

Roma GOŁUCH-GÓRECZNA^{1,4}, Magdalena URBANIAK², Andrzej K. BŁĘDZKI³

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

¹Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, ²Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn

³Instytut Inżynierii Materiałowej, al. Piastów 19, 70-310 Szczecin

⁴Carbon Fox Sp. z o.o., Rajkowo 13F, 72-005 Rajkowo

e-mail: murbaniak@zut.edu.pl

Właściwości biokompozytów na bazie naturalnego aglomeratu korkowego wytworzonych metodą infuzji

Streszczenie: Wielowarstwowe płyty biokompozytów wytworzono metodą infuzji, gdzie materiałem okładzinowym był laminat epoksydowo-szkłany, a materiałem rdzeniowym naturalny aglomerat korkowy o różnych grubościach. Próbkę wyciętą z płyt biokompozytów poddano badaniom statycznego zginania czteropunktowego i statycznej próby ściskania prostopadle do płaszczyzny laminowania, a także oznaczono ich ciężar właściwy. Wyniki otrzymane z badań tych próbek porównano z wynikami uzyskanymi z badań biokompozytów warstwowych wytworzonych, przy wykorzystaniu tych samych materiałów i warunków termicznych, metodą worka próżniowego.

Słowa kluczowe: biokompozyt, naturalny aglomerat korkowy, infuzja, kompozyt warstwowy

BIOCOMPOSITES PROPERTIES BASED ON NATURAL CORK AGGLOMERATE MANUFACTURED BY THE INFUSION METHOD

Abstract: Sandwich biocomposites were manufactured by the infusion method, in which cladding material as glass-epoxy laminate and core material as natural cork agglomerate of different thickness were used. Samples cut out of the biocomposite plates were subjected to investigations including four-point bending and compression tests as well as specific weight determination. The testing results were compared to the results obtained on sandwich composites manufactured by vacuum bag method using the same materials and thermal conditions.

Keywords: biocomposite, natural cork agglomerate, infusion, sandwich composite

1. WPROWADZENIE

Rozwój i postęp inżynierii materiałowej, inspirowany i wymuszany przez wymogi ekologiczne, jak i ekonomiczne coraz częściej i w szerszym zakresie wprowadza w wielu gałęziach przemysłu materiały i produkty pochodzenia naturalnego, które charakteryzują się szeregiem unikalnych właściwości. Dążenie do wytworzenia nowatorskich materiałów o właściwościach dorównujących coraz lepszym materiałom tradycyjnym szeroko stosowanym w technice doprowadziło do powstania grupy tworzyw określanych jako materiały kompozytowe [1, 2]. Obecnie najbardziej intensywny i szybki rozwój na rynku materiałów przechodzą lekkie

kompozyty warstwowe, tzw. kompozyty typu sandwich. Odgrywają one coraz większą rolę w wielu gałęziach przemysłu, zwłaszcza motoryzacyjnego i lotniczego, budownictwa lądowego i morskiego oraz w energetyce wiatrowej. Dzięki zastosowaniu lekkiego rdzenia w kompozycie warstwowym uzyskuje się niebywałą sztywność w stosunku do ciężaru elementu. Efektem znacznej redukcji ciężaru w stosunku do tradycyjnych rozwiązań jest zmniejszenie zarówno kosztów eksploatacji produktów z nowych kompozytów, jak również emisji dwutlenku węgla przy ich produkcji. W zależności od potrzeb istnieje wiele odmian materiału rdzeniowego [3, 4], a wśród nich naturalny aglomerat korkowy wyróżniająca się szeregiem niezwykle cennych właściwo-

ści chemicznych i fizycznych. Charakteryzuje go mały ciężar właściwy, a przede wszystkim odporność chemiczna i biologiczna oraz wysoka izolacyjność termiczna i akustyczna. Cechuje się także trudnopalnością i nieprzepuszczalnością dla cieczy i gazów, wysoką odpornością na zużycie i temperaturę oraz tłumieniem drgań mechanicznych [5÷9]. Dzięki tym niezwykłym właściwościom korka, kompozyty warstwowe z jego udziałem są coraz powszechniej stosowane w wielu produktach przemysłowych, w budownictwie i transporcie [6÷8, 10], a nawet wykorzystywane są jako osłony termiczne rakiet kosmicznych [6, 8], zaś ekstrakty korka znajdują zastosowanie nawet w medycynie [11].

2. METODA WYTWARZANIA MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH

Materiały kompozytowe do badań wytworzono metodą infuzji, tj. najprężniej rozwijającej się obecnie i najczęściej stosowanej metody wytwarzania lekkich konstrukcji kompozytowych [12]. Polega ona na ułożeniu suchego wzmocnienia wraz z materiałami pomocniczymi w formie wykonanej z laminatu, a następnie zamknięciu układu warstw wysokoplastycznym workiem foliowym, uszczelnionym taśmą butylową. Zależnie od kształtu wyrobu, w optymalnym miejscu formy (zwykle w najwyższym punkcie) mocuje się króćce do doprowadzenia mieszanki żywicznej oraz odessania powietrza. Proces odsysania powietrza z kompozytu i iniekcji mieszanki żywicznej jest prowadzony jednocześnie do czasu przesylenia całego kompozytu na wskroś, zaś podciśnienie utrzymywane jest aż do utwardzenia się kompozytu [1, 13]. W celu odprowadzenia nadmiaru mieszanki żywicznej z kompozytu stosuje się naczynie przejściowe (ang. *resin trap*), które umieszcza się na drodze laminat-pompa próżniowa. Materiałami pomocniczymi w tej metodzie są: warstwa odrywana (ang. *peel ply*), siatka prowadząca oraz taśma dystrybucyjna. Warstwa odrywana gwarantuje uzyskanie powierzchni gotowej do klejenia o odpowiedniej fakturze, ponadto zabezpiecza

powierzchnie przed zanieczyszczeniami. Natomiast siatka prowadząca oraz taśmy dystrybucyjne pozwalają na szybki transport żywicy na powierzchni laminatu. Jako wzmocnienie laminatu w tej metodzie najczęściej stosuje się tkaniny, matotkaniny, oraz tkaniny multiaxialne, bowiem ich konstrukcja umożliwia polepszenie procesu płynięcia żywicy oraz zmniejsza jej zużycie. W celu pogrubienia laminatu, przy jednoczesnym zachowaniu masy oraz właściwości mechanicznych, stosuje się materiały rdzeniowe, tzn. przekładki lekkie [12].

Metoda infuzji ma przewagę nad innymi metodami wytwarzania, zwłaszcza w produkcji wielkoseryjnej, tj. przy dużej wydajności produkcji umożliwia jej automatyzację, stosowanie szerokiego spektrum wzmocnień i mieszanek żywicznych, a także w minimalizację kontaktu pracownika z płynną mieszanką żywiczną oraz ograniczanie emisji szkodliwych związków chemicznych. Jest to metodą o dość wysokim stopniu złożoności i wymaga stosowania dużych ilości mieszanki żywicznej, więc koniecznością jest posiadanie wykwalifikowanej kadry pracowników. Konieczne jest w niej również stosowanie jednorazowych, kłopotliwych do utylizacji materiałów pomocniczych [1, 14].

3. MATERIAŁY DO WYTWORZENIA BIOKOMPOZYTÓW

Okładzinowymi warstwami wytworzonych kompozytów typu sandwich był laminat zbudowany z kilku warstw rowingowej tkaniny szklanej, przesączonej mieszanką żywicy i utwardzająca epoksydowego. Jako materiał rdzeniowy zastosowano naturalny aglomerat korkowy Corcork NL20 o grubościach 6, 10, 15 i 25 mm.

Wielowarstwowe płyty biokompozytów sandwichowych wytworzono metodą infuzji (rys.1) i miały one wymiar 1000 × 500 mm. Po utwardzeniu płyt biokompozytowych (24 godz.), dotwardzono je w odpowiednich warunkach celem polepszenia właściwości. Na koniec płyty były cięte na próbki do badań za pomocą urządzenia WaterJet Streamcut, aby uzyskać ich gładką powierzchnię.



Rys. 1. Wytwarzanie biokompozytu metodą infuzji
Fig. 1. Manufacturing of biocomposite by infusion method

3.1. WZMOCNIENIE

Jako wzmocnienia do wytworzenia kompozytów warstwowych użyto tkaninę szklaną AEROGLOSS o splocie płóciennym, o gramaturze 280 g/m² firmy Havel Composites CZ. Wybrano tego typu wzmocnienie ze względu na powszechność jego stosowania (rys.2) [15]. Splot płócienny, jakim jest utkana tkanina umożliwia jej wykorzystanie przy skomplikowanych kształtach formy, z uwagi na przeplatający się i krzyżujący układ pasm tkaniny tworzących strukturę intensywnie sfalowaną, związaną i sztywną [14].

3.2. MATRYCA

Matrycę próbek kompozytów warstwowych o grubościach przekładek równych 6, 10 i 15 mm stanowiła żywica epoksydowa Biresin CR122 i utwardzacz epoksydowy Biresin CR122-5, natomiast do przekładki o grubości 25 mm, zastosowano żywicę Biresin CR132 i utwardzacz Biresin CR132-5 firmy Sika Deutschland GmbH. Żywice te charakteryzują się dobrą zwilżalnością włókien, nietoksycznością oraz wysokimi właściwościami wytrzymałościowymi już w temperaturze pokojowej. Przeznaczone są do zastosowań w lotnictwie, energetyce wiatrowej, motoryzacji oraz w produkcji form [16, 17].



Rys. 2. Tkanina Aeroglass 280 g/m²
Fig. 2. Glass fabric Aeroglass 280 g/m²

3.3. MATERIAŁ RDZENIOWY

Materiałem rdzeniowym w wytworzonych kompozytach był naturalny aglomerat korkowy Corecork NL20 o gęstości 200 kg/m^3 (rys. 3). Materiał Corecork, pozyskiwany z obumarłej kory drzewa korkowego, charakteryzuje się unikalnymi właściwościami, takimi jak: niezwykła sprężystość, izolacyjność akustyczna i termiczna, wysoka odporność chemiczna, ogniotrwałość, zdolność do tłumienia drgań, czy też niewrażliwość na wilgoć [5, 6, 8]. Dzięki tym wielu zaletom korek naturalny znajduje coraz szersze zastosowania w różnych gałęziach przemysłu (od zatyczek do butelek wina po np. okładziny w miejskim metrze Inspiro Siemens'a) [6÷9].

4. METODY BADAWCZE

Na wytworzonych próbkach kompozytowych przeprowadzono statyczne badania zginania czteropunktowego, statyczne próby ściskania oraz wyznaczono ciężar właściwy wytworzonych struktur sandwichowych.

4.1. STATYCZNA PRÓBA ZGINANIA CZTEROPUNKTOWEGO

Statyczne próby zginania czteropunktowego polegały na symetrycznym oraz prostopadłym do płaszczyzny laminowania obciążaniu próbki przez dwie równe co do wartości siły (rys.4). Badania zrealizowano zgodnie z normą



Rys. 3. Corecork NL20 o gęstości 200 g/m^3

Fig. 3. Corecork NL20 with a density 200 g/m^3



Rys. 4. Statyczne zginanie czteropunktowe próbki biokompozytu z materiałem rdzeniowym Corecork NL20 o grubości 15 mm

Fig. 4. Static four-point flexural test of biocomposite sample with Corecork NL20 in 15 mm thickness as a core

PN-EN ISO 14125, przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Instron 8501 przy prędkości zginania 5 mm/min. Wymiary próbek i rozstaw podpór uzależnione były od grubości materiału kompozytowego. Rozstaw dolnych podpór, naprężenie zginające jak i odkształcenie próbek wyznaczono zgodnie z normą PN-EN ISO 14125 [18]. Badania przeprowadzono w temperaturze pokojowej (22 °C) oraz wilgotności na poziomie 45 %.

4.2. STATYCZNA PRÓBA ŚCISKANIA PROSTOPADŁA DO PŁASZCZYZNY LAMINOWANIA

Statyczne próby ściskania prostopadłe do płaszczyzny laminowania przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 604 przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Instron 8501 (rys. 5), przy prędkości ściskania 1 mm/min, średniej temperaturze 22 °C oraz wilgotności 45 %. Do badań użyto prostopadłościennych próbek o wymiarach 70×70 mm i różnych grubościach. Naprężenie ściskające oraz odkształcenie próbek wyznaczono zgodnie z normą PN-EN ISO 604 [18].

4.3. CIĘŻAR WŁAŚCIWY

Ciężar właściwy sandwiczowy wyznaczono przy użyciu analitycznej wagi laboratoryjnej (RADWAG AS 160.R2) z dokładnością do 0,0001 g na próbkach o wymiarach 70×70 mm różnych grubościach). Pomiary przeprowadzono w temperaturze pokojowej (22 °C) oraz wilgotności 45 %.

Ciężar właściwy wyznaczono jako stosunek ciężaru próbki do jej objętości:

$$\gamma = \frac{Q}{V} \left[\frac{N}{m^3} \right] \quad (1)$$

gdzie: Q – ciężar [N], V – objętość [m³].

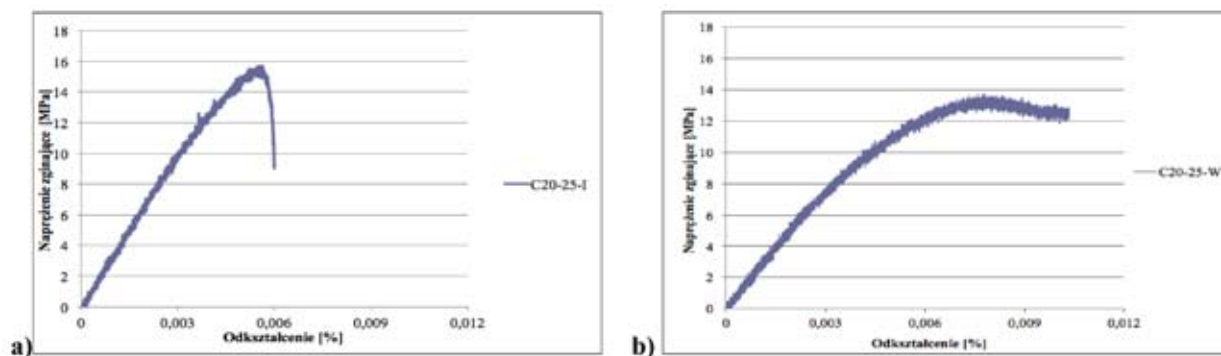
5. WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Na rysunkach 6a i 7a przedstawiono przykładowe krzywe naprężenie-odkształcenie względne, odpowiednio dla prób statycznego zginania czteropunktowego i prób ściskania biokompozytów sandwiczowych z przekładką naturalnego aglomeratu korkowego o grubości 25 mm, wytworzonych metodą infuzji. Natomiast na rys. 6b i 7b przedstawiono dla porównania ww. krzywe uzyskane dla biokompozytów wytworzonych metodą worka próżniowego [18].

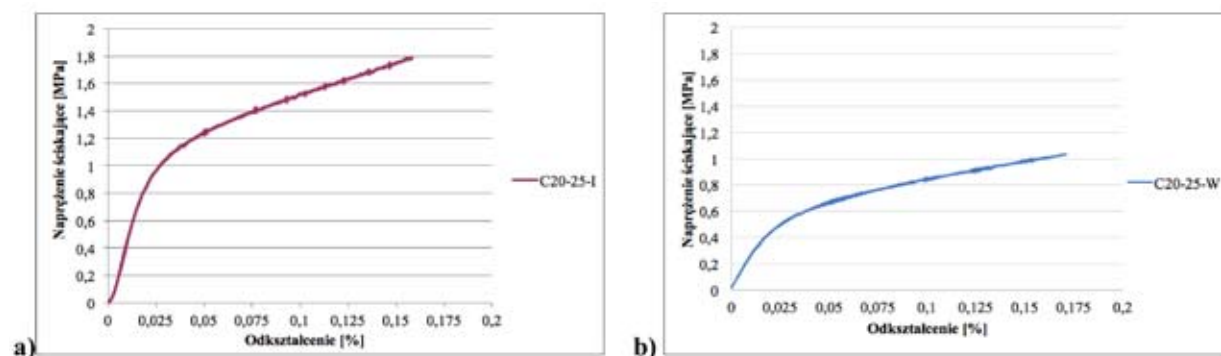


Rys. 5. Statyczna próba ściskania próbki biokompozytu z materiałem rdzeniowym Corecork NL20 o grubości 25 mm

Fig. 5. Static compression test of biocomposite sample with Corecork NL20 in 25 mm thickness as a core



Rys. 6. Przykładowe krzywe zależności naprężenia zginającego w funkcji odkształcenia dla biokompozytów z przekładką Corecork NL20 o grubości 25 mm wykonanych metodą: a) infuzji, b) worka próżniowego
 Fig. 6. Example flexural stress-strain curves for biocomposites with Corecork NL20 in 25 mm thickness as a core manufactured by a) infusion method, b) vacuum bagging method



Rys. 7. Przykładowe krzywe zależności naprężenia ściskającego w funkcji odkształcenia dla biokompozytów z przekładką Corecork NL20 o grubości 25 mm wykonanych metodą: a) infuzji, b) worka próżniowego
 Fig. 7. Example compressive stress-strain curves for biocomposites with Corecork NL20 in 25 mm thickness as a core manufactured by a) infusion method, b) vacuum bagging method

Wyniki przeprowadzonych badań biokompozytów warstwowych wytworzonych metodą infuzji zestawiono w tabelach 1, 2 i 3, kolejno dla

prób statycznego zginania czteropunktowego, ściskania równoległego do płaszczyzny laminowania oraz pomiarów ciężaru właściwego.

Tab. 1. Wartości wytrzymałości na zginanie, modułu sprężystości przy zginaniu, odkształcenia przy wytrzymałości na zginanie, obciążenia przy wytrzymałości na zginanie oraz strzałki ugięcia dla biokompozytów o różnej grubości przekładki

Tab. 1. Values of flexural strength, flexural modulus of elasticity, flexural strain, flexural load and bend deflection for biocomposites with different thickness of cores

Próbka*	Wytrzymałość na zginanie σ_z [MPa]	Moduł sprężystości przy zginaniu E_z [MPa]	Odkształcenie ϵ przy σ_z [%]	Obciążenie F przy σ_z [N]	Strzałka ugięcia przy σ_z [mm]
C20-25-I	15,4 $\pm 0,8$	2997,3 $\pm 56,6$	0,5 $\pm 0,1$	921,1 $\pm 48,8$	15,5 $\pm 0,6$
C20-15-I	31,6 $\pm 1,4$	4239,2 $\pm 103,6$	0,8 $\pm 0,0$	714,6 $\pm 32,6$	13,9 $\pm 0,7$
C20-10-I	37,0 $\pm 1,4$	4493,3 $\pm 126,3$	1,1 $\pm 0,1$	296,5 $\pm 11,1$	12,7 $\pm 0,2$
C20-06-I	69,5 $\pm 1,9$	5077,2 $\pm 204,0$	1,5 $\pm 0,1$	338,0 $\pm 15,2$	11,5 $\pm 1,1$

Tab. 2. Wartości wytrzymałości na ściskanie, odkształcenia przy wytrzymałości na ściskanie oraz obciążenia przy wytrzymałości na ściskanie dla biokompozytów o różnej grubości przekładki

Tab. 2. Values of compressive strength, compressive strain and compressive load for biocomposites with different thickness of cores

Próbka*	Wytrzymałość na ściskanie σ_c [MPa]	Odształcenie ϵ przy σ_c [%]	Obciążenie F przy σ_c [kN]
C20-25-I	1,0 _{+/-0,0}	0,03 _{+/-0,020}	2,8 _{+/-0,0}
C20-15-I	2,2 _{+/-0,2}	0,03 _{+/-0,010}	1,33 _{+/-0,3}
C20-10-I	9,6 _{+/-0,6}	0,03 _{+/-0,003}	8,7 _{+/-0,9}
C20-06-I	16,0 _{+/-0,9}	0,07 _{+/-0,009}	8,2 _{+/-1,9}

Tab. 3. Wartości ciężaru właściwego biokompozytów o różnej grubości przekładki

Tab. 3. Specific weight values of biocomposites with different thickness of cores

Próbka*	Ciężar właściwy [$\frac{N}{m^3}$]
C20-25-I	3640,4 _{+/-141,2}
C20-15-I	4112,3 _{+/-120,6}
C20-10-I	5290,7 _{+/-21,3}
C20-06-I	6646,9 _{+/-45,7}

* oznaczenie nazwy próbek: pierwszy człon oznacza typ materiału rdzeniowego, odpowiednio C20 - Corecork NL20; drugi człon oznacza grubość materiału rdzeniowego wyrażoną w milimetrach; trzeci człon oznacza zastosowaną metodę wytwarzania, odpowiednio I- metoda infuzji; SD - odchylenie standardowe.

Najwyższą wytrzymałość na zginanie, wytrzymałość na ściskanie, a także największy ciężar właściwy wykazują biokompozyty typu sandwich z najmniejszą grubością przekładki lekkiej (naturalnego aglomeratu korkowego Corecork NL20) wytworzone metodą infuzji (tab.1÷3). Zaobserwowano przy tym zależność, iż wraz ze wzrostem grubości materiału rdzeniowego maleją wartości uzyskane we wszystkich przeprowadzonych badaniach. Jest to wynikiem znacznej różnicy w udziale wzmocnienia i epoksydowej matrycy w strukturze biokompozytu. Wraz ze zmniejszeniem grubości materiału rdzeniowego udział wzmocnienia oraz matrycy proporcjonalnie maleje, a biokompozyt wykazuje zwiększoną zdolność do sprężystości i absorpcji energii, przy jednoczesnym zmniejszeniu wytrzymałości mechanicznej i ciężaru właściwego. Krzywe zależności naprężenia w funkcji odkształcenia przebiegają w sposób łagodny zarówno z próby statycznego zginania czteropunktowego i statycznego ściskania (rys. 6 i 7). Pod-

czas prób zginania czteropunktowego pęknięciu ulegała tylko warstwa okładzinowa, natomiast przekładka lekka, jaką był Corecork NL20, który ulegał jedynie zagęszczeniu.

6. PODSUMOWANIE

Materiały kompozytowe wytworzone odmiennymi metodami (infuzji lub worka próżniowego) wykazują różne wartości wytrzymałości na statyczne zginanie czteropunktowe i wytrzymałości na ściskanie prostopadłe do płaszczyzny laminowania, a także ciężaru właściwego.

Biokompozyt z przekładką aglomeratu korkowego NL20 o grubości 25 mm wykonany metodą infuzji wykazuje wytrzymałość na ściskanie na poziomie 1 MPa, czyli o 40 % wyższą od wytrzymałości biokompozytu wytworzonego metodą worka próżniowego - 0,6 MPa [18]. Analogiczną zależność można zaobserwować analizując wyniki badań wytrzymałości na statyczne zginanie czteropunktowe. Mianowicie, biokompozyt o gru-

bości przekładki 25 mm wykonany metodą infuzji wykazuje wytrzymałość na zginanie równą 15,4 MPa, zaś ten sam biokompozyt wykonany metodą worka próżniowego - 13,3 MPa, czyli ok. 14 % niższą wartością [18].

Natomiast w przypadku oznaczenia ciężaru właściwego, dużo niższe wartości tego parametru wykazuje biokompozyt wytworzony metodą worka próżniowego z przekładką grubości 25 mm, a mianowicie 3282,2 N/m³ [18]. Biokompozyt wykonany metodą formowania infuzyjnego cechuje ciężar właściwy niższy o ok. 11 % - 3640,4 N/m³. Wraz ze wzrostem grubości przekładki lekkiej w obu metodach wytwarzania, wytrzymałość na zginanie czteropunktowe, wytrzymałość na ściskanie, a także ciężar właściwy odpowiednio maleją.

Metoda wytwarzania laminatów warstwowych z przekładką lekką w zasadniczy sposób wpływa na ich właściwości mechaniczne, jak i fizyczne. Metodą, którą uzyskano mniejszą kompresję materiału biokompozytowego z rdzeniem z aglomeratu korkowego, wyższą wytrzymałość na zginanie oraz wyższy ciężar właściwy była metoda infuzji. Spowodowane to było bezpośrednio przesączeniem biokompozytu na wskroś, czyli poprzez twardą fazę w strukturze kompozytu. Z tego także powodu biokompozyty wytworzone metodą worka próżniowego wykazywały zdolność szybszego powrotu do pierwotnych wymiarów i charakteryzowały się łagodniejszą charakterystyką naprężenie - odkształcenie.

Zatem podczas projektowania lekkich konstrukcji biokompozytowych ważnym aspektem jest nie tylko dobór komponentów kompozytu, ale także wybór odpowiedniej metody wytwarzania, ponieważ dzięki niej w dość znacznym stopniu można sterować pożądanymi właściwościami materiałów kompozytowych.

BIBLIOGRAFIA

1. Fekner M.: *ABC Poradnik formierza tworzyw sztucznych*, Gdańsk 2011.
2. Ochelski S.: *Metody doświadczalne mechaniki kompozytów konstrukcyjnych*, WNT, Warszawa 2004.
3. Castro O., Silva J.M., Devezas T., Silva A., Gil L.: *Cork agglomerates as an ideal core material in lightweight structures*, *Materials and Design* 2010, vol. 31, p. 425-432.
4. Hop T.: *Konstrukcje warstwowe*, Arkady, Warszawa 1980.
5. Urbaniak M., Gołuch-Góreczna R., Błędzki A.K., Gajdziński S.: *Korek naturalny. Cz. I. Uprawy dębu korkowego, makro- i mikroskopowa morfologia korka*, *Polimery* 2017, vol. 62, nr 5, s. 388-393.
6. Urbaniak M., Gołuch-Góreczna R., Błędzki A.K., Gajdziński S.: *Korek naturalny. Cz. II. Właściwości i zastosowania*, *Polimery* 2017, vol. 62, nr 6, s. 472-480.
7. Urbaniak M., Gołuch-Góreczna R., Błędzki A.K.: *Natural Cork Agglomerate as an Ecological Alternative in Constructional Sandwich Composites*, *BioResources* 2017, vol. 12, No. 3, p. 5512-5524.
8. Pereira H.: *Cork: Biology, Production and Uses*, Elsevier, Amsterdam 2007.
9. Sargianis J., Kim H., Suhr O.: *Natural Cork Agglomerate Employed as an Environmentally Friendly Solution for Quiet Sandwich Composites*, *Scientific Reports* 2012, No. 2, p. 403-408.
10. Urbaniak M., Gołuch R., Błędzki A.K., Gajdziński S., Krysiński P., Józefiak A.: *Lekkie kompozyty konstrukcyjne na bazie surowców odnawialnych do zastosowań w transporcie*, *Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze* 2014, nr 2, s. 63-67.
11. Urbaniak M., Błędzki A.K.: *Korek naturalny w przemyśle chemicznym i medycynie*, *Przemysł Chemiczny* 2017, vol. 96, nr 1, s. 158-161.
12. Makuliński M.: *Porównanie techniki infuzji i worka próżniowego w praktyce*, *Polimery i kompozyty konstrukcyjne* 2010, 461-466.
13. Makuliński M.: *Technika infuzji*, *Materiały Kompozytowe* 2011, 0, 41-42.
14. Królikowski W.: *Polimerowe kompozyty konstrukcyjne*, PWN, Warszawa 2012.
15. Informacja techniczna firmy Havel Composites CZ, Glass fabric AEROGLOSS 280 g/m².
16. Informacja techniczna firmy Sika Deutschland GmbH, Żywica CR122 i utwardzacz CH122-5.
17. Informacja techniczna firmy Sika Deutschland GmbH, Żywica CR132 i utwardzacz CH132-5.
18. Gołuch-Góreczna R., Urbaniak M., Błędzki A.K.: *Biokompozyty na bazie naturalnego aglomeratu korkowego wytwarzane metodą worka próżniowego*, *Przetwórstwo Tworzyw* 2017, vol. 4.

Data wpłynięcia artykułu do redakcji: 08-07-2017

Data akceptacji publikacji do druku: 26-07-2017