

Jan BURSA¹, Zenon TARTAKOWSKI², Mateusz KOSYL²

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Elektrotechnologii
i Diagnostyki (1)

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Instytut Inżynierii Materiałowej (2)

BIODEGRADOWALNE KOMPOZYTY PLA DO ZASTOSOWAŃ NA WYROBY ELEKTROTECHNICZNE

Abstract. *Polymeric materials are the basic materials used in electrotechnical products. Increasing demands on the environment and the existing EU directive on recycling of electrotechnical products make it necessary to their rational utilization. There are several problems associated with recycling of products related to the type of materials used. Therefore more and more problematic materials from disposal are replaced with others, where the process of recycling is easier. Such materials are biodegradable plastics such as PLA (polylactide). The presented research work concerns the evaluation of selected physical, mechanical and electrical materials made of PLA and polymer composites with PLA matrix.*

Keywords: PLA, electrotechnical product, recycling, biodegradable

Wstęp

Tworzywa polimerowe są najbardziej rozpowszechnionymi materiałami stosowanymi na wyroby elektrotechniczne. Szacuje się, że ich zużycie w elektrotechnice i elektronice stanowi ok. 8% całej światowej produkcji tworzyw sztucznych i wykazuje tendencję wzrostową [1]. Jest to podyktowane ich korzystnymi właściwościami technologicznymi, eksploatacyjnymi jak również względami ekonomicznymi i ekologicznymi.

Przy wzrastającej produkcji różnorodnych elementów z tworzyw polimerowych stosowanych w przemyśle elektronicznym pracujących w różnych warunkach środowiskowych, od których wymaga się dużej powtarzalności zarówno pod względem właściwości jak i wymiarów geometrycznych, istnieje konieczność stosowania materiałów spełniających te wymagania. Wśród stosowanych materiałów są tworzywa termoplastyczne (PE, PP, PVC, PA, PET), duroplastyczne (żywice epoksydowe, poliestrowe, fenolowo-formaldehydowe) jak również i laminaty z użyciem żywic oraz nośników celulozowych bądź polimerowych. Wzrastające wymagania w zakresie ochrony środowiska jak i późniejszy obowiązek utylizacji wyrobów stwarzają konieczność doboru materiałów z uwzględnieniem ich recyklingu [2]. Stąd też od dłuższego czasu zarówno dla przemysłu i nauki priorytetem stały się prace w zakresie nowych materiałów o korzystnych właściwościach, których produkcja i utylizacja minimalizuje zagrożenie szkodliwego oddziaływania na środowisko. Warunki takie spełniają polimery otrzymywane z surowców odnawialnych jak np. polilaktydy (PLA). Materiały te z powodzeniem znajdują zastosowanie na wyroby konstrukcyjne a ich niewątpliwym atutem w porównaniu do tradycyjnych polimerów jest biodegradowalność, co nie stwarza problemów z przyszłym ich recyklingiem. Istnieje dość bogata literatura światowa opisująca właściwości PLA oraz możliwości modyfikowania tych polimerów w celu uzyskania materiałów do konkretnych aplikacji [3, 4]. Większość prowadzonych badań PLA związana jest z zastosowaniem ich na wyroby opakowaniowe. Brak jest informacji literaturowych nad możliwościami zastosowania tych materiałów na wyroby

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

dla przemysłu elektrotechnicznego i elektronicznego. Stąd też na podstawie wcześniejszych badań materiałów elektroizolacyjnych [5, 6, 7] oraz dotyczących właściwości przetwórczych i mechanicznych PLA [8, 9], wykonano badania wybranych właściwości elektrycznych, które pozwolą określić ich przydatności dla zastosowań na wyroby elektrokonstrukcyjne. Badaniom poddano również kompozyty wykonane z osnową PLA oraz napełniaczami w postaci popiołów lotnych. Korzystny wpływ tych modyfikatorów na właściwości elektryczne kompozytów polimerowych [10] stanowił podstawę ich zastosowania w nowych materiałach na osnowie PLA. Możliwość zastosowania nowych materiałów z udziałem PLA umożliwi zastąpienie nimi dotychczas stosowanych materiałów, zwłaszcza z tworzyw chemoutwardzalnych, które stanowią poważny problem w procesie utylizacji.

Materiał badawczy i metodyka badań

Badaniom poddano materiały:

- Polilaktyd - Poli(kwas mlekowy), materiał biodegradowalny (produkowany przez NatureWorks LLC, nazwa handlowa Biopolymer 3052D). Wybrane właściwości materiału przedstawiono w tabeli 1. Materiał oznaczono symbolem PLA .

Tabela 1. Wybrane właściwości materiału PLA [11]

Właściwości	Wielkość
Gęstość [g/cm ³]	1,24
MFR [g/10min] (210 °C, 2.16 kg)	14
Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	62
Wydłużenie względne [%]	3,5
Wytrzymałość na zginanie [MPa]	108
Moduł Younga [MPa]	3600

- Kompozyty na osnowie PLA:
 - zawierające od 10% do 30% napełniaczy w postaci popiołów lotnych - PL – o wielkości cząstek do 0,150 mm. Popioły lotne stanowią odpad poprodukcyjny pochodzący ze spalania węgla kamiennego w elektrociepłowni Pomorzany-Szczecin) [11]. Materiał oznaczono symbolem PLA/PL,
 - zawierające od 10% do 50% polipropylenu Sabic PP 575P. Materiał oznaczono symbolem PLA/PP.
- Polipropylen PP, produkowany przez Sabic – nazwa handlowa Sabic PP 575P. Materiał oznaczony symbolem PP.
- Polietylen PE, produkowany przez Basell Orlen Polyolefins Sp. z o. o - nazwa handlowa Malen E. Materiał oznaczono symbolem PE.

Kompozyty na osnowie PLA wykonano zgodnie z opracowaną technologią wytwarzania kompozytów wysokonapełnionych przedstawioną w publikacjach [5]. Użyte materiały podlegały procesowi suszenia przez okres 24 godzin w temperaturze 80°C.

Z wytworzonego granulatu metoda wtryskową przy użyciu wtryskarki BOY 15 wykonano próbki o kształcie określonym w normach badawczych (wioselka i belecзки do

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

badania właściwości mechanicznych oraz krążki o średnicy 100 mm do badań właściwości elektrycznych). Parametry procesu przetwórczego każdorazowo dobierane doświadczalnie (zakres temperatury przetwarzania wtryskowego 190-230°C, ciśnienie wtrysku 100 - 120 MPa, czas cyklu ok. 20 s).

Wykonane materiały poddano badaniom pozwalającym określić właściwości:

- przetwórcze - takie jak wskaźnik szybkości płynięcia MFR ,skurcz powtryskowy,
- fizyczne - takie jak gęstość nasiąkliwość,
- mechaniczne - takie jak wytrzymałość przy statycznym rozciąganiu, udarność, twardość,
- elektryczne - takie jak wytrzymałość elektryczna ,odporność na łuk małej mocy

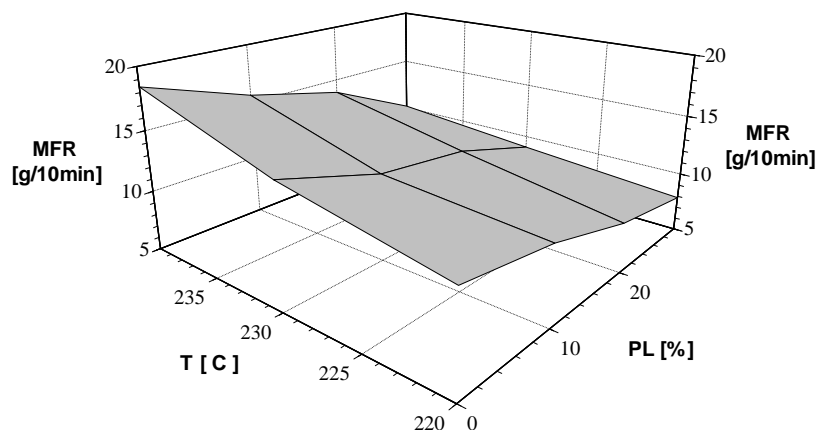
Jednocześnie prowadzono badania mikroskopowe pozwalające określić występujące zmiany na powierzchni materiałów po procesie ich badania.

Wszystkie badania prowadzono zgodnie z obowiązującymi normami. W przypadku badań odporności na działanie łuku elektrycznego przy określeniu kinetyki działania łuku elektrycznego małej mocy na powierzchnię badanej próbki materiałowej, posłużono się metodologią przedstawioną we wcześniejszej publikacji [7].

Wyniki badań

Poniżej przedstawiono wybrane wyniki badań materiałów pozwalające dokonać oceny ich przydatności pod względem przetwórczym i elektrycznym dla zastosowań na wyroby przemysłu elektrotechnicznego i elektronicznego.

Przebieg zmian wskaźnika szybkości płynięcia dla kompozytów na osnowie PLA zawierających napełniacz w postaci popiołów lotnych przedstawia rysunek 1. Modyfikacja PLA napełniaczem popiołowym w zakresie do 30% powoduje obniżenie wskaźnika szybkości płynięcia MFR. Przy 30% napełniacza obniżenie MFR wynosi ok. 35% (temperatura 220°C) zaś przy 10% napełniacza obniżenie wynosi ok. 14% w porównaniu z PLA niemodyfikowanym. Podobne zależności można zauważyć w badanym zakresie 220- 240°C.



Rys. 1. Przebieg zmian MFR kompozytu PLA/PL w zależności od zawartości PL w kompozycie oraz temperatury (N-3.16 kg)

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

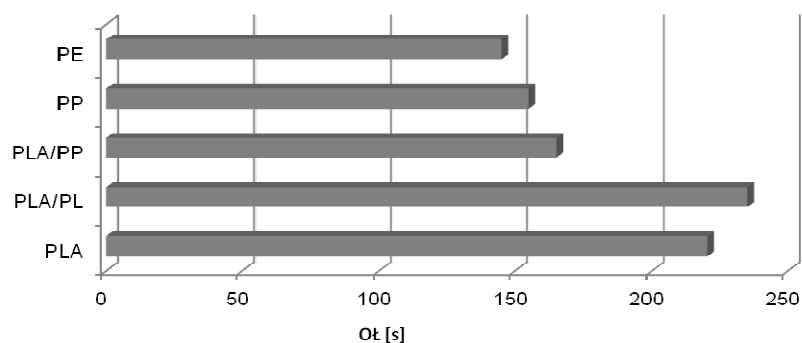
W produkcji wielkoseryjnej, zwłaszcza mikroelementów z tworzyw polimerowych, istotnym wskaźnikiem technologicznym, oprócz wskaźnika płynięcia, jest skurcz powtryskowy materiału. Porównanie skurczu powtryskowego wybranych wyrobów z wytworzonych kompozytów polimerowych przedstawiono w tabeli. 2. Kompozyty PLA zawierające 10% napełniacza w postaci popiołów lotnych posiadają skurcz powtryskowy mniejszy w porównaniu z PLA niemodyfikowanym. Dla materiałów stosowanych na wyroby wymagające dużej powtarzalności (produkcja wielkoseryjna) taka wielkość skurczu jest dopuszczalna. Porównując skurcz kompozytu PLA/PL z materiałami takimi jak PP, PE można zauważyć, że jest on kilkakrotnie mniejszy.

Tabela 2. Skurcz powtryskowy materiałów konstrukcyjnych (PLA/PP – 50% polipropylenu , PLA/ PL – 10 % napełniacza w postaci popiołów lotnych PL)

Materiał	PLA	PLA/PP	PLA /PL	PP	PE
Skurcz [%]	0,5	1,3	0,3	2	3,1

Badania wytrzymałości elektrycznej materiałów wykonanych z użyciem PLA wykazały, że najwyższą wytrzymałością E_p charakteryzuje się kompozyt PLA/PP zawierający 50 % PP. Wytrzymałości dielektryczne materiałów PLA/PL oraz PLA niemodyfikowanego są zbliżone. Porównując wytrzymałość dielektryczną polilaktydu PLA z polipropylenem PP oraz polietylenem PE można zauważyć, że jest ona niższa w granicach do 40%. Te istotne różnice w wytrzymałości mogą być powodowane budową strukturalną materiałów oraz niską odpornością PLA na absorpcję wilgoci z otoczenia.

Odporność materiałów na łuk elektryczny małej mocy uzależniona jest od rodzaju materiału oraz jego składu. Rysunek 2 przedstawia porównanie odporności na łuk elektryczny małej mocy badanych materiałów.

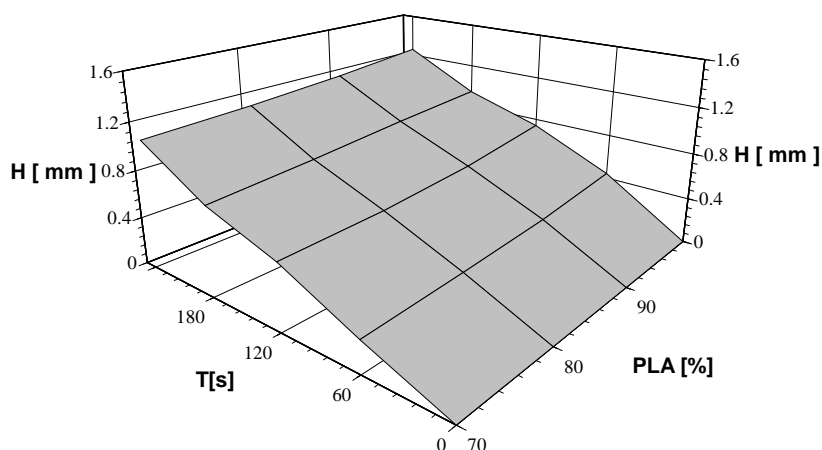


Rys. 2. Porównanie odporności na łuk elektryczny małej mocy wytworzonych materiałów

Kompozyty polilaktydu modyfikowane popiołami lotnymi wykazują większą odporność na łuk elektryczny w porównaniu do innych materiałów. Potwierdza to wcześniejsze wyniki badań materiałów, w których używano napełniaczy w postaci popiołów lotnych. Napełniacze powodują wzrost wytrzymałości termicznej warstwy

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

wierzchniej. Efektem działania łuku na powierzchnię materiału jest jej deformacja. W miejscu działania łuku następuje wytopienie materiału i jego degradacja co objawia się ubytkiem materiału pomiędzy elektrodami. Analiza kinetyki zachodzących zmian na powierzchni materiału (pomiar głębokości ubytku - H) przy różnym czasie działania łuku dla kompozytów PLA/PL zawierających popioły lotne przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Kinetyka zmian głębokości H deformacji powierzchni kompozytu PLA/PL w zależności od czasu działania łuku T dla kompozytów o różnej zawartości PLA

Wraz ze wzrostem ilości napelnacza popiołowego w kompozycie PLA/PL widoczne jest zmniejszenie głębokości deformacji. W przypadku pozostałych badanych materiałów można stwierdzić, że głębokość deformacji po czasie 180 s dla polilaktydu i kompozytów z użyciem PLA jest mniejsza w porównaniu z materiałami takimi jak polietylen i polipropylen.

Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że polilaktydy PLA oraz wykonane z ich udziałem kompozyty zawierające napelnicze nieorganiczne oraz polipropylen stanowią nową grupę materiałów, które mogą mieć zastosowanie na wyroby w przemyśle elektrotechnicznym i elektronicznym. Szczególnie ważne jest to, że dobre właściwości elektryczne są skorelowane z przetwórczymi i technologicznymi. Materiały te mogą być zamiennikami dla innych dotychczas stosowanych tworzyw. Dodatkowym atutem przemawiającym za ich zastosowaniem jest to, że są to materiały biodegradowalne co w znacznym stopniu upraszcza proces ich utylizacji. Dalsze wielokierunkowe badania materiałów w zakresie ich odporności na czynniki starzeniowe czy mikroorganizmy pozwolą lepiej określić przyszłe kierunki aplikacji. Przy obecnych wymaganiach w zakresie ochrony środowiska są to materiały przyszłościowe.

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

Literatura

1. Żuchowska D.: *Polimery konstrukcyjne*, WNT, Warszawa 1995.
2. Dyrektywa WEEE (Waste of Electrical and Electronic Equipment) 2002/96/EC.
3. Żuchowska D., Steller R., Meissner W.: Kompozyty polimerowe podatne na (bio)degradację, *Polimery* 52, nr 7-8 (2007), s. 524-531.
4. Utracki L. A., *Commercial Polymer Blends*, Chapman & Hall, London, 1998.
5. Bursa J., Tartakowski Z., Elektroizolacyjne kompozyty poliolefinowe modyfikowane mączką drzewną, *Wiadomości Elektrotechniczne* nr 7 (2010), s.40-42.
6. Tartakowski Z., Michalski J., Wysokonapełnione kompozyty z tworzyw recyklatowych do zastosowań na wyroby elektrotechniczne, *Wiadomości Elektrotechniczne* nr 8 (2010), s. 41-43.
7. Tartakowski Z., Pietrzak-Mantiuk A.: Resistance of high-content polypropylene/wood composites to low-current arc discharges, *Polymer Testing* 25 (2006) 342-346.
8. Tartakowski Z., Kosyl M. – Badania przetwórcze PLA, praca niepublikowana, ZUT, Szczecin, 2011.
9. Lewandowska J: Badania właściwości modyfikowanych kompozytów na osnowie PLA, praca dyplomowa magisterska ZUT, Szczecin, 2011.
10. Tartakowski Z., Wybrane aspekty przetwórcze i eksploatacyjne wieloskładnikowych recyklatowych kompozytów poliamidowo-polietylenowych, ZUT, Szczecin, 2009.
11. <http://www.natureworkslc.com/Japan/~media/TechnicalResources/TechnicalDataSheets/TechnicalDataSheet3052Dinjection-moldingpdf.pdf>, 15.02.2012.

Autorzy: ¹dr inż. Jan Bursa, Katedra Elektrotechnologii i Diagnostyki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, e-mail: bursa@zut.edu.pl

²dr hab. inż. Zenon Tartakowski, Zakład Tworzyw Polimerowych Instytutu Inżynierii Materiałowej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, 70-310 Szczecin, Al. Piastów 19, e-mail: zenon.tartakowski@zut.edu.pl

³mgr inż. Mateusz Kosyl, Zakład Tworzyw Polimerowych Instytutu Inżynierii Materiałowej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, 70-310 Szczecin, Al. Piastów 19, e-mail: mkosyl@zut.edu.pl