

---

**PRACE**

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Ceramics  
and Building Materials

---

**Nr 26**  
(lipiec–wrzesień)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

**Rok IX**

**Warszawa–Opole 2016**

---

AGNIESZKA PUDEŁKO\*  
KRYSTYNA MALIŃSKA\*\*  
PRZEMYSŁAW POSTAWA\*\*\*  
TOMASZ STACHOWIAK\*\*\*\*  
PATRYK WEISSER\*\*\*\*\*

## Wybrane właściwości biokompozytów na osnovie polimerów biodegradowalnych z dodatkiem biowęgla z osadów ściekowych

**Słowa kluczowe:** biokompozyty, biowęgiel, napełniacze, właściwości mechaniczne.

Biowęgiel z uwagi na swoje właściwości może znaleźć zastosowanie w produkcji kompozytów polimerowych jako napełniacz, który zmienia właściwości konwencjonalnych kompozytów oraz obniża koszty ich wytworzenia. Celem badań było określenie wpływu udziału biowęgla z komunalnych osadów ściekowych na wybrane właściwości biokompozytów na osnovie polimerów biodegradowalnych. Zakres badań obejmował wykonanie biokompozytów z masowym udziałem biowęgla 0, 10 i 20% na osnovie dwóch polimerów biodegradowalnych, tj. PLA (polilaktyd) i BIOPLAST GS2189 (tworzywo na bazie skrobi ziemniaczanej) oraz analizę wybranych właściwości fizycznych. Uzyskane wyniki wskazują, że biowęgiel jako dodatek (napełniacz) w biodegradowalnych tworzywach polimerowych powoduje modyfikację ich właściwości, a w szczególności mechanicznych.

---

\* Mgr inż., Politechnika Częstochowska, Wydział Infrastruktury i Środowiska, agnieszka.pudelko1@gmail.com

\*\* Dr inż., Politechnika Częstochowska, Wydział Infrastruktury i Środowiska, malinska.krystyna@gmail.com

\*\*\* Dr hab. inż., prof. PCz, Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, postawa@ipp.pcz.pl

\*\*\*\* Dr inż., Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, stachowiak@ipp.pcz.pl

\*\*\*\*\* Dr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu

## 1. Wstęp

Biowęgiel – z uwagi na swoje właściwości, tj. stabilność pod względem chemicznym, porowatość oraz rozwiniętą powierzchnię właściwą – jest przedmiotem licznych prac badawczych. Biowęgiel może być na przykład wykorzystywany jako sorbent do usuwania zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych, substancja poprawiająca właściwości gleb lub nawóz do gleb, materiał pomocniczy w kompostowaniu i wermikompostowaniu, czy też jako dodatek do pasz i ściółka dla zwierząt [1–9]. Biowęgiel znajduje również zastosowanie w produkcji kompozytów polimerowych jako dodatek, który może pozwolić na modyfikację właściwości konwencjonalnych kompozytów oraz obniżenie kosztów ich wytworzenia. Za wykorzystaniem biowęgla w produkcji kompozytów przemawiają przede wszystkim takie jego właściwości, jak: skład chemiczny, porowata struktura, rozwinięta powierzchnia właściwa oraz relatywnie prosty proces jego wytwarzania i mikronizacji, a także możliwość modyfikacji wybranymi związkami przed wprowadzeniem do osnowy polimerowej. Ważne jest również to, że wykorzystanie biowęgla otrzymanego z odpadów lub osadów ściekowych do produkcji kompozytów wpisuje się w zasady gospodarki cyrkulacyjnej. Co więcej, kompozyty z dodatkiem biowęgla mogą być poddane powtórnej pirolizie lub recyklingowi lub też w przypadku kompozytów biodegradowalnych mogą ulec rozkładowi w środowisku naturalnym.

Właściwości biowęgla z komunalnych osadów ściekowych w dużej mierze uzależnione są od właściwości samych osadów (w szczególności zawartości metali ciężkich) oraz temperatury procesu [10]. Biowęgiel otrzymany z komunalnych osadów ściekowych odznacza się stosunkową wysoką zawartością substancji mineralnych (np. biowęgiel wytworzony w temperaturze 450, 500 i 600°C charakteryzuje się zawartością substancji mineralnych odpowiednio: 68,1; 69,3 i 74,3%), niską zawartością węgla oraz niską kalorycznością (ok. 5,3–5,9 MJ/kg) [11]. Z uwagi na fakt, że biowęgiel z komunalnych osadów ściekowych może zawierać znaczące ilości metali ciężkich, o jego zastosowaniu będzie decydował właśnie skład chemiczny. Kierując się tymi właściwościami, biowęgiel z osadów ściekowych może być wykorzystany w produkcji kompozytów jako napełniacz stanowiący alternatywę dla materiałów otrzymanych z surowców nieodnawialnych, poprawiając właściwości mechaniczne i fizykochemiczne otrzymanych kompozytów [12].

W literaturze można znaleźć nieliczne przykłady prac badawczych poświęcone właściwościom kompozytów polimerowych z różnym udziałem masowym biowęgla otrzymywanego z wybranych substratów, ale obserwuje się wzrost zainteresowania wykorzystaniem tego materiału do produkcji kompozytów polimerowych. Das i in. [13] badali właściwości kompozytów polimerowo-drzewnych z dodatkiem biowęgla z odpadów. Dodatek biowęgla spowodował wzrost

przewodności termicznej, nie doprowadził natomiast do zmian jakościowych. Kompozyt na osnowie z polimeru biodegradowalnego PLA z dodatkiem biowęgla z bambusa wykazywał wzrost wytrzymałości na rozciąganie, giętkość i elastyczność w porównaniu do czystego PLA [14]. Prowadzone były również badania nad zastosowaniem różnych rodzajów biowęgla, tj. otrzymanego z odpadów drzewnych, osadów ściekowych oraz pomiotu kurzego (w ilości 24% masowo) do otrzymywania kompozytów polimerowo-drzewnych oraz nad właściwościami otrzymanych kompozytów. Dodatek biowęgla spowodował polepszenie wytrzymałości na rozciąganie wszystkich badanych kompozytów, a w szczególności kompozytu z dodatkiem biowęgla, który charakteryzował się najwyższą zawartością węgla (tj. 82,2%) oraz najbardziej rozwiniętą powierzchnią właściwą ( $335,9 \text{ m}^2/\text{g}$ ) wśród badanych rodzajów biowęgla [15]. Brak jest jednak doniesień na temat badań właściwości kompozytów na osnowie biodegradowalnej – biokompozytów – z dodatkiem biowęgla otrzymanego z komunalnych osadów ściekowych.

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu dodatku biowęgla z komunalnych osadów ściekowych na wybrane właściwości biokompozytów na osnowie polimerów biodegradowalnych. Zakres badań obejmował laboratoryjne wykonanie biokompozytów z wagowym udziałem biowęgla 0, 10 i 20% na osnowie dwóch polimerów (PLA i BIOPLAST) oraz analizę wybranych właściwości, w tym: wytrzymałość przy statycznym rozciąganiu, chłonność wody, udarność, analiza termiczna (dynamiczna analiza mechaniczna) oraz analiza struktury przełamów uzyskanych podczas próby statycznego rozciągania z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej.

## 2. Materiały i metody

### 2.1. Materiały

Do badań wykorzystano biowęgiel otrzymany z komunalnych osadów ściekowych oraz dwa rodzaje tworzyw biodegradowalnych: PLA i BIOPLAST GS2189. Biowęgiel z osadów ściekowych (otrzymany w temperaturze  $550^\circ\text{C}$ ) charakteryzował się zawartością wilgoci  $0,8 \pm 0,2\%$ , popiołu w temperaturze  $550^\circ\text{C}$  –  $43,76\%$ , węgla całkowitego –  $42,2 \pm 2,8\%$ , wodoru –  $4,47 \pm 0,82\%$ , siarki  $0,399 \pm 0,065\%$ , chloru –  $0,158\%$ , a także pH 7,4 i konduktywnością  $169 \pm 15 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Wartość opałowa wynosiła  $16826 \pm 1750 \text{ kJ/kg}$ . Do badań wykorzystano polilaktyd (PLA) Ingeo Biopolymer 4043D firmy NatureWorks LLC w postaci granulek barwy mlecznej oraz BIOPLAST GS2189 – biotworzywo (Biotec) składające się w 69% z surowców odnawialnych (tj. PLA, skrobia ziemniaczana). BIOPLAST GS2189 ma postać białego granulatu i jest materiałem termoplastycznym bez plastyfikatorów. Charakteryzuje się wysokim wskaź-

nikiem płynięcia i z tego względu nadaje się do przetwarzania metodą formowania wtryskowego. BIOPLAST GS2189 jest tworzywem biodegradowalnym zgodnie z normą PL-EN 13432:2002 (przyznany certyfikat „OK compost”).

## 2.2. Metody

### Przygotowanie materiałów i wytworzenie kompozytów

Biowęgiel z osadów ściekowych dostarczony w postaci bryłek został rozdrobniony z wykorzystaniem wysokoobrotowego młyna jednowałowego. Tak uzyskany materiał został następnie przesiany przez sito o średnicy oczek 1,5 mm w celu odseparowania frakcji grubej, która mogłaby zakłócić przepływ w formie wtryskowej. Nie wykonano pełnej i szczegółowej analizy sitowej, ponieważ podczas przygotowywania kompozytu w układzie uplastyczniającym wtryskarki, frakcja i tak ulegnie rozproszeniu na skutek ruchu obrotowego ślimaka i tarcia cząstek napelnacza o ścianki cylindra i ślimaka. Następnie tak przygotowany napelnacz w ilości 0, 10 i 20% (masowo) dodawano do tworzyw, które stanowiły osnowę badanych kompozytów. Przygotowano następujące zestawienie materiałów do badań: (1) PLA (polilaktyd) – materiał odniesienia (PLA), (2) PLA + 10% biowęgla z osadów ściekowych (90% PLA + 10% B), (3) PLA + 20% biowęgla z osadów ściekowych (80% PLA + 20% B), (4) BIOPLAST – materiał odniesienia (BIO), (5) BIOPLAST + 10% biowęgla z osadów ściekowych (90% BIO + 10% B), (6) BIOPLAST + 20% biowęgla z osadów ściekowych (80% BIO + 20% B).

Biowęgiel wykazuje znaczną chłonność wilgoci. Zawartość wilgoci powyżej 0,2% powoduje problemy podczas przetwórstwa tworzyw, dlatego też przed wytworzeniem próbek badawczych napelnacz oraz tworzywo poddano procesowi suszenia w suszarce laboratoryjnej (suszarka CD9 firmy Shini). Temperatura suszenia wynosiła 95°C dla biowęgla w czasie 4 godzin oraz 70°C dla tworzywa również w czasie 4 godzin. Po wysuszeniu materiały do badań zostały zmieszane w proporcjach przedstawionych powyżej i wsypane do leja zasypowego wtryskarki. Próbki kompozytów do badań wykonano z wykorzystaniem wtryskarki (wtryskarka firmy Krauss Maffei KM65 C3 o sile zwarcia 650 kN). Próbki badawcze wykonano z wykorzystaniem znormalizowanej formy wtryskowej do wytwarzania próbek do testów rozciągania według normy ISO 527 [16], następnie próbki zostały poddane kondycjonowaniu normalizującemu przed badaniami właściwości mechanicznych [17–18].

### Badanie właściwości wytworzonych biokompozytów

Wytworzone biokompozyty w postaci kształtek poddano następującym badaniom: (1) badanie właściwości wytrzymałościowych przy statycznym rozciąganiu zgodnie z normą PN-EN ISO 527-1:2012 [19]; (2) badanie udarności

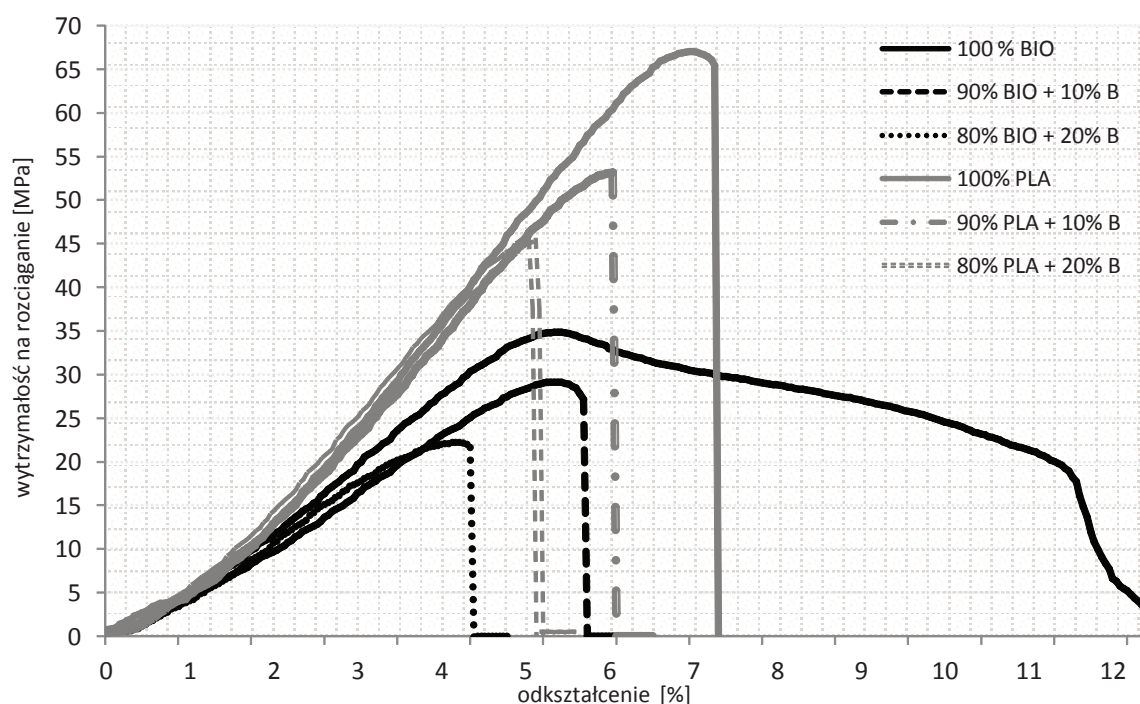
metodą Charpy'ego zgodnie z normą PN-EN ISO 179-1:2010 [20]; (3) badanie chłonności wody zgodnie z normą PN-EN ISO 62:2008 [21]; (4) badanie właściwości termicznych metodą DMA z wykorzystaniem dynamicznego analizatora mechanicznego firmy Netzsch (Niemcy) typ DMA 242C [22]; (5) analiza mikroskopowa przełomów za pomocą mikroskopu inspekcyjnego stereoskopowego NIKON SMZ800.

### 3. Wyniki badań i dyskusja

Dodatek biowęgla z osadów ściekowych jako napelnacza do dwóch typów kompozytów na osnowie biodegradowalnej spowodował modyfikację wszystkich badanych właściwości, w szczególności mechanicznych.

#### 3.1. Wytrzymałość na rozciąganie

Zmiany wytrzymałości na rozciąganie dla każdego badanego biokompozytu wyrażono jako wartość naprężenia zrywającego wyrażonego w MPa w funkcji odkształcenia (%) (ryc. 1).



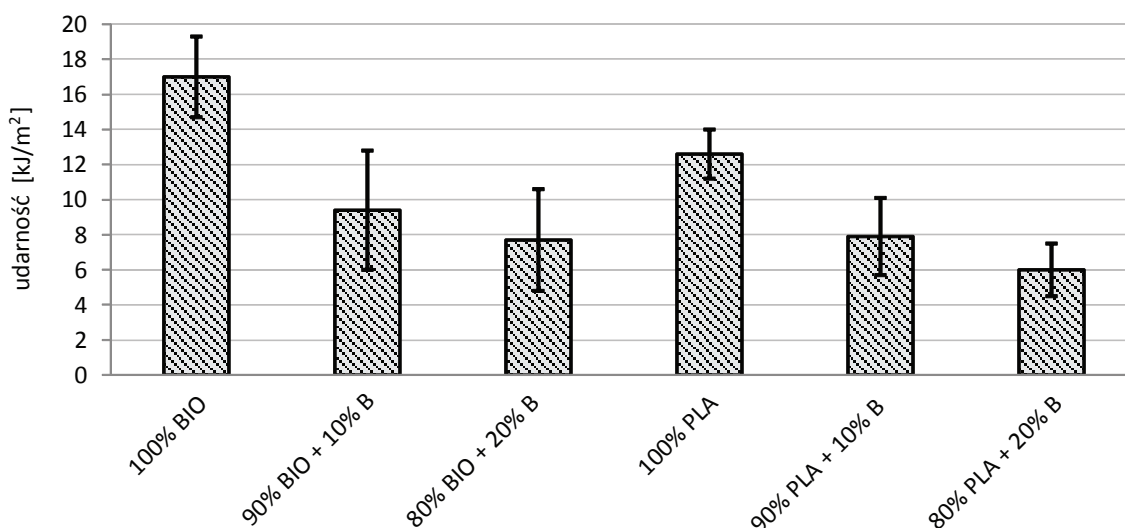
Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 1. Wytrzymałość na rozciąganie badanych biokompozytów na osnowie PLA i BIOPLAST z różnym udziałem biowęgla z osadów ściekowych

Zmiany te odniesiono do czystych (bazowych próbek odniesienia) polimerów biodegradowalnych PLA i BIOPLAST GS2189. W badanych biokompozytach zaobserwowano pogorszenie właściwości mechanicznych wraz ze wzrostem udziału biowęgla. Najbardziej wytrzymałym tworzywem okazał się PLA bez napełnienia (67 MPa), prawie połowę mniejszą wartość wytrzymałości posiadał BIOPLAST GS2189 (35 MPa). Podobne wartości wytrzymałości na rozciąganie uzyskali inni badacze i tak dla PLA wartość ta wynosiła  $69,467 \pm 2,426$  MPa [23], a dla BIOPLASTU GS2189 – 37,2 MPa [24]. W przypadku kompozytów na osnowie BIOPLAST GS2189, dodatek biowęgla z osadów ściekowych w ilości 10 i 20% spowodował spadek wytrzymałości odpowiednio do 28 MPa i 22 MPa. Wytrzymałość kompozytów na osnowie PLA uległa pogorszeniu z 67 MPa do 54 MPa dla 10% dodatku biowęgla oraz do 45 MPa dla 20% biowęgla. Odmienne wyniki otrzymali inni badacze [13, 15], którzy zaobserwowali, że dodatek biowęgla z biomasy drzewnej do polipropylenu poprawia właściwości mechaniczne uzyskanego kompozytu. Dodatek biowęgla z bambusa do PLA również przyczynił się do wzrostu wytrzymałości kompozytu [14]. Badacze wskazali, że było to spowodowane wysoką zawartością węgla (82,2%) oraz powierzchnią właściwą ( $336 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) biowęgla. Materiał ten uzyskany z osadów ściekowych charakteryzuje się znacznie niższą zawartością węgla. W przypadku wykorzystanego do badań biowęgla, zawartość węgla całkowitego wynosiła 42,2%.

### 3.2. Udarność

Z otrzymanych rezultatów badań udarności (ryc. 2) wynika, że największą udarnością charakteryzowały się materiały wykonane z czystego PLA i BIOPLAST GS2189, która wynosiła odpowiednio  $17 \text{ kJ/m}^2$  i  $13 \text{ kJ/m}^2$ .



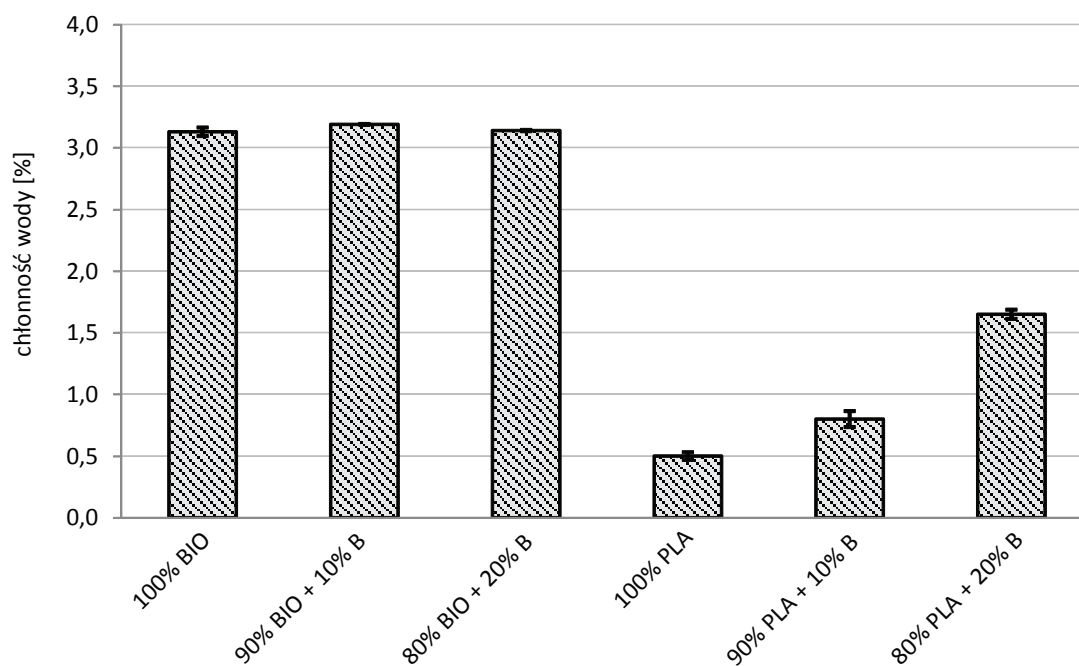
Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 2. Udarność badanych biokompozytów na osnowie PLA i BIOPLAST GS2189 z różnym udziałem biowęgla z osadów ściekowych

Natomiast wraz ze wzrostem udziału biowęgla z osadów ściekowych w badanych kompozytach wartość udarnośći maleje. Jest to typowe dla termoplastycznych kompozytów polimerowych. Dodatek biowęgla spowodował pogorszenie właściwości udarowych. Oznacza to, że tworzywo z dodatkiem biowęgla jest bardziej sztywne, ale jednocześnie i kruche. Podczas odkształcenia następuje szybka i zarazem łatwa propagacja pęknięcia, która występuje na granicy polimerowej osnowy i węgla. Efektem tego jest mniejsza wartość udarnośći. Udarność ma dużą wartość w przypadku elastycznych tworzyw, z kolei zmniejsza się w kruchych materiałach, czego efektem jest pęknięcie sztywniejszego materiału.

### 3.3. Chłonność wody

Wszystkie badane próbki wykazywały zdolność do absorpcji wody (ryc. 3), jednak w największym stopniu BIOPLAST GS2189 (3,13%) i kompozyty na jego osnowie.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 3. Chłonność wody badanych biokompozytów na osnowie PLA i BIOPLAST GS2189 z różnym udziałem biowęgla z osadów ściekowych

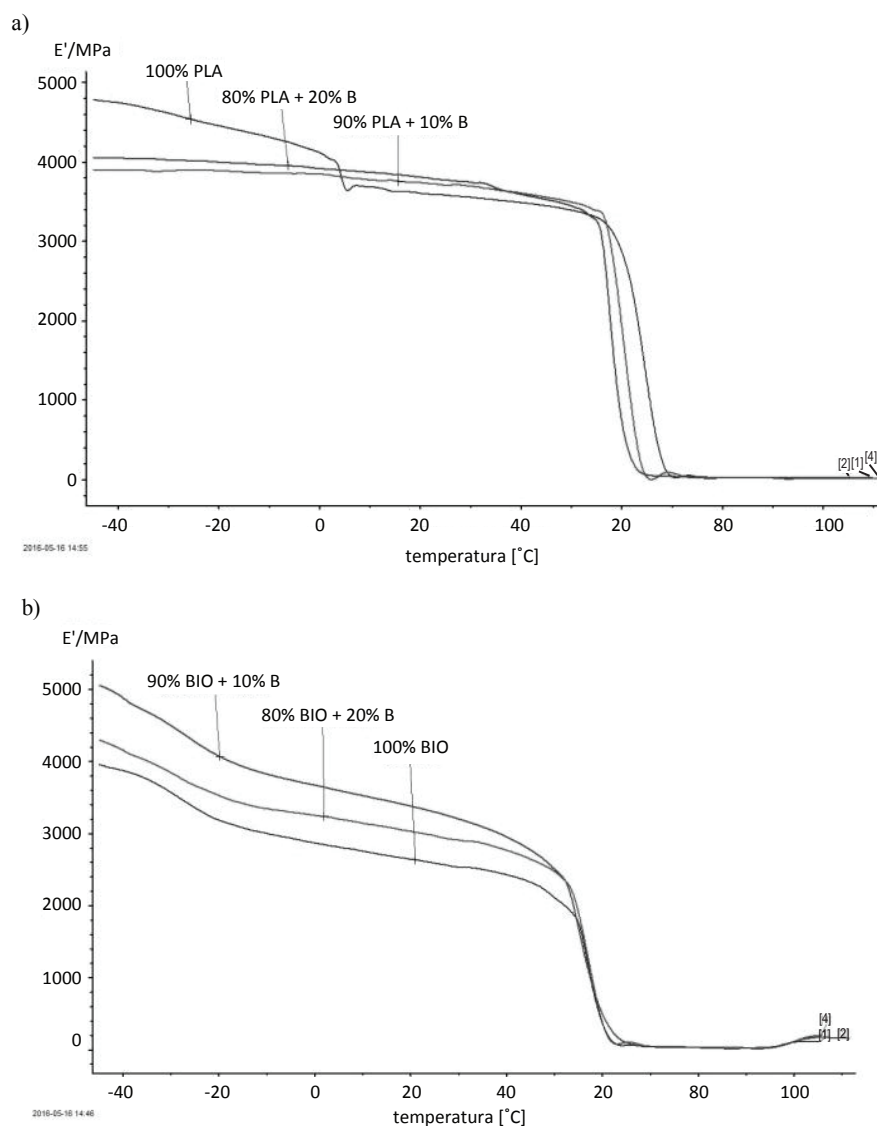
W wyniku suszenia PLA zmienił kolor z bezbarwnego na mleczny, z kolei BIOPLAST GS2189 charakteryzował się delikatnym wygięciem kształtki. Próbki z dodatkiem biowęgla uległy odbarwieniu oraz odkształceniu. Dodatek napelnacza spowodował zwiększenie podatności na chłonność wilgoci, szczególnie w przypadku biokompozytu na osnowie PLA. Należy zauważyć, że biokompozyty na osnowie PLA z napelniaczem spowodowały gwałtowny wzrost chłonno-



ści z 0,50% dla czystego PLA do 0,80% dla 90% PLA + 10% B i 1,65% dla 80% PLA + 20% B. Polilaktyd w sposób naturalny absorbuje wilgoć, a dodatek biowęgla zintensyfikował tę cechę. Z kolei BIOPLAST GS2189, jak wynika z ryciny 3, cechuje się dużą higroskopijnością, a dodatek biowęgla nieznacznie tylko podniósł zdolność do absorpcji. Jest to ważna informacja z punktu widzenia technologii przetwórstwa tego typu materiałów.

### 3.4. Dynamiczno-mechaniczna analiza termiczna (DMA)

Wyniki DMA (ryc. 4) przedstawiają zmiany modułu zachowawczego  $E'$  w funkcji temperatury.



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

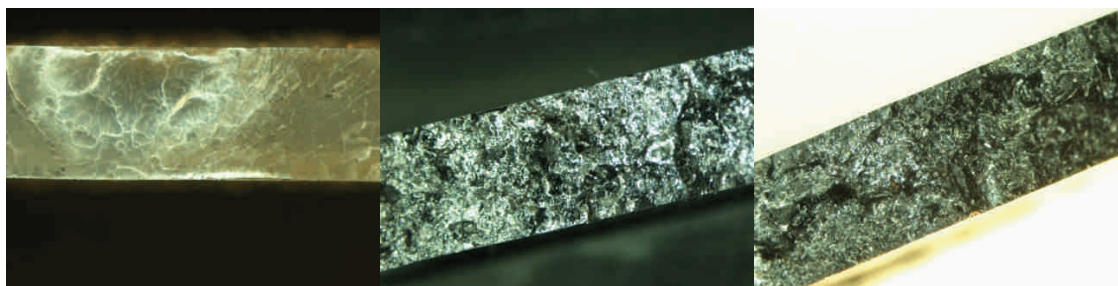
Ryc. 4. Przebieg modułu zachowawczego ( $E'$ ) w funkcji zmiany temperatury dla wybranych kompozytów: a) na osnowie PLA i b) BIOPLAST GS2189 z dodatkiem biowęgla z osadów ściekowych

Moduł zachowawczy decyduje o sztywności badanej próbki i na jego podstawie można określić właściwości tworzywa pod wpływem zmieniającej się temperatury. Badania prowadzono przy częstotliwości zmiany obciążenia 1 i 10 Hz, amplitudzie drgań 80  $\mu\text{m}$ , zmieniając temperaturę w zakresie od  $-50$  do  $110^\circ\text{C}$ . Przebieg modułu zachowawczego ( $E'$ ) dla biokompozytów na osnowie PLA z napełniaczem w postaci 20% biowęgla z osadów wykazał stabilność i niewielki spadek w zakresie temperaturowy od  $-50$  do  $55^\circ\text{C}$ . Dla PLA nienapełnionego wartość  $E'$  osiąga 4800 MPa i 4000 MPa dla 100% BIO. Dodanie napełniacza do PLA powoduje obniżenie modułu do wartości 4000 MPa (80% PLA + 20% B). Natomiast biowęgiel dodany do BIOPLAST GS2189 skutkuje podwyższeniem stabilności i wynosi 4300 MPa (80% BIO + 20% B).

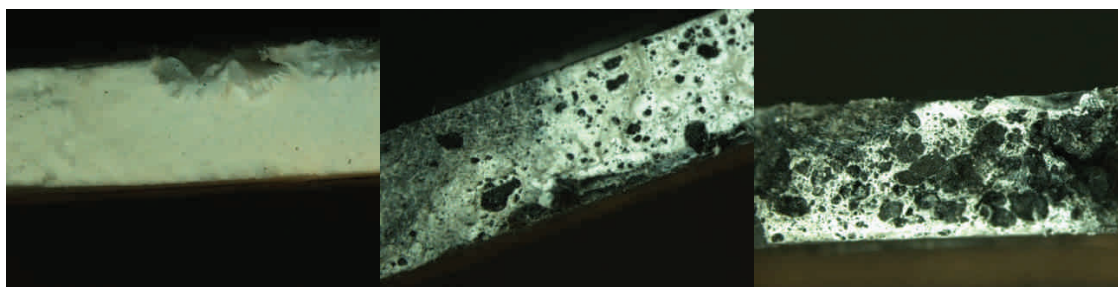
### 3.5. Struktura przełamów

Napełnienie w postaci biowęgla miało wpływ na utworzenie się aglomeratów (biowęglowych skupisk) zarówno dla próbek kompozytów na osnowie PLA, jak i BIOPLAST GS2189 (ryc. 5).

a)



b)



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 5. Struktura przełamów kompozytów na osnowie z:

- a) PLA, 90% PLA + 10% B, 80% PLA + 20% B po zerwaniu,
- b) BIOPLAST, 90% BIO + 10% B, 80% BIO + 20% B po zerwaniu

Większą jednorodnością odznaczały się biokompozyty PLA z napełnieniem, w porównaniu do tych na osnowie BIOPLAST GS2189. Całkowicie homogeniczną strukturę można zauważyć na obrazie 100% BIO oraz 100% PLA. Widoczne

pod mikroskopem aglomeraty mogą wpływać niekorzystnie na właściwości mechaniczne materiałów oraz przyczyniać się do powstawania trudności podczas procesu przetwórstwa. Z tego względu ważne jest zapewnienie odpowiedniej dyspersji napełniacza w matrycy polimerowej oraz właściwe przygotowanie komponentów. Należy podkreślić tu bardzo dużą rolę procesów rozdrabniania i przygotowania kompozytów oraz ich homogenizację z polimerami bazowymi.

## 4. Wnioski

Uzyskane wyniki wskazują, że wykorzystanie biowęgla z osadów ściekowych jako napełniacza w biokompozytach na osnowie polimerów biodegradowalnych PLA i BIOPLAST GS2189 powoduje znaczną modyfikację wszystkich ich właściwości, a w szczególności właściwości mechanicznych:

- zastosowanie biowęgla jako napełniacza spowodowało pogorszenie właściwości mechanicznych, w szczególności udarności badanych biokompozytów w porównaniu do nienapełnionych tworzyw, jednak nie wpływa to na potencjalne zastosowania tych biokompozytów;
- dodatek biowęgla spowodował tworzenie się aglomeratów w strukturze otrzymanych biokompozytów, co może mieć negatywny wpływ na właściwości mechaniczne wytwarzanych z nich przedmiotów i proces przetwórczy;
- wytworzone biokompozyty na osnowie PLA z dodatkiem biowęgla wykazywały zdolności do absorpcji wody, co w konsekwencji może wpłynąć pozytywnie na ich biodegradację.

Należy również wskazać, że dotychczas przeprowadzone badania [13, 15] wykazały poprawę właściwości mechanicznych otrzymanych kompozytów. Badania te jednak opierały się na wykorzystaniu klasycznych (tj. ropopochodnych) termoplastycznych tworzyw sztucznych (np. polipropylen), które mają odmienną charakterystykę przetwórstwa oraz szerszą tolerancję stosowanych parametrów (m.in. temperatury wtrysku oraz narzędzia). W przypadku przetwórstwa termoplastycznych tworzyw biodegradowalnych wymagany jest reżim technologiczny z uwagi na możliwość termicznej degradacji polimeru.

Dalsze prace badawcze będą obejmowały wytworzenie przedmiotu użytkowego za pomocą wybranej formy wtryskowej związane z produkcją akcesoriów ogrodniczych, poddanie ich testom, przeprowadzenie badań biodegradowalności i kompostowalności oraz określenie ich właściwości strukturalnych i wytrzymałościowych po procesie kompostowania\*.

---

\* Źródło finansowania: BS/PB-401-301/11 Politechnika Częstochowska.

## Literatura

- [1] Qian K., Kumar A., Zhang H., Bellmer D., Huhnke R., *Recent advances in utilization of biochar*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” 2015, Vol. 42, s. 1055–1064.
- [2] Ahmad M., Rajapaksha A.U., Lim J.E., Zhang M., Bolan N., Mohan D. et al., *Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review*, „Chemosphere” 2014, Vol. 99, s. 19–33.
- [3] Mohan D., Sarswat A., Ok Y.S., Pittman C.U. Jr., *Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent – A critical review*, „Bioresource Technology” 2014, Vol. 160, s. 191–202.
- [4] Zielińska A., Oleszczuk P., *Evaluation of sewage sludge and slow pyrolyzed sewage sludge-derived biochar for adsorption of phenanthrene and pyrene*, „Bioresource Technology” 2015, Vol. 192, s. 618–626.
- [5] Radawiec W., Dubicki M., Karwowska A., Żelazna K., Gołaszewski J., *Biochar from a digestate as an energy product and soil improver*, „Agricultural Engineering” 2014, Vol. 151, No. 3, s. 149–156.
- [6] Ścisłowska M., Włodarczyk R., Kobyłcki R., Bis Z., *Biochar to improve the quality and productivity of soils*, „Journal of Ecological Engineering” 2015, Vol. 16, No. 3, s. 31–35.
- [7] Czekała W., Malińska K., Janczak D., Caceres R., Dach J., Lewicki A., *Composting of poultry manure mixtures amended with biochar – the effect of biochar on temperature and duration of thermophilic phase*, „Bioresource Technology” 2016, Vol. 200, s. 921–927.
- [8] Malińska K., Zabochnicka-Świątek M., Caceres R., Marfa O., *The effect of precomposted sewage sludge mixture amended with biochar on the growth and reproduction of Eisenia fetida during laboratory vermicomposting*, „Ecological Engineering” 2016, Vol. 90, s. 35–41.
- [9] Malińska K., Zabochnicka-Świątek M., Dach J., *Effects of biochar amendment on ammonia emission during composting of sewage sludge*, „Ecological Engineering” 2014, Vol. 7, s. 474–478.
- [10] Lu H., Zhang W., Wang S., Shuang L., Yang Y., Qiu R., *Characterization of sewage sludge derived biochar from different feedstocks and pyrolysis temperatures*, „Journal of Analytical and Applied Pyrolysis” 2013, Vol. 102, s. 137–143.
- [11] Alvarez J., Amutio M., Lopez G., Barbarias I., Bilbao J., Olazar M., *Sewage sludge valorization by flash pyrolysis in a conical pouted bed reactor*, „Chemical Engineering Journal” 2015, Vol. 273, s. 173–183.
- [12] Das O., Sarmah A.K., Bhattacharyya D., *A sustainable and resilient approach through biochar addition in wood polymer composites*, „Science of the Total Environment” 2015, Vol. 512/513, s. 326–336.
- [13] Das O., Sarmah A.K., Zujovic Z., Bhattacharyya D., *Characterization of waste derived biochar added biocomposites: chemical and thermal modifications*, „Science of the Total Environment” 2016, Vol. 550, s. 133–142.
- [14] Ho M.P., Lau K.T., Wang H., Hui D., *Improvement on the properties of polylactic acid (PLA) using bamboo charcoal particles*, „Composites” P. B, 2015, Vol. 81, s. 14–25.

- [15] Das O., Sarma A.K., Bhattacharya D., *Biocomposites from waste derived biochars: mechanical, thermal, chemical, and morphological properties*, „Waste Management” 2016, Vol. 49, s. 560–570.
- [16] ISO 527-1:2012 – Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu. Część 1: Zasady ogólne.
- [17] Stachowiak T., Jaruga T., *Structure of gas-assisted injection moulded parts*, „Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering” 2010, Vol. 38, No. 2, s. 139–145.
- [18] Gnатовski A., Stachowiak T., *The influence of gas-assisted injection molding parameters on the structure and thermomechanical properties of hollow parts*, „Polymer Engineering and Science” 2013, Vol. 53, s. 257–262.
- [19] PN-EN ISO 527-1:2012 – Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu. Część 2: Warunki badań tworzyw sztucznych przeznaczonych do różnych technik formowania.
- [20] PN-EN ISO 179-1:2010 – Tworzywa sztuczne – Oznaczanie udarności metodą Charpy’ego. Część 1: Nieinstrumentalne badanie udarności.
- [21] PN-EN ISO 62:2008 – Tworzywa sztuczne – Oznaczanie absorpcji wody.
- [22] Postawa P., Stachowiak T., Szarek A., *Badania właściwości kompozytów drewno-polimer metodą DMTA*, „Kompozyty” 2010, nr 3, s. 266–269.
- [23] Florjańczyk Z., Rokicki G., Plichta A., Parzuchowski P., Dębowski M., Zychewicz A., Lisowska D., *Badania nad syntezą, właściwościami i zastosowaniem polimerycznych modyfikatorów PLA*, [w:] *Materiały opakowaniowe z kompostowalnych tworzyw polimerowych*, red. M. Kowalczyk, H. Żakowska, Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Opakowań, Warszawa 2012.
- [24] Kijeński J., Błędzki A.K., Jeziorska R., *Odzysk i recykling materiałów polimerowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011.

AGNIESZKA PUDEŁKO  
KRYSTYNA MALIŃSKA  
PRZEMYSŁAW POSTAWA  
TOMASZ STACHOWIAK  
PATRYK WEISSER

SELECTED PROPERTIES OF BIOCOMPOSITES FROM  
BIODEGRADABLE POLYMERS WITH THE ADDITION OF SEWAGE  
SLUDGE DERIVED BIOCHAR

**Keywords:** biocomposites, biochar, fillers, mechanical properties.

Biochar due to its numerous properties can be applied as an alternative filler in manufacturing of biocomposites. As an alternative filler biochar can modify the properties of composites and allow cost reduction. The overall goal of this study was to determine the effect of the addition of biochar obtained from sewage sludge on the selected properties of the composites produced

from biodegradable plastics. The scope of the study included manufacturing of biocomposites from biodegradable plastics (PLA and BIOPLAST GS2189) with the addition of 0%, 10 and 20% of biochar and the analysis of the selected physical properties. The obtained results indicate that biochar as an additive (a filler) in plastics biodegradable polymer causes a significant modification of the investigated properties, in particular mechanical properties.