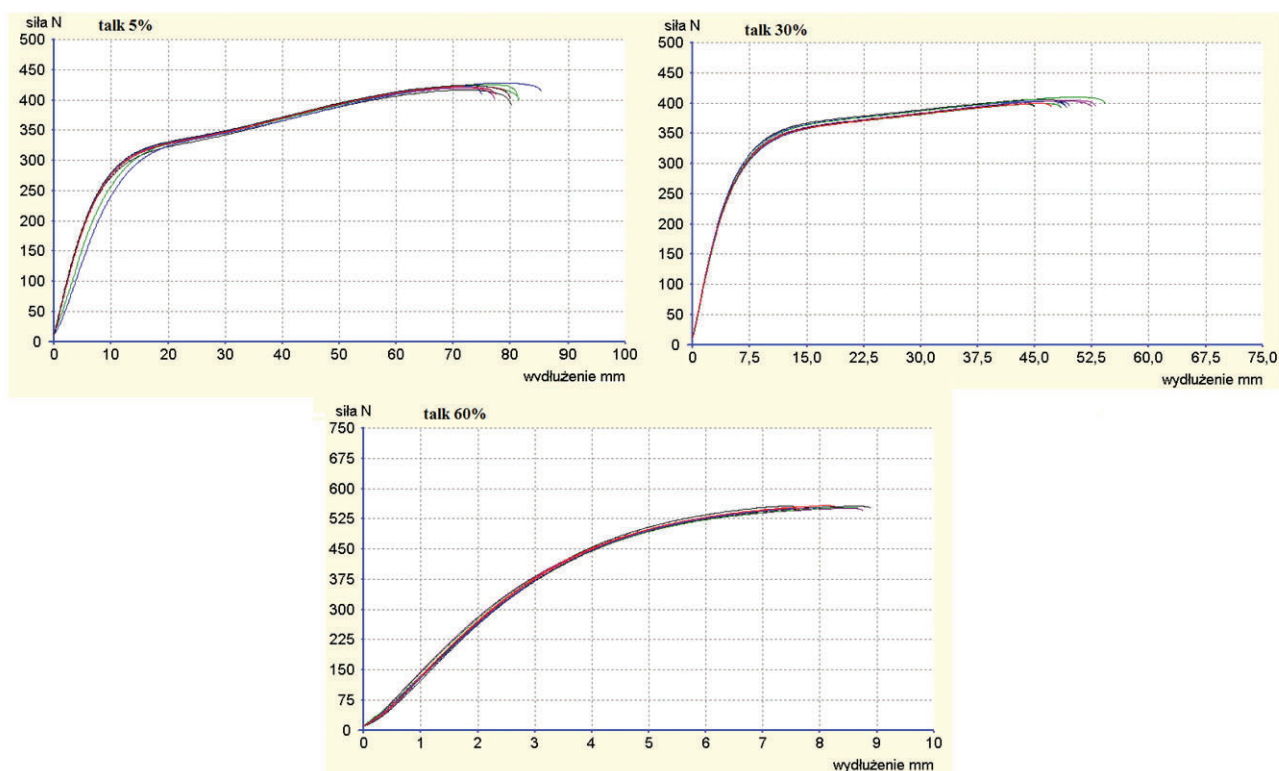
Otrzymane próbki przechowano w zamkniętych workach PE przez 72 godz. w celu wysezonowania, a następnie przeprowadzono następujące badania:

- 1) próba wytrzymałościowa z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej Tinius Olsen typ H25KT przy prędkości rozciągania 5 mm/min;
- 2) udarność z karbem z wykorzystaniem młota Charpy'ego i młota o energii 4J; próbki z karbem znormalizowanym prostokątnym 0,8 mm;

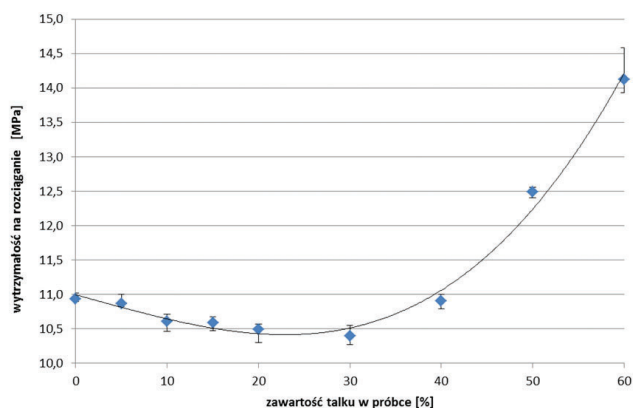
- 3) twardość metodą Brinella (obciążenie 5N, kulka o średnicy 2,5mm);
- 4) MFI z wykorzystaniem plastometru firmy ToRoPol Equipment, model TRZ-400A+ w temp. 170°C i pod obciążeniem 2,16 kg;
- 5) indeks tlenowy wg normy ASTM D 2863-77 [3];
- 6) szybkość rozprzestrzeniania się płomienia wg normy NF P 92-504 [3].

WYNIKI

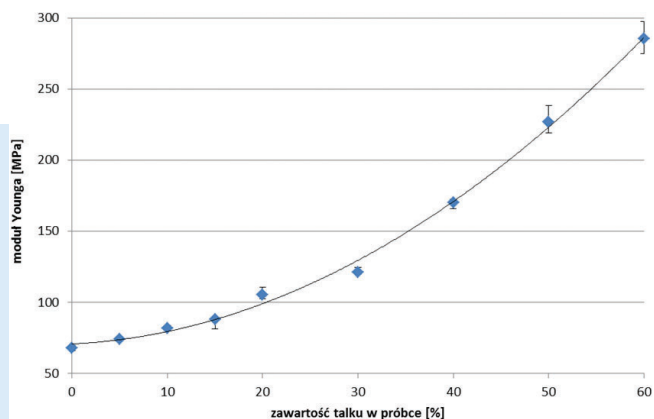
Przeprowadzone badania właściwości otrzymanych kompozytów podzielić można najogólniej na właściwości mechaniczne i cieplne. W pierwszej kolejności omówiono wyniki pomiarów właściwości mechanicznych, a w dalszej części przedstawiono analizę właściwości cieplnych związanych z palnością układów LDPE/talk.



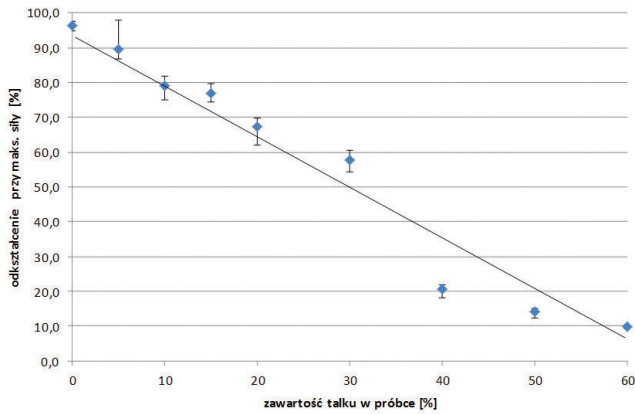
Rys. 3. Zależność siły od wydłużenia przy badaniu wytrzymałości na rozciąganie dla wybranych kompozytów LDPE/talk



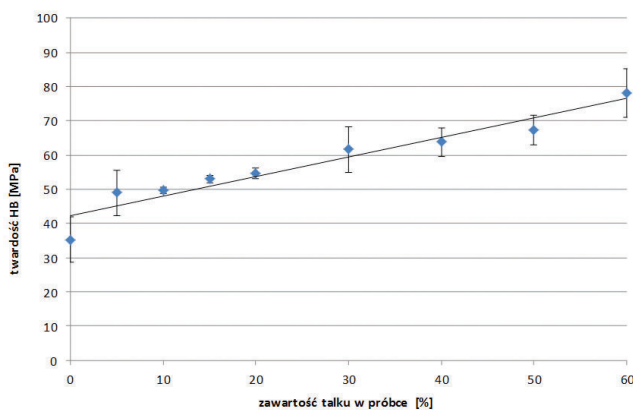
Rys. 4. Wyniki pomiarów wytrzymałości na rozciąganie dla układów LDPE/talk



Rys. 5. Wyniki pomiarów modułu Younga dla układów LDPE/talk



Rys. 6. Wyniki pomiarów odkształcenia przy maksimum siły dla układów LDPE/talk

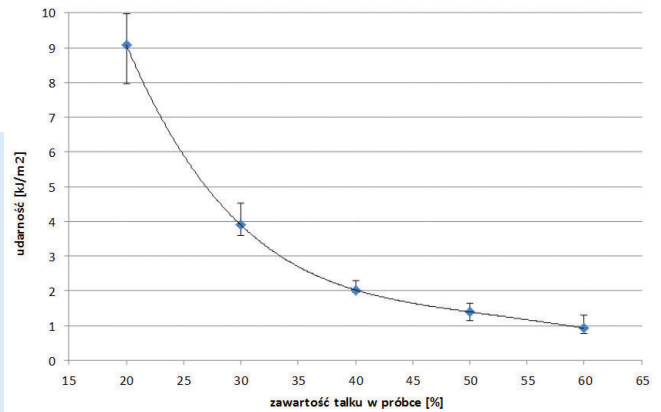


Rys. 8. Wyniki pomiarów twardości wg Brinella dla układów LDPE/talk

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE

Podczas próby rozciągania otrzymanych kompozytów zbadana została ich wytrzymałość na rozciąganie. Na rysunku 3 przedstawiono zmieniające się charakterystyki siła-wydłużenie uzyskane podczas statycznej próby rozciągania próbek z kompozytu LDPE/talk dla trzech wybranych układów zawierających 5, 30 oraz 60% wag. napełniacza. Wraz ze stopniem napełnienia próbek obserwowany jest spodziewany spadek wydłużenia przy zerwaniu. Przy niższych zawartościach talku zależność siły od wydłużenia miała początkowo charakter liniowy, następnie występowała nieliniowość, po której krzywa pochyla się w kierunku osi odciętych. Od tego miejsca występują odkształcenia plastyczne, w wyniku których na rozciąganej próbce występowało przewężenie poprzeczne próbki, tzw. szyjka. Obserwując pomiary wytrzymałościowe, dla próbek o 50 oraz 60% zawartości talku, gdzie brak było występowania odkształcenia plastycznego, kształtki pękały krucho.

Na rysunku 4 przedstawiono zależność maksymalnej wytrzymałości na rozciąganie (w punkcie maksimum siły) od procentowej zawartości talku w badanych układach. Dodatek napełniacza powoduje początkowy spadek wytrzymałości materiału (od 0% do 30% zawartości talku) o ok. 0,5 MPa, lecz dla próbek o stopniu napełnienia od 30% do 60% obserwuje się wzrost wytrzymałości na rozciąganie o ok. 35%. Talk to hydrofobowy, drobnoziarnisty napełniacz mineralny. Jego hydrofobowa struktura sprzyja adhezji do hydrofobowego LDPE, co powoduje, iż powinowactwo pomiędzy osnową a cząstkami napełniacza jest duże i w konsekwencji wytrzymałość tego kompozytu rośnie.



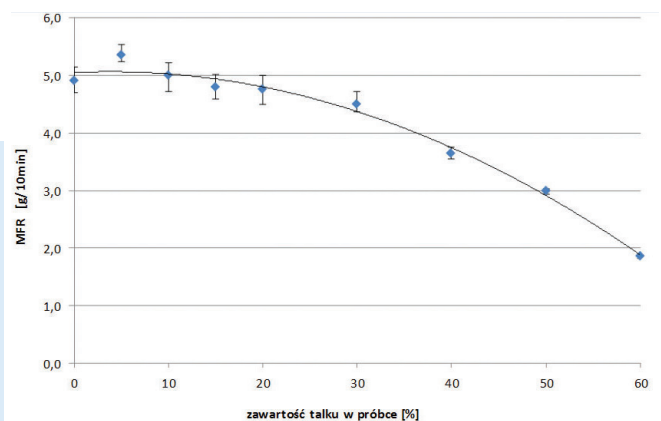
Rys. 7. Wyniki pomiarów udarności z karbem dla układów LDPE/talk

Na rysunku 5 przedstawiono wpływ zawartości napełniacza talkowego na zmianę modułu Younga badanych kompozytów. Obserwowany jest wykładniczy wzrost wartości modułu Younga badanych kompozytów wraz ze wzrostem ilości napełniacza. Dla próbek z zawartością napełniacza 0% oraz 60% wartość modułu wzrosła ok. 4-krotnie.

Na rysunku 6 przedstawiono wykres zależności odkształcenia próbek od procentowej zawartości napełniacza w materiale. W przeciwieństwie do wartości modułu Younga, wartość odkształcenia badanych próbek maleje praktycznie liniowo wraz ze wzrostem zawartości talku. Był to efekt oczekiwany przy dodatku napełniacza proszkowego do osnowy polimerowej.

Rysunek 7 prezentuje zależność udarności próbek z karbem 0,8 mm od procentowej zawartości talku w materiale. Kształtki o zawartości talku od 0% do 15% nie pękały i dopiero dla wyższej zawartości napełniacza pomiar udarności był możliwy. Przeprowadzono również pomiary udarności dla próbek z karbem nieznormalizowanym 2 mm, lecz, jak poprzednio, pomiar udarności mógł być wykonany dopiero dla kształtek o zawartości od 20% talku, a wyniki udarności dla próbek z karbem 2 mm były, w granicach błędów, bardzo podobne do wyników przedstawionych na rys. 7. Generalnie widoczny jest asymptotyczny spadek udarności wraz ze wzrostem zawartości talku w kompozytach.

Kolejny rysunek przedstawia wyniki pomiarów twardości analizowanych układów metodą Brinella. Dla próbek o zawartości talku 60% zaobserwowano ponad dwukrotny wzrost twardości

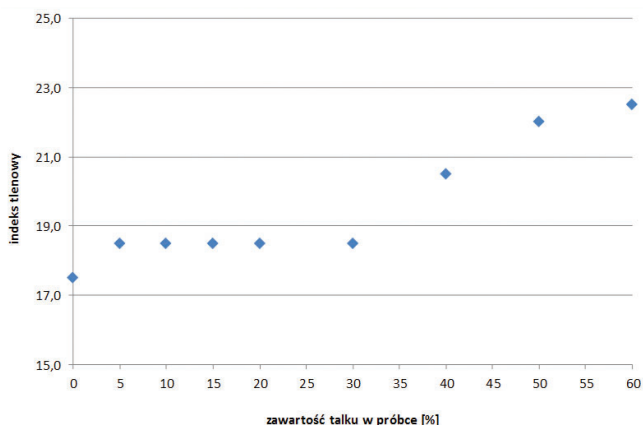


Rys. 9. Wyniki pomiarów wskaźnika szybkości płynięcia dla układów LDPE/talk

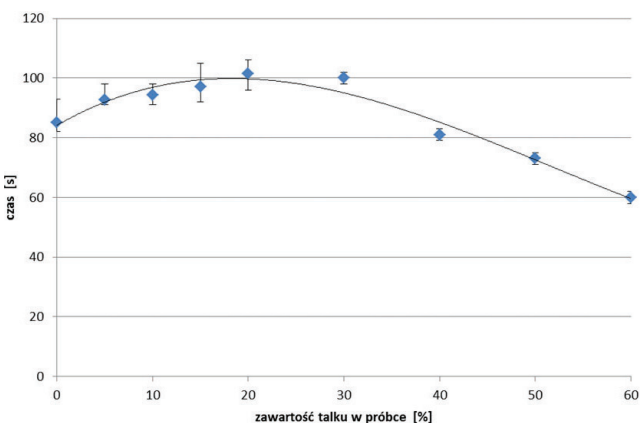
w stosunku do czystego LDPE. Twardość która rosła w przybliżeniu liniowo. Zaobserwowany wzrost twardości był spodziewanym efektem, wynikającym z obecności w badanym kompozycie napełniacza proszkowego (talku), którego dodatek praktycznie w każdym przypadku powoduje wzrost sztywności oraz twardości materiału kosztem obniżenia jego udarności.

WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE

Jedną z najważniejszych właściwości reologicznych materiałów polimerowych jest wskaźnik szybkości płynięcia MFI. Wyniki pomiaru wskaźnika MFI (*Melt Flow Index*) zostały przedstawione na rysunku 9. Dla rosnącej zawartości napełniacza wartość wskaźnika MFI malała wykładniczo. Oczekiwany spadek płynności kompozytu polimerowego napełnionego napełniaczem proszkowym można wyjaśnić bazując na teorii objętości swobodnej [4, 5]. Objętość swobodna polimeru V_f (różnica między objętością właściwą V , odpowiadającą objętości zajmowanej przez daną masę polimeru, a objętością zajęta V_o , odpowiadającą sumarycznej objętości atomów polimeru o tej samej masie), maleje wraz z rosnącą ilością napełniacza proszkowego w kompozycie. Im większa zawartość talku w próbce, tym istnieje mniej wolnych przestrzeni (objętości swobodnej) w badanym materiale [5]. Powoduje to wzrost tarcia wewnętrznego wywołany rosnącą ilością napełniacza w próbce, a więc wzrost lepkości kompozytu LDPE/talk, czyli spadek jego płynności, co zaobserwowano w czasie pomiaru wskaźnika MFI.



Rys. 10. Wyniki pomiarów indeksu tlenowego LOI dla układów LDPE/talk

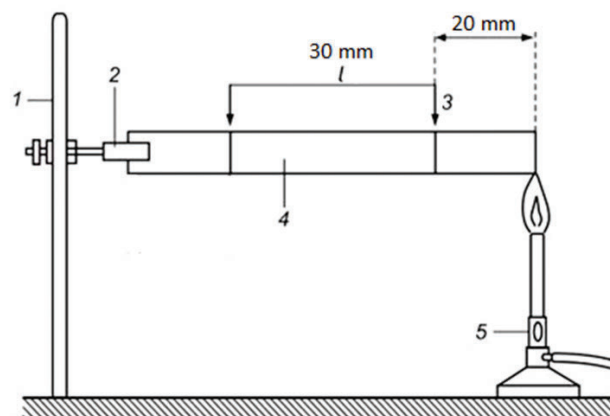


Rys. 12. Wyniki pomiarów czasu spalania próbki dla układów LDPE/talk

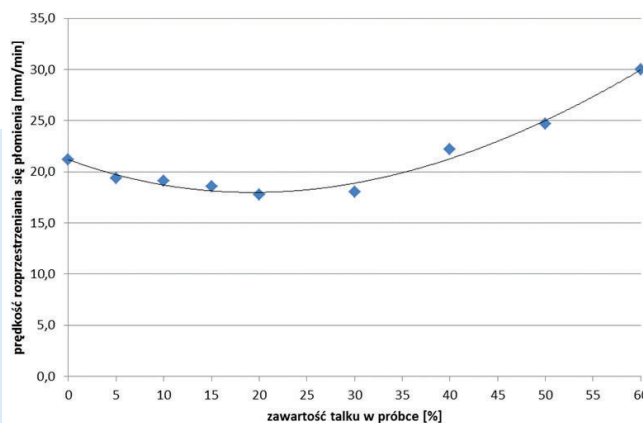
WŁAŚCIWOŚCI CIEPLNE

Jako pierwszy parametr termiczny zbadano indeks tlenowy otrzymanych kompozytów LDPE/talk. Na rysunku 10 przedstawiono wykres zależności wartości indeksu tlenowego LOI od zawartości napełniacza w materiale kompozytowym. W próbkach o stopniu napełnienia od 5% do 30% wartość indeksu tlenowego utrzymywała się na stałym poziomie równym ok. 18,5, po czym dla próbek o zawartości talku od 30% do 60% został odnotowany asymptotyczny wzrost wartości indeksu LOI do wartości ok. 22,5. Widać, iż talk jest napełniaczem nieznacznie tylko zwiększającym wartość indeksu tlenowego. Materiały o wartości indeksu tlenowego powyżej 21 uważane są za trudnopalne, jednak podczas przeprowadzonych badań próbki o zawartości 50 oraz 60% talku, charakteryzujące się wartością LOI > 21, zachowywały się bardzo podobnie do próbek o mniejszej zawartości napełniacza. Jest to zgodne z danymi literaturowymi [3], skąd wynika, iż teoretyczne wartości graniczne indeksów LOI=21 (dla materiałów trudnopalnych) oraz LOI=28 (dla materiałów niepalnych) nie zawsze pokrywają się z rzeczywistością, gdyż zależy to od różnych czynników, m.in. od warunków przeprowadzania eksperymentu. Jeżeli np. kierunek przepływu mieszaniny gazów (N_2 i O_2) jest zgodny z kierunkiem przemieszczania się płomienia, wówczas wartości LOI są zaniżone, a materiał jest mniej palny, niż wynika to z wyników doświadczenia.

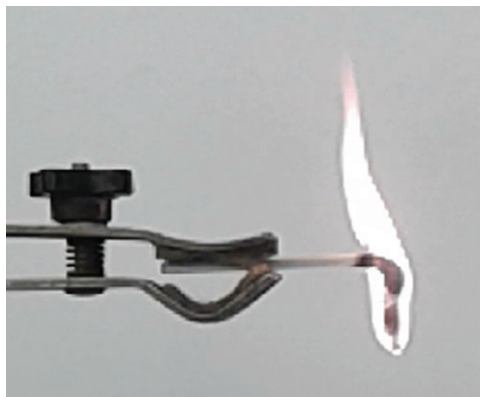
Na rysunku 11 przedstawiono schemat metody pomiaru prędkości rozprzestrzeniania się płomienia po powierzchni ma-



Rys. 11. Schemat metody pomiaru prędkości przemieszczania się płomienia po powierzchni materiału, 1- stojak, 2 - zacisk, 3 - pionowe kreski znakujące, 4 - próbka, 5 - palnik gazowy [3]



Rys. 13. Wyniki pomiarów prędkości rozprzestrzeniania się płomienia dla układów LDPE/talk

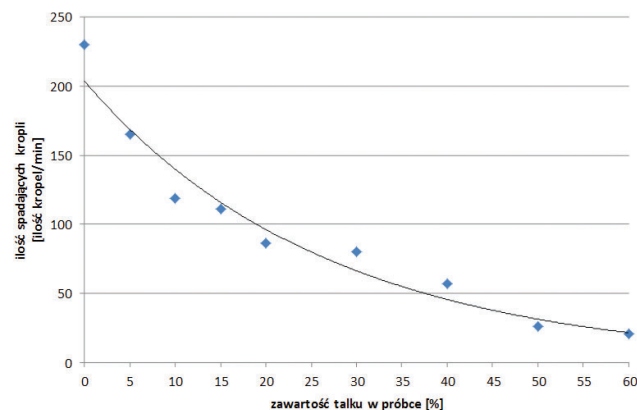


Rys. 14. Zdjęcie palącej się próbki kompozytu LDPE/talk zawierającego 60% napełniacza

teriału polimerowego wg normy NF P 92 504 [3]. Metoda ta polega na pomiarze czasu t przemieszczającego się płomienia na odcinku $l=30\text{mm}$ między dwiema kreskami pomiarowymi naniesionymi na badaną kształtkę. W tym celu, po jednej stronie próbki, w odpowiedniej odległości od jej końca (równiej 20 mm), należy zaznaczyć na próbce kreskę, która służy jako określenie początku odcinka pomiarowego w czasie badania, a w odległości 30 mm od niej drugą kreskę, wskazującą koniec tego odcinka. Tak przygotowaną próbkę umieszcza się w uchwycie stojaka i zapala, posługując się płomieniem palnika gazowego, przez przyłożenie go do jednego końca kształtki na czas 15 sekund. Następnie po osiągnięciu przez czoło płomienia pierwszej kreski mierzy się czas, jaki upłynął do osiągnięcia przez czoło drugiej kreski.

Na rysunku 12 przedstawiono wyniki pomiarów czasu, w jakim odcinek pomiarowy próbki uległ spalaniu. Widoczny jest początkowy wzrost, a następnie spadek czasu spalania. Wyniki te będą łatwiejsze do omówienia, jeśli zastosuje się analizę prędkości spalania, która jest odwrotnie proporcjonalna do czasu spalania, przedstawionego na rysunku 12. Wyniki pomiarów prędkości rozprzestrzeniania się płomienia podczas spalania się próbki w funkcji zawartości talku w materiale ukazano na rysunku 13. Prędkość ta dla próbek z zawartością napełniacza od 0% do 20% malała nieznacznie w sposób liniowy, co było oczekiwanym efektem w przypadku zwiększającej się ilości napełniacza mineralnego, którym był talk. Na podstawie obserwacji wykonanego doświadczenia oraz analizy przebiegu filmu, nakręconego w trakcie badania, zaobserwowano zmiany wyglądu płomienia palących się próbek wraz ze wzrostem zawartości napełniacza. Przy rosnącym udziale talku w składzie próbki, w obszarze spalania tworzyła się coraz bardziej widoczna, czarna warstwa zwęglonego materiału. Talk podczas palenia się badanej kształtki powodował tworzenie się bariery ochronnej pomiędzy płomieniem a powierzchnią próbki, ograniczając w ten sposób dostęp tlenu do tworzywa. Doprowadziło to do zmniejszenia szybkości rozprzestrzeniania się szybkości przemieszczania się płomienia o ok. 16% dla próbek zawierających w swoim składzie od 0% do 20% talku. Dla próbek o zawartości od 30% do 60% napełniacza szybkość ta, wbrew oczekiwaniom, zaczęła rosnąć w sposób liniowy. Nie wynikało to jednak ze wzrostu palności próbek, lecz ze zmiany mechanizmu ich palenia się.

Malejący czas spalania dla próbek o zawartości 30–60% talku wyjaśnić można różnicą gęstości LDPE oraz napełniacza oraz zmianą lepkości stopionych układów. Czysty LDPE ma gęstość ok. $0,92\text{ g/cm}^3$, natomiast talk ma gęstość trzykrotnie



Rys. 15. Wyniki pomiarów ilości spadających płonących kropli dla układów LDPE/talk

większą ($2,75\text{g/cm}^3$). Biorąc teraz pod uwagę te wartości, trzykrotnie większy współczynnik przewodzenia ciepła dla talku niż dla LDPE [6], charakter napełniacza (cząstki talku w kształcie blaszek, materiał niepalny) oraz poziomy sposób zamocowania próbki podczas spalania widać wyraźnie, że zwiększenie zawartości napełniacza w układzie LDPE/talk powodować będzie (przy uwzględnieniu wzrastającej lepkości tych materiałów w stanie stopionym) odrywanie się coraz większych części płynnej, palącej się próbki, co w konsekwencji objawia się coraz większą prędkością przemieszczającego się płomienia, nie związaną jednak ze wzrostem palności materiału, a jedynie wzrostem jego gęstości i przewodnictwa temperaturowego w stanie stopionym. Było to widoczne podczas badania – próbki zawierające w składzie od 30% do 60% napełniacza (podczas spalania umocowane równolegle do podłoża) odginały się prostopadle względem swojego położenia wraz z płomieniem, co w rezultacie powodowało szybsze przemieszczanie się płomienia w poziomym kierunku pomiarowym. Efekt ten przedstawiono na rysunku 14.

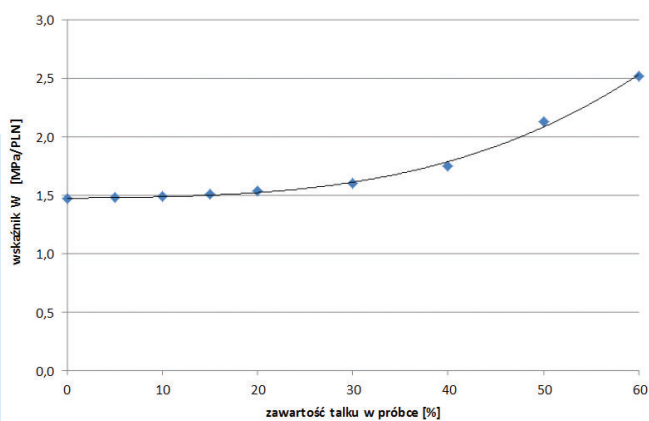
Na rysunku 15 przedstawiono wykres zależności ilości spadających kropli palącej się próbki od zawartości talku w próbkach z kompozytu LDPE/talk. Maleje ona wykładniczo ze wzrostem zawartości napełniacza w próbkach. Dla kształtek o małej zawartości talku krople były drobne i kapały bardzo szybko. Im więcej napełniacza w składzie próbki, tym krople stawały się coraz większe i kapały coraz wolniej. Dla próbek o dużej zawartości talku, kapanie zostało znacznie ograniczone. Duże fragmenty palącej się kształtki pod wpływem wysokiej temperatury oraz własnego ciężaru odginały się od jej początkowego położenia, by w efekcie oderwać się od próbki, o czym wspomniano już wcześniej.

PODSUMOWANIE

Na zakończenie postanowiono, oprócz analizy różnorodnych parametrów wytrzymałościowych, reologicznych oraz cieplnych, podkreślić dodatkowo aspekt ekonomiczny wytwarzania wyrobów z kompozytu LDPE/talk. W tym celu wyznaczono, uwzględniając jednostkowy koszt LDPE oraz talku (wynoszący w okresie, w którym były wykonywane badania, odpowiednio 7,15 oraz 4,50 zł brutto/kg), kosztorys materiałowy badanych kompozytów oraz ich wytrzymałość na rozciąganie odniesioną do ceny. Stwierdzono bowiem, iż ta właśnie wielkość (zdefiniowana jako $W=Rm/c$, gdzie W = wytrzymałość na rozciąganie odniesiona do ceny (tzw. materiałowy wskaźnik opłacalności produkcji), a c – cena 1 kg kompozytu) będzie najbardziej odpowiednim parametrem uwzględniającym tak właściwości mechaniczne, jak i

Tabela 7. Kosztorys materiałowy oraz wyznaczony wskaźnik W dla badanych układów LDPE/talk

masa LDPE [g]	masa talku [g]	zawartość talku [%]	wytrzymałość na rozciąganie Rm [MPa]	cena za kg c [PLN]	wskaźnik opłacalności produkcji W [MPa/PLN]
1000	0	0	10,5	7,15	1,469
950	50	5	10,4	7,02	1,480
900	100	10	10,3	6,89	1,492
850	150	15	10,2	6,75	1,512
800	200	20	10,15	6,62	1,533
700	300	30	10,2	6,36	1,599
600	400	40	10,7	6,09	1,755
500	500	50	12,4	5,83	2,135
400	600	60	14,0	5,56	2,519



Rys. 16. Wyznaczone wartości materiałowego wskaźnika opłacalności produkcji W dla układów LDPE/talk

koszty wytworzenia wyrobu, z których największym w tym przypadku jest koszt materiału. Wielkości te zostały wyznaczone w tabeli 7, a wartość materiałowego wskaźnika W zobrazowano na rysunku 16.

Widoczny jest tutaj wzrost wartości wskaźnika opłacalności produkcji wraz z rosnącą ilością napelnacza w kompozycie. Dla próbek o stopniu napelnienia od 0% do 30% wartość wskaźnika rośnie bardzo nieznacznie, co ma związek z malejącą wytrzymałością na rozciąganie tych układów. Jednak dla większych zawartości talku, od 30% do 60%, wzrost ten jest już znaczący, co jest spowodowane wykładniczym wzrostem wytrzymałości Rm oraz liniowym spadkiem kosztów materiałowych związanych z wytwarzaniem kompozytu LDPE/talk. Dlatego też, z punktu widzenia zarówno właściwości wytrzymałościowych, jak i kosztów materiałowych, opłacalność produkcji wyrobów z kompozytu LDPE/talk rośnie wykładniczo wraz ze wzrostem zawartości talku w materiale polimerowym.

W toku eksperymentu, na podstawie przytoczonych wyników, możliwe było wyciągnięcie następujących wniosków:

- 1) Wytrzymałość, sztywność oraz twardość kompozytu LDPE/talk rośnie wraz ze wzrostem ilości napelnacza, natomiast maleje jego udarność.
- 2) Talk posiada właściwości nieznacznie ograniczające palność polietylenu.

3) Parametr wytrzymałości wyrobów z kompozytu LDPE/talk, uwzględniający cenę materiału rośnie wykładniczo wraz ze zwiększeniem zawartości napelnacza. Najbardziej optymalne z punktu widzenia wytrzymałościowego oraz ekonomicznego jest więc wytwarzanie wyrobów z tego kompozytu o jak największej zawartości talku.

LITERATURA

- [1] Karta materiałowa LDPE Malen E FABS 23D022: http://plasticker.de/recybase/docs/24217_1381314687.pdf, dostęp: 2.03.2015.
- [2] Karta materiałowa talku M-30: <http://www.brenntag.pl/fileadmin/pdf/st/500115.pdf?t=1458604747>, dostęp: 2.03.2015.
- [3] G. Janowska, W. Przygocki, A. Włochowicz: Palność polimerów i materiałów polimerowych, WNT, Warszawa 2007.
- [4] J.F. Rabek: Współczesna wiedza o polimerach, PWN, Warszawa 2013.
- [5] R. Steller: Reologiczne właściwości materiałów polimerowych w świetle teorii objętości swobodnej, Przetwórstwo Tworzyw, 2011, 17, s. 226.
- [6] H.S. Katz, J.V. Milewski: Handbook of Fillers for Plastics, Van Nostrand Reinhold, New York, 1987.

dr inż. Jacek Iwko
mgr inż. Paulina Pikoś
mgr inż. Rafał Mrzygłód
Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny
Katedra Odlewnictwa, Tworzyw Sztucznych i Automatyki
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław