

# Korek naturalny<sup>\*)</sup>

## Cz. II. Właściwości i zastosowania

Magdalena Urbaniak<sup>1)</sup>, Roma Gołuch-Góreczna<sup>2),3)</sup>, Andrzej K. Błędzki<sup>2),\*\*)</sup>, Sławomir Gajdziński<sup>3)</sup>

DOI: [dx.doi.org/10.14314/polimery.2017.472](https://dx.doi.org/10.14314/polimery.2017.472)

**Streszczenie:** Jest to druga część artykułu, w której omówiono wyjątkowe, korzystne fizyczne i mechaniczne właściwości korka naturalnego, wynikające głównie z jego specyficznej struktury komórkowej. Przedstawiono różnorodne sposoby wykorzystania tego materiału w przemyśle i gospodarce, a także jego najbardziej nowoczesne aplikacje w zaawansowanych technicznie technologiach. Zwrócono też uwagę na korzyści ekologiczne wynikające z zastosowania korka.

**Słowa kluczowe:** korek, właściwości, zastosowania.

### Natural cork. Part II. Properties and applications

**Abstract:** This is the second part of the article which covers the specific physical and mechanical properties of cork and its important industrial applications. Unique properties of cork resulting, to a large extent, from the features of its cellular structure, give rise to novel, high added-value applications of this material. Attention is also paid to the environmental advantages of using cork.

**Keywords:** cork, properties, applications.

Korek naturalny, stanowiący główny produkt wyjątkowego w świecie roślin ekosystemu leśnego dębów korkowych, jest materiałem o unikatowych właściwościach, nadającym się do ponownego wykorzystania w każdej postaci, nietoksycznym, trwałym i odpornym na zużycie. Korek skutecznie wiąże atmosferyczny dwutlenek węgla, co ma szczególne znaczenie, zwłaszcza w aspekcie globalnego ocieplania się klimatu. Świat nauki i biznesu ceni korek za jego niezwykle właściwości fizyczne i mechaniczne, które mogą być synergicznie wykorzystywane dla zrównoważonego rozwoju gospodarki i przemysłu.

W Cz. I artykułu [1] omówiono uprawy korka oraz jego mikro- i makrostrukturę, natomiast druga część jest poświęcona właściwościom korka i najczęstszym jego zastosowaniom.

### WŁAŚCIWOŚCI

Korek to jeden z najbardziej uniwersalnych materiałów naturalnych. Znajduje szerokie zastosowania, od prostych zatyczek butelek do specjalistycznych osłon termicznych w lotnictwie. Jest bardzo lekki, ściśliwy i elastyczny, trwały, odporny chemicznie i biologicznie, nietoksyczny, trudnopalny, praktycznie biorąc nieprzepuszczalny dla gazów i cieczy, wykazuje dobrą izolacyjność termiczną i akustyczną, jest też dobrym izolatorem drgań i dielektrykiem. Te wyjątkowe właściwości korka wynikają z jego komórkowej struktury, podobnej do plastra miodu [1]. Tabela 1 przedstawia ogólne właściwości korka naturalnego, w tabeli 2 wyszczególniono jego właściwości mechaniczne.

Mała gęstość korka jest skutkiem budowy jego komórek i mieszczących się między nimi soczewkowatych kanałików. Wymiary tych elementów struktury różnią się nieco w zależności od wieku kory dębu korkowego oraz okresu jej zbioru [1]. Tak uwarunkowana wartość gęstości korka mieści się w przedziale 120–240 kg/m<sup>3</sup> (tabela 1), a za średnią gęstość, odnoszącą się do wysuszonego korka, przyjmuje się wartość 150–160 kg/m<sup>3</sup> [2–4]. Dzięki małej gęstości udział korka w istotnym stopniu wpływa na redukcję masy zawierających go konstrukcji. Komórkowa struktura, zapewniająca specyficzny rozkład naprężeń działających na komórki korka pod obciążeniem, zapobiega pęknięciom materiału. Korek zachowuje swoje właściwości niezależnie od wilgotności i temperatury otoczenia [5]. Jest zawsze miękki, ale sprężysty i przyjemny w dotyku oraz odporny na zużycie [6].

<sup>1)</sup> Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, al. Piastów 19, 70-310 Szczecin.

<sup>2)</sup> Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, Instytut Inżynierii Materiałowej, al. Piastów 19, 70-310 Szczecin.

<sup>3)</sup> Carbon Fox Sp. z o.o., ul. Leopolda Staffa 12, 71-149 Szczecin.

<sup>\*)</sup> Materiał zawarty w artykule prezentowano podczas Konferencji Pomerania-Plast 2016, która odbyła się w Międzyzdrojach w dniach 7–10 czerwca 2016 r.

<sup>\*\*)</sup> Autor do korespondencji; e-mail: [abledzki@zut.edu.pl](mailto:abledzki@zut.edu.pl)

**Tabela 1. Ogólna charakterystyka korka naturalnego****Tabela 1. General properties of natural cork**

Właściwość	Wartość		Literatura
Gęstość, kg/m <sup>3</sup>	120–180 (amadia)	160–240 (virgin)	[4]
Współczynnik tarcia (korek gotowany/korek)	0,97 (w kierunku promieniowym)	0,77 (w kierunku niepromieniowym)	[14]
Współczynnik tarcia (korek gotowany/szkło)	0,76 (w kierunku promieniowym)	0,35 (w kierunku niepromieniowym)	[14]
Przewodność cieplna, W/(m · K)	0,040–0,045		[7]
Przewodność elektryczna, S/m	1,2 · 10 <sup>-10</sup> (w 25 °C)	1,67 · 10 <sup>-13</sup> (w 50 °C)	[4]
Opór akustyczny, kg/(m <sup>2</sup> · s)	1,2 · 10 <sup>5</sup>		[9]
Ciepło właściwe, J/(kg · K)	350		[7]

**Tabela 2. Właściwości mechaniczne korka naturalnego****Tabela 2. Mechanical properties of natural cork**

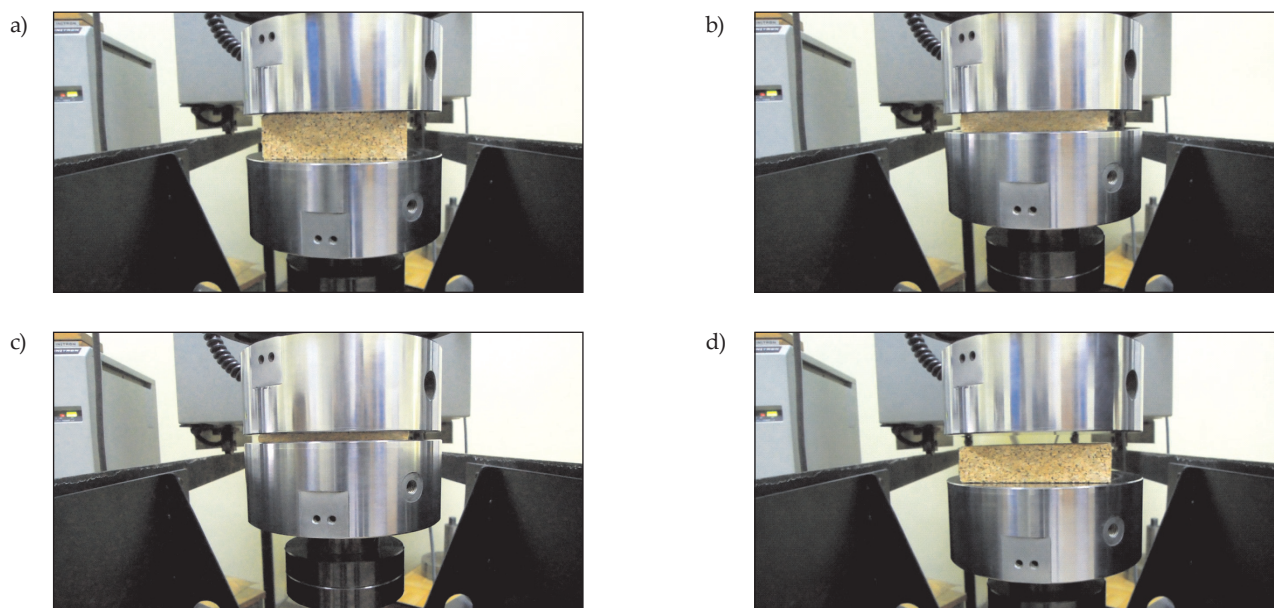
Właściwość	Wartość			Literatura
	w kierunku promieniowym	w kierunku niepromieniowym		
Moduł ściskania (korek niegotowany), MPa	8–20	13–15		[14, 26, 27]
Moduł ściskania (korek gotowany), MPa	6	8–9		[26]
Moduł ściskania (po wygrzewaniu w 100 °C przez 28 dni), MPa	11	11		[27]
Moduł ściskania (po wygrzewaniu w 150 °C przez 28 dni), MPa	15	14		[27]
Moduł przy rozciąganiu (korek gotowany), MPa	38	24–26		[30]
Naprężenie niszczące przy wyboczeniu (korek gotowany), MPa	0,75–0,80	0,60–0,70		[14, 28]
Odształcenie niszczące przy wyboczeniu (korek gotowany), %	4	6		[14, 28]
Naprężenie niszczące przy rozciąganiu, MPa	1,0	1,0		[28]
Odształcenie niszczące przy rozciąganiu, %	5	9		[28]
Współczynnik Poissona (korek gotowany)	0–0,097 promieniowy/ niepromieniowy	0,064 niepromieniowy/ promieniowy	0,26–0,50 niepromieniowy/ niepromieniowy	[28, 29]

Korek wyróżnia się wieloma interesującymi właściwościami, takimi jak: elastyczność, duża stabilność fizyczna, ściśliwość, odporność na długotrwałe cykle obciążeniowe oraz izolacyjność termiczna, elektryczna i akustyczna [2]. Dużą izolacyjność termiczną określa niewielka wartość współczynnika przewodności cieplnej korka naturalnego  $\lambda = 0,040\text{--}0,045\text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$  (tabela 1) [2, 7, 8], a izolacyjność akustyczną – opór akustyczny wynoszący  $1,2 \cdot 10^5\text{ kg/(m}^2 \cdot \text{s)}$  (tabela 1) [2, 9], umożliwiającą zmniejszenie natężenia dźwięku o 31–36 dB, zależnie od grubości materiału [3, 5, 10]. Izolacyjność elektryczna korka jest natomiast silnie zależna zarówno od zawilgocenia materiału, jak i od temperatury [5]. Współczynnik ten w temp. 25 °C przy zawartości wody 3,5 % jest równy  $1,2 \cdot 10^{-14}\text{ S/m}$ , podczas gdy dla całkowicie suchego korka w tej samej temperaturze wynosi  $2,9 \cdot 10^{-10}\text{ S/m}$  (tabela 1). Jednak radykalne zmniejszenie izolacyjności tego dielektrycznego materiału jest powodowane głównie przez podwyższenie temperatury – przewodność elektryczna korka, np. w przedziale

25–100 °C, rośnie aż o trzy rzędy wielkości. Udział lepiszcza w materiale z aglomeratu korkowego wpływa na jeszcze wyraźniejsze zwiększenie przewodności, aż o cztery rzędy wielkości [2].

Należy podkreślić, że zastosowanie materiału pochodzenia naturalnego (np. korek, wełna) w miejsce materiałów izolacyjnych wysoko przetworzonych, takich jak ekspandowany polistyren czy poliuretan, utylizowanych na drodze spalania, znacznie zmniejsza (o 98 %) negatywne oddziaływanie na środowisko [11].

Korek nie jest podatny na zmianę objętości, nawet w wyniku gwałtownych zmian temperatury, jest także trudnopalny – nie spala się płomieniem, tylko się zwęglą. Wykazuje właściwości antypoślizgowe i dużą odporność na zużycie powierzchniowe [2, 5, 12] (nie niszczy się w wyniku wielokrotnego pocierania o szyjkę butelki, mimo dość dużego współczynnika tarcia, wynoszącego 0,5) (tabela 1) [13, 14]. Naturalny korek jest chemicznie obojętny, stanowi barierę dla cieczy i gazów, a w kontakcie z nimi nie absorbuje zapachów [2, 15].



Rys. 1. Zachowanie się próbki korka NL10 o grubości 30 mm podczas próby ściskania z prędkością 20 mm/min: a) początek ściskania, b) ściśnięcie próbki do połowy początkowej grubości korka (niewielka baryłkowatość próbki), c) ściśnięcie próbki korka do 80 % jej grubości, d) powrót do początkowej grubości korka po odciążeniu próbki (ok. 80 % początkowej grubości po czasie 0,5 min)  
 Fig. 1. Behavior of cork (NL10 type) during the compression test performed at speed of 20 mm/min: a) start of compression, b) cork sample compressed to half its initial thickness (slightly barrel-shaped), c) cork sample compressed to 80 % of its thickness, d) return to the initial cork thickness after off-load of the sample (about 80 % of initial thickness after 0.5 minute)

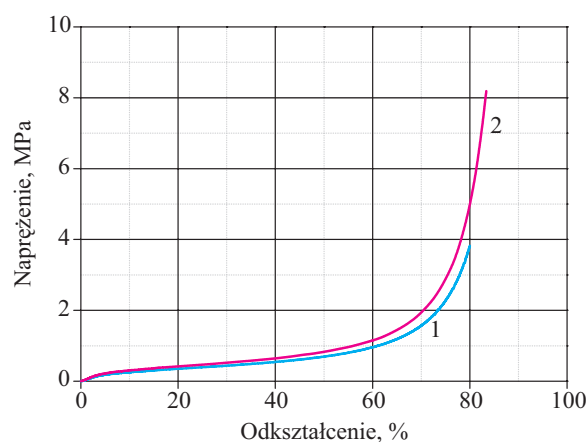
Dzięki dużej zawartości suberyny korek wykazuje cechy przeciwbakteryjne i przeciwgrzybicze, uniemożliwia tym samym wnikanie tych mikroorganizmów, np. do wnętrza zatkaanej nim butelki [16–20]. Korek jest także materiałem hydrofobowym o energii powierzchniowej równej 18 mN/m, cechuje go mała siła adhezji do innych materiałów [2, 3]. Hydrofobowy charakter korka można zmienić w wyniku plazmowej modyfikacji powierzchni pod ciśnieniem atmosferycznym (*Atmospheric Pressure Plasma Torch* – APPT) lub w warunkach niskiego ciśnienia (*Low Pressure Plasma Chamber* – LPPC) [21, 22]. Obróbka plazmą może wpłynąć jedynie na powierzchnię zewnętrzną korka, nie zmieniając jego właściwości. Powstające, wskutek tych zabiegów, na powierzchni korka grupy reaktywne pozwalają na jego trwalsze połączenie z innymi materiałami [23, 24]. Adhezyjne właściwości powierzchni korka zwiększa też proces silanizacji [25].

Jedną z cech najbardziej istotnych, wyróżniających korek wśród innych materiałów naturalnych i umożliwiających jego szeroką aplikację, jest duża zdolność do absorbowania energii, już w warunkach relatywnie niewielkich naprężeń. Średnia wartość energii pochłanianej podczas ściskania korka do poziomu 83 % początkowej objętości w kierunku promieniowym lub niepromieniowym wynosi, odpowiednio,  $3,4 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3$  i  $2,2 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3$  [2].

Bardzo ważnymi cechami korka są, wspomniana już, trudnopalność i zdolność do spowalniania rozprzestrzeniania się ognia. Korek spala się bezpromieniowo i, co bardzo ważne, nie emituje żadnych toksycznych gazów [2, 6].

Korek to elastyczny, anizotropowy materiał komórkowy o specyficznych właściwościach mechanicznych,

wynikających głównie z podatności do stopniowego uginania, deformowania i zagęszczania się ścianek jego komórek pod obciążeniem. Zachowanie się korka przy ściskaniu quasi-statycznym obrazuje liniowy wykres zależności naprężenie–odkształcenie z rozległym plateau kończącym się, gdy komórkowa struktura korka ulegnie całkowicie ściśnięciu i zagęszczeniu [2]. Nachylenie krzywej w rejonie plateau określa wartości modułu sprężystości korka (przygotowanego w określony sposób), zawierające się w przedziale 6–20 MPa, zależnie od kierunku obciążenia (tabela 2). W wypadku obciążenia w kierunku



Rys. 2. Krzywe ściskania korka NL10 z dwiema różnymi prędkościami ściskania: 1 – 1 mm/min, 2 – 20 mm/min

Fig. 2. Compression curves for cork of NL10 type in the tests performed at various compression speeds: 1 – 1 mm/min, 2 – 20 mm/min



promieniowym wartości te są większe niż w wypadku obciążenia w kierunkach osiowym i stycznym [2, 26, 27]. Wyrzewanie korka w temp. 100–150 °C przez 24 h pozbawia go wilgoci i znacznie zwiększa jego wytrzymałość na ściskanie, jednak dłuższe wygrzewanie, ponad 24 h, powoduje zmniejszenie wytrzymałości spowodowane termiczną degradacją struktury [27].

O niezwyklej elastyczności korka świadczy jego zachowanie w próbie ściskania (rys. 1). Po ściśnięciu korka NL10 (o gęstości 135 kg/m<sup>3</sup>) do 80 % początkowej grubości powraca on w ciągu 0,5 min, po odciążeniu, bez objawów wyboczenia, do ok. 80 % swojego wymiaru początkowego (rys. 2).

Właściwości mechanicznych korka nie można scharakteryzować jedną wartością współczynnika Poissona (tabela 2) [28, 29] czy modułu Younga (tabela 2) [30], ponieważ jego gatunki różnią się, zwłaszcza gęstością, wymiarami komórek i porowatością [2].

## ZASTOSOWANIA

Naturalny, odnawialny i podatny na recykling materiał korka o cennych właściwościach znajduje szereg różnorodnych zastosowań. Około 70 % uzyskiwanego korka jest używana jako zatyczki butelek, ale coraz powszechniej wykorzystuje się go do wytwarzania materiałów kompozytowych przeznaczonych głównie dla budownictwa (ok. 22 %) [3, 31], a przewiduje się, że w przyszłości będzie się rozszerzać zastosowanie w innych dziedzinach gospodarki.

### Korki butelkowe

Zamknięte komórki korka zapewniają nie tylko nieprzepuszczalność cieczy i gazów, ale także sprężystość i podatność na ściskanie. Jest on więc odpowiednim technicznie materiałem do uszczelnienia butelek, zwłaszcza win wymagających dojrzwania w zamknięciu [3, 7, 32–34]. Produkcja zatyczek butelkowych z naturalnego korka obejmuje kilka etapów. Po zdjęciu z dębu korkowego płatów kory są one składowane przynajmniej 6 miesięcy, w celu ustabilizowania tekstury i wywołania oksydacji zawartych w korze polifenoli. Następnie płaty są gotowane w czystej wodzie przez ok. 1 h, co pozwala na usunięcie organizmów mikroflorowych oraz soków i garbników, a płaty korka stają się bardziej giętkie. Czystość korka poprawia obmywanie płatów w autoklawie. Potem są one suszone i magazynowane w warunkach kontrolowanej temperatury i wilgotności przez kilka tygodni, podczas których stabilizują się właściwości. Zależnie od grubości płaty korka sortuje się na 7 kategorii jakości [2, 32, 33, 35], o której rozstrzygają występujące na płatach kory defekty strukturalne (nieciągłości struktury, pory, pustki i inkluzje, plamiste wtrącenia mikrobiologiczne). Z najlepszych płatów, ręcznie lub automatycznie, wytłacza się korki butelkowe. Materiał odpadowy zużywa się w postaci granulatu do produkcji

korków lub aglomeratów korkowych. Każdy wytłoczony korek jest cięty na wymiar, wyrównywany i polerowany, w celu maksymalnego zwiększenia jego właściwości uszczelniających. Oś korka powinna być równoległa do kierunku narastania pryzm komórek korka [2, 36, 37]. Uzyskane cylindryczne korki obmywa się w roztworze wody utlenionej i poddaje dezynfekcji – ozonowej lub mikrofalowej – aby usunąć zanieczyszczenia i zapobiec powstawaniu nieprzyjemnych woni, które mogłyby zmienić organoleptyczne cechy wina [2, 3]. Korki są następnie suszone w specjalnych piecach, gdzie pozbawia się go wilgoci i tworzy barierę przed mikrobiologicznymi zanieczyszczeniami [3]. Po tej operacji korki są selekcjonowane i ozdabiane nadrukiem. Kontrola jakości obejmuje badanie wymiaru, gęstości, przepuszczalności cieczy i gazów oraz występowania szkodliwych mikroorganizmów [3, 38]. W celu zapewnienia gładkości i łatwości wyjmowania zatyczki z szyjki butelki stosuje się operację końcową nałożenia wosku parafinowego i/lub silikonu na powierzchnię korka. Po wysterylizowaniu w gazowym ditlenku siarki i automatycznym zliczeniu korki zamyka się w szczelnych gazowo workach i dostarcza klientom.

Obecnie zatyczki i nakrętki produkuje się również z wybranych materiałów syntetycznych, co jest łatwiejsze i tańsze, a takie zamknięcia eliminują możliwość zanieczyszczenia wina składnikami korka. Mają one jednak poważne wady, mianowicie podczas składowania mogą się uwalniać toksyczne składniki w wypadku zatyczek polimerowych albo jony metali w wypadku zatyczek aluminiowych [3, 33, 39]. Dlatego też nadal ponad 70 % światowej produkcji win w butelkach jest zamykana przy użyciu naturalnego korka (12 miliardów butelek) [34].

### Materiały kompozytowe

Kompozyty z udziałem korka, wytwarzane z dwóch lub więcej materiałów o różnych chemicznych i fizycznych właściwościach, zachowują cechy korka, a dobór materiału osnowy pozwala na nadanie kompozytom pożądanej dla specyficznego zastosowania charakterystyki.

#### Aglomeraty korka do użytku ogólnego

Kompozyty korkowe są przygotowywane z aglomeratów o różnej granulacji, zwykle z przedziału 0,5–30 mm. Użyte granulaty stanowią zazwyczaj odpady z produkcji zatyczek. W celu wytworzenia kompozytów korkowych granulaty miesza się z reaktywnym prepolimerem i prasuje w temperaturze pokojowej lub miesza się ze spoiwem polimerowym i prasuje w podwyższonej temperaturze pod ciśnieniem [3].

Wymiary granulek korka, jego udział masowy w kompozycie (do 90 % mas.), typ spoiwa (poliuretany, żywice fenolowo-formaldehadowe itp.) oraz zastosowana w procesie produkcji gęstość upakowania aglomeratów zależy od zamierzonych właściwości gotowego produktu.

Wytworzone bloki aglomeratów korka są laminowane, kształtowane zgodnie z planowanymi wymiarami i wygładzane. Otrzymuje się z nich panele, tablice, wkładki obuwnicze itp. wyroby [2, 3].

Aglomeraty na pokrycia ścian [3] i podłóg wytwarza się podobnie, ale przy użyciu odpowiedniego spoiwa, bądź z zastosowaniem zmiennego ciśnienia w procesie prasowania, tak aby otrzymany materiał był bardziej wytrzymały i bezwonny. Jego odporność na ścieranie można zwiększyć w wyniku naniesienia ochronnej warstwy polimerowej jedno- lub wielokrotnie w produktach wielowarstwowych. Odrębną, ważną grupę kompozytów korkowych stanowi tzw. gumokorek, będący mieszaniną granulek korka z gumą. Składniki kompozycji są mieszane (kompandowane), a końcowy wyrób jest kształtowany i polerowany. Wytworzone kompozyty są używane jako materiał na uszczelki w samochodach i dławice zbiorników olejowych, ponieważ nie przepuszczają płynów i nie podlegają ekspansji poprzecznej dzięki małej wartości współczynnika Poissona korka [29].

#### Aglomeraty korka na izolacje cieplne i dźwiękowe w budownictwie

Korek charakteryzuje się małymi: przewodnością cieplną, szybkością rozchodzenia się dźwięku i impedancją akustyczną, co predestynuje go do zastosowania jako materiał na izolacje cieplne i dźwiękowe. Tak wykorzystywane kompozyty korkowe zawierają 90–95 % mas. korka w osnowie poliuretanowej. Zmieszane składniki zazwyczaj wygrzewa się w ok. 100 °C w ciągu określonego czasu, w celu doprowadzenia do ich zaglomerowania. Taki rodzaj materiału jest szeroko wykorzystywany w budownictwie jako izolacje cieplne i dźwiękowe, a także stosowany przez agencje kosmiczne NASA i ESA jako termiczne i antywibracyjne osłony elementów rakiet [2].

Przemysł budowlany jest drugim co do wielkości obszarem wykorzystywania korka naturalnego w postaci ścian wygłuszających, sufity podwieszanych, tapet, cokołów, wykładzin posadzek w budynkach, a także izolacji w chłodniach przemysłowych [40]. Stosowane do-

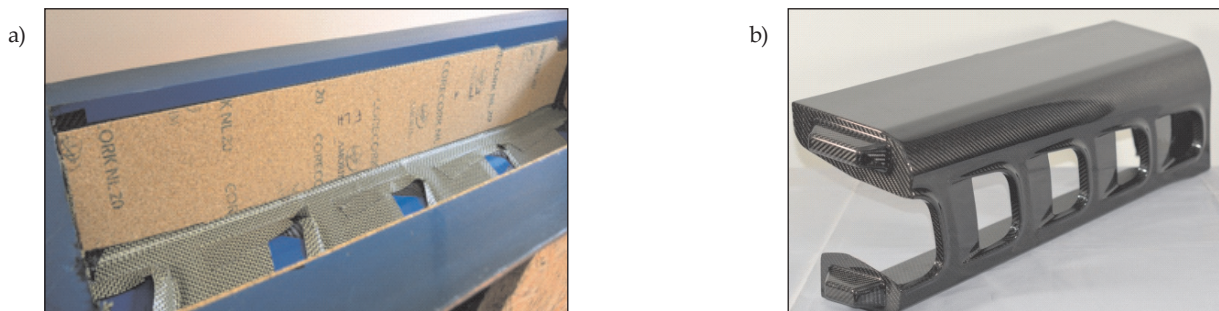
tychczas kompozyty z rdzeniem z pianki syntetycznej i okładzinowym wzmocnieniem węglowym mają stosunkowo niewielką izolacyjność akustyczną. W odpowiedzi na rosnącą potrzebę zmniejszenia hałasu opracowano innowacyjny kompozyt o warstwowej strukturze, składający się z przekładki z korka naturalnego oraz z włókna węglowego. Taki kompozyt wykazuje synergię zalet materiałów składowych. Zachowuje ich właściwości wytrzymałościowe oraz nieduży ciężar i efektywniej niż tradycyjne materiały izolacyjne tłumi hałas (aż o 250 %), odznacza się także znacznie większą żywotnością i trwałością [41].

Do zastosowań izolacyjnych wykorzystuje się również tzw. czarne aglomeraty, wytwarzane z granulek naturalnego korka bez lepiszcza w zamkniętym autoklawie w wysokiej temperaturze (ok. 300 °C) i pod wysokim ciśnieniem (ok. 540 kPa) [37, 42]. W wyniku termochemicznej degradacji ścianek komórek korka uwalnia się suberyna (działająca jak naturalne lepiszcze), następuje aglomerowanie odpadów degradacji i formowanie się półproduktu wykorzystywanego do wyrobu tablic korkowych [43, 44]. Jest to materiał wielokrotnego użytku, a przy tym całkowicie naturalny, niezawierający chemicznych dodatków.

#### Przemysł środków transportu

Korek, dzięki bardzo małej gęstości (0,24 g/cm<sup>3</sup>) i dobrej izolacyjności, jest często wykorzystywany przez przemysł środków transportu jako materiał elementów pojazdów samochodowych i różnego rodzaju taboru kolejowego. Z korka wykonuje się rozmaite uszczelnienia, zwłaszcza w samochodach, a także wykończenia wnętrza kabin pojazdów, gdzie wykorzystuje się jego elastyczność, odporność na ciepło i uderzenia, a także przyjemną w dotyku fakturę [12, 45].

W przemyśle środków transportu rośnie zapotrzebowanie na materiały o dużym stosunku wytrzymałości do ciężaru [46]. Dzięki małej gęstości, a jednocześnie dużej wytrzymałości, niezależnej od poziomu wilgoci i zmian temperatury, korek stosuje się jako materiał rdzeniowy



Rys. 3. Element karoseryjny do samochodu rajdowego (tzw. rocker panel) wykonany z biokompozytu z przekładką korkową: a) widok na etapie wytwarzania, b) wyrób końcowy

Fig. 3. Rally car body part (so called rocker panel) made of biocomposite with cork interlayer: a) view at manufacturing stage, b) final article

w konstrukcjach warstwowych, tzw. *sandwich*, gdzie materiałem rdzeniowym jest aglomerat korkowy, a cienkie wielowarstwowe okładziny są wykonane z materiałów o dużej sztywności, takich jak: stal, stopy aluminium, polimery, różnego rodzaju kompozyty włókniste [5, 8, 42, 47–49].

Wyniki wybranych badań własnych dotyczących kompozytów warstwowych aluminiowo-korkowych, wytworzonych w warunkach przemysłowych (w szczecińskiej firmie Carbon Fox sp. z o.o.), o potencjalnym zastosowaniu na ścianki i podłogi w przemyśle kolejowym, zamieszczono w pracach [8, 49]. Rysunek 3 przedstawia przykładowy wyrób [50] wykonany z zastosowaniem technologii wytwarzania kompozytów z preimpregnatów (prepregów) w ww. firmie. Element karoseryjny tzw. *rocker panel* do samochodu rajdowego jest wytworzony z kompozytu składającego się z włókien węglowych i aramidowych w osnowie żywicy epoksydowej, z przekładką *corecork* (rozwiązanie oparte na zgłoszeniu patentowym P-413 342). Przekładkę korkową zastosowano w celu zwiększenia: sztywności produktu z zachowaniem wymaganego ciężaru, wytrzymałości udarowości, absorpcji energii, żywotności, a także zmniejszenia kosztów produkcji.

Należy wspomnieć o wyjątkowym wykorzystaniu korka w przemyśle pojazdów kosmicznych. Jakość materiałów izolacyjnych odgrywa ważną rolę w silnikach raketowych, ponieważ struktura ich elementów podczas wystrzeliwania i powrotu rakiet na Ziemię jest poddawana działaniu wysokiej temperatury, stwarzającej ryzyko wybuchu gazu. Korek dzięki swym właściwościom jest zwykle stosowany do otrzymywania krytycznych dla bezpieczeństwa rakiet elementów dysz i osłon termicznych.

### Przemysł lekki

Korek naturalny wykorzystuje się w branży obuwniczej głównie jako materiał na wkładki amortyzujące do butów [28]. Sprawdza się również jako podkładki pod końskie podkowy, zwiększając komfort użytkowania, dzięki energochłonności i sprężystości korka [5, 51]. Statyczna wytrzymałość mechaniczna korka jest mniejsza niż innych materiałów rdzeniowych, np. pianek syntetycznych, natomiast wytrzymałość dynamiczna jest porównywalna [52, 53].

Antypoślizgowe właściwości korka i jego odporność na ścieranie z powodzeniem wykorzystuje się do produkcji wszelkiego rodzaju wykładzin i paneli podłogowych [5]. Cechy te utrzymują nawet zamoczone wykładziny lub panele z udziałem granulatu korkowego, co predestynuje je do wykorzystania np. w pokładach jachtów, podłogach przemysłowych itp.

### Aplikacje nowatorskie

Korek naturalny zwykle kojarzy się z zatyczkami do butelek oraz z izolacyjnością termiczną, elektryczną i akustyczną płyt korkowych. Materiał ten posiada jeszcze i inne wyjątkowe właściwości fizyczne, chemiczne

i mechaniczne, które nadają mu wielki potencjał do licznych nowych zastosowań.

### Węgiel aktywowany

Wstępne badania wykazały, że pozyskiwany z korka węgiel aktywowany wykazuje właściwości adsorpcyjne różne niż inne aktywowane węgle [54, 55]. Objętości mikroporów korka i znanych węgli aktywowanych są jednak podobne, co pozwala przypuszczać, że korek może być użyty w nowatorskich aplikacjach filtracyjnych. Aktywowane węgle uzyskane z korka wykazują [54–56] odmienne właściwości niż węgle otrzymane z innych naturalnych i syntetycznych polimerów [56] lub materiałów mineralnych (np. bentonity, diatomity lub zeolity) [57]. Odpad produkcyjny korka w postaci granulek, aktywowany fizycznie i chemicznie, użyto do spreparowania aktywowanych węgli przyjaznych środowisku [56], wykorzystanych następnie jako adsorbenty do usuwania substancji farmaceutycznych, takich jak: paracetamol, iopamidol, isoprofen, kofeina i in. [3, 58, 59].

### Likwacja składników pyłu korkowego

Przemysłowa produkcja korka na świecie generuje powstawanie odpadów (20–30 %) w postaci tzw. pyłu korkowego (średnio ok. 50 tys. ton/rok) [60, 61]. Pył ten (o cząstkach < 0,25 mm) jest wykorzystywany głównie w zakładach produkcji korków jako surowiec energetyczny o dość dużej wartości opałowej (37,66 MJ/kg) [62], umożliwiającą wytwórcom samowystarczalność energetyczną. Przypuszczalnie w przyszłości pył korkowy odegra ważną rolę w tworzeniu tzw. biorafinerii. Efektywne wykorzystanie tego odpadu umożliwi likwacja (oddzielenie składników) lub ekstrakcja substancji, np. suberyny, która jest głównym składnikiem korka i może być potencjalnie użyta, np. w procesie otrzymywania poliuretanów [60].

Chromatografia preparatywna pyłu korkowego pozwala na separację różnych frakcji, stosowanych następnie jako płynne paliwo oraz materiały do wytwarzania tworzyw polimerowych i powłok, lepiszczy i klejów itp. [63, 64]. Poza tym, płynne ekopoliole o zawartości grup hydroksylowych takiej jak w polioliach uzyskanych na bazie ropy naftowej, mogą być syntetyzowane na drodze kwasowego upłynniania pyłu korkowego. Tak otrzymane poliole można wykorzystać jako składniki półsztywnych pianek poliuretanowych [63].

### Oddziaływania korka na środowisko

Odpady korkowe nie stwarzają zagrożenia dla środowiska, ponadto niemal wszystkie rodzaje materiałów korkowych można poddać wysoce efektywnemu recyklingowi. Uważa się, że korek jest „neutralny węglowo” dla środowiska i nawet spalanie korka nie wpływa na zwiększenie ilości ditlenku węgla w atmosferze [31], ponieważ dęby



korkowe akumulują CO<sub>2</sub> w swojej korze przez cały, długi okres życia (200–250 lat), a dzięki okorowywaniu dębów (zwykle co ok. 9 lat) nowa kora narasta intensywniej (nawet o 250–400 %) niż na drzewach nieokorowanych. Ocenia się, że w korze uprawianych dębów korkowych kumuluje się co roku 30,66 mln ton CO<sub>2</sub> [65]. Kowariancyjne pomiary przeprowadzone w Portugalii, gdzie rośnie blisko 50 % dębów korkowych świata, wykazały że każdego roku pochłaniają one z atmosfery średnio 3,2 ton CO<sub>2</sub> z każdego hektara lasu [66, 67]. Jak już wspomniano, lasy dębów korkowych, tak jak każde uprawy leśne, mają dobroczynny wpływ na środowisko człowieka i klimat, nie tylko lokalny. Zapewniają bioróżnorodność, ograniczają zagrożenia, zwłaszcza powodowane emisją CO<sub>2</sub>. W tym aspekcie należy zauważyć, że produkcja każdego tysiąca naturalnych korków butelkowych generuje 1,5 kg CO<sub>2</sub>, podczas gdy przy produkcji tej samej ilości korków syntetycznych i aluminiowych kapsli do atmosfery trafia, odpowiednio, aż 14 i 37 kg tego obwinianego za efekt cieplarniany gazu [2, 6, 31]. Przytoczone dane obrazują możliwości wykorzystania korka jako surowca i materiału w wielu dziedzinach propagowanej współcześnie zrównoważonej gospodarki. Ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> jest warunkiem *sine qua non* ochrony środowiska naturalnego i złagodzenia zachodzących zmian klimatycznych na naszej planecie. Ponadto lasy dębu korkowego (zwłaszcza w krajach północnoafrykańskich) przeciwdziałają zasoleniu gleby i jej pustynnieniu, a także na długie lata gromadzą w niej węgiel, ponieważ korek, tak jak wszelkie odpady roślinne, w warunkach beztlenowych ulega rozkładowi bardzo powoli i niecałkowicie [67, 68].

Pomysł recyklingu produkowanych corocznie miliardów sztuk korków butelkowych zrodził się w Portugalii w 2008 r. jako projekt *Green Cork*. W projekcie tym uczestniczą także inne kraje Europy Zachodniej (Hiszpania, Francja, Włochy, Wielka Brytania) oraz USA, Kanada, Afryka Płd. i Australia. W latach 2008–2014 ok. 227 mln korków butelkowych poddano tam recyklingowi [6, 65]. Recyklowany korek po zmieleniu na drobne cząstki jest używany w materiałach wykładzin ścian i podłóg, różnych izolacji, sprzętu sportowego, nigdy jednak nie stosuje się go do produkcji korka butelkowego [34, 65]. W 2013 r. w ramach programu *Green Cork* zebrano 151,63 ton korka, a pilotująca program portugalska organizacja *Corticeira Amorim* zutilizowała aż 213,2 ton. Natomiast w Ameryce Płn., w 2013 r. w ramach bliźniaczego programu *ReCORK* zebrano i zutilizowano 31,72 ton korka (głównie w postaci galanterii obuwniczej) [69]. Na przykładzie inicjatywy *Corticeira Amorim* widać, że zużycie recyklatów korka wzrosło, z 85 ton w roku 2011 do 162 ton w 2012 r. i do 213 ton w 2013 r. [69]. Wzrost ten pośrednio wpływa bardzo korzystnie, choć w nieznacznym stopniu, na ograniczenie ilości CO<sub>2</sub> w atmosferze.

## WNIOSKI

Wykazano, że korek – niezwykle surowiec naturalny – wyróżnia się unikatową kombinacją właściwości,

wzmacniających się synergicznie, co czyni go odpowiednim materiałem do szerokiego spektrum aplikacji, od pospolitych zatyczek butelek, do wyszukanych tarcz izolacji termicznej silników i zbiorników raketowych. Wiedza z zakresu współczesnej inżynierii materiałowej umożliwia ciągle poszerzanie obszaru zastosowań korka i jego kompozytów, nadal też są prowadzone badania nad nowatorskimi aplikacjami korka.

Korek jest cennym darem natury, który należy traktować z szacunkiem i możliwie najszerzej wykorzystywać w sposób zrównoważony i ekologiczny.

## LITERATURA

- [1] Urbaniak M., Gołuch-Góreczna R., Błędzki A.K., Gajdziński S.: *Polimery* **2017**, 62, 388.  
<http://dx.doi.org/10.14314/polimery.2017.388>
- [2] Pereira H.: "Cork: biology, production and uses", Elsevier, Amsterdam 2007.
- [3] Silva S.P., Sabino M.A., Fernandes E.M. i in.: *International Materials Reviews* **2005**, 50, 345.  
<http://dx.doi.org/10.1179/174328005X41168>
- [4] Fortes M.A., Rosa M.E.: *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais – Cortica* **1988**, 593, 65.
- [5] Gil L., Moiteiro C.: "Cork" w "Ullmann's Encyclopedia of Chemical Technology", 6th ed., Wiley-VCH Verlag, Germany 2003.
- [6] Amorim, The art of cork, 2014.  
[http://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/Brochura\\_Arte\\_Cortica\\_Small\\_EN.pdf](http://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/Brochura_Arte_Cortica_Small_EN.pdf) (data dostępu 27.07.2016).
- [7] Gil L.: "Produção, tecnologia e Aplicação", INETI, Lisboa 1998.
- [8] Urbaniak M., Gołuch R., Błędzki A.K. i in.: *Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze* **2014**, 2, 63.
- [9] Medeiros H.: *Boletim da Junta Nacional de Cortica* **1945**, 76, 165.
- [10] Informacja techniczna firmy Amorim, CORECORK, Railway Interiors International SHOW ISSUE 2012.
- [11] Gil L.: *Vida Rural* **2006**, 1716, 31.
- [12] Sanchez-Saez S., García-Castillo S.K., Barbero E., Cirne J.: *Materials & Design* **2015**, 65, 743.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2014.09.054>
- [13] Mano J.F.: *Journal of Materials Science* **2002**, 37, 257.  
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1013635809035>
- [14] Vaz M.F., Fortes M.A.: *Journal of Materials Science* **1998**, 33, 2087.  
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1004315118535>
- [15] Gil L.: *Materials* **2015**, 8, 625.  
<http://dx.doi.org/10.3390/ma8020625>
- [16] Biggs A.R., Miles N.W.: *Phytopathology* **1988**, 78, 1070.  
<http://dx.doi.org/10.1094/Phyto-78-1070>
- [17] Kolattukudy P.E.: *Canadian Journal of Botany* **1984**, 62, 2918.  
<http://dx.doi.org/10.1139/b84-391>
- [18] Lulai E.C., Corsini D.L.: *Physiology and Molecular Biology of Plants* **1998**, 53, 209.

- [19] Thosmas R., Fang X., Ranathunge K. i in.: *Plant Physiology* **2007**, 144, 299.  
<http://dx.doi.org/10.1104/pp.106.091090>
- [20] Schreiber L., Breiner H.W., Riederer M. i in.: *Botanica Acta* **1994**, 107, 353.  
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1438-8677.1994.tb00807.x>
- [21] Lieberman M.A., Lichtenberg A.J.: "Principles of plasma discharges and materials processing", Wiley, New York 1994.
- [22] Tendero C., Tixier Ch., Tristant P. i in.: *Spectrochimica Acta B: Atomic Spectroscopy* **2006**, 61, 2.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.sab.2005.10.003>
- [23] Abenojar J., Torregrosa-Coque R., Martínez M.A., Martín-Martínez J.M.: *Surface and Coatings Technology* **2009**, 203, 2173.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.01.037>
- [24] Encinas N., Díaz-Benito B., Abenojar J., Martínez M.A.: *Surface and Coatings Technology* **2010**, 205, 396.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.06.069>
- [25] Van Ooij W.J., Zhu D., Stacy M. i in.: *Tsinghua Science & Technology* **2005**, 10, 639.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S1007-0214\(05\)70134-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1007-0214(05)70134-6)
- [26] Rosa M.E., Pereira H., Fortes M.A.: *Wood and Fiber Science* **1990**, 22, 149.
- [27] Rosa M.E., Pereira H.: *Holzforschung* **1994**, 48, 226.  
<http://dx.doi.org/10.1515/hfsg.1994.48.3.226>
- [28] Gibson L.J., Easterling K.E., Ashby M.F.: *Proceedings of the Royal Society A* **1981**, 377, 99.  
<http://dx.doi.org/10.1098/rspa.1981.0117>
- [29] Fortes M.A., Nogueira M.T.: *Materials Science and Engineering: A* **1989**, 122, 227.  
[http://dx.doi.org/10.1016/0921-5093\(89\)90634-5](http://dx.doi.org/10.1016/0921-5093(89)90634-5)
- [30] Rosa M.E., Fortes M.A.: *Journal of Materials Science* **1991**, 26, 341.  
<http://dx.doi.org/10.1007/BF00576525>
- [31] Gil L.: *Frontiers in Chemistry* **2014**, 2, 16.  
<http://dx.doi.org/10.3389/fchem.2014.00016>
- [32] Borges M., Cunha C.: *Boletim da Junta Nacional de Cortica* **1985**, 565, 678.
- [33] Rosa M.E., Fortes M.A., Nunez R.V.: *Key Engineering Materials* **2002**, 230–232, 295.  
<http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.230-232.295>
- [34] Amorim, Technical guide: Cork stoppers, 2011.  
[http://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/Manual\\_Rolhas\\_EN.pdf](http://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/Manual_Rolhas_EN.pdf) (data dostępu 27.07.2016).
- [35] Pereira H., Melo B., Pinto R.: *Holz als Roh- und Werstoff* **1994**, 52, 211.  
<http://dx.doi.org/10.1007/BF02619093>
- [36] Valverde J.M., Carrillo J.F.D., Sinencio E.S., Valverde R.P.A.: "Method for sorting cork stoppers", Oficina Espanola de Patentes y Marcas, Madrid 2000.
- [37] Pereira H., Ferreira E.: *Materials Science and Engineering: A* **1989**, 111, 217.  
[http://dx.doi.org/10.1016/0921-5093\(89\)90215-3](http://dx.doi.org/10.1016/0921-5093(89)90215-3)
- [38] Juanola R., Guerrero L., Subira D. i in.: *Analytica Chimica Acta* **2004**, 513, 291.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2003.12.021>
- [39] Mas A., Puig J., Llado N., Zamora F.: *Journal of Food Science* **2002**, 67, 1374.  
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10292.x>
- [40] Mestre A., Gil L.: *Ciência & Tecnologia dos Materiais* **2011**, 23, 52.
- [41] Sargianis J., Kim H.I., Suhr J.: *Scientific Reports* **2012**, 2, 403.  
<http://dx.doi.org/10.1038/srep00403>
- [42] Baptista A.P.M., Vaz M.D.C.: *Wear* **1993**, 162, 990.  
[http://dx.doi.org/10.1016/0043-1648\(93\)90109-Y](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1648(93)90109-Y)
- [43] Pereira H.: *Wood Science and Technology* **1992**, 26, 259.  
<http://dx.doi.org/10.1007/BF00200161>
- [44] Rosa M.E., Fortes M.A.: *Materials Science and Engineering* **1988**, 100, 69.  
[http://dx.doi.org/10.1016/0025-5416\(88\)90240-6](http://dx.doi.org/10.1016/0025-5416(88)90240-6)
- [45] Farag M.M.: *Materials & Design* **2008**, 29, 374.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2007.01.028>
- [46] Zenkert D.: "The Handbook of Sandwich Construction", EMAS Publishing, Sheffield, UK 1997.
- [47] Castro O., Silva J.M., Devezas T. i in.: *Materials & Design* **2010**, 31, 425.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2009.05.039>
- [48] Santos J.S., Rodrigues J.D., Moreira R.A.S.: *Journal of Sandwich Structures and Materials* **2010**, 12, 495.  
<http://dx.doi.org/10.1177/1099636209104538>
- [49] Urbaniak M., Konowalski K., Gołuch R., Błędzki A.: „Próby zginania czteropunktowego paneli warstwowych (AluCork, AluHoney, AluHPL) wykonanych metodą klejenia”, Raport dla Rawag, ZUT 2014.
- [50] Carbon Fox: „Produkcja i prototypowanie kompozytowych części rajdowych”, 2016.  
<http://www.carbon-fox.com/strona/dakarparts.html> (data dostępu 27.07.2016).
- [51] Gibson L.J., Ashby M.F.: "Cellular solids – structure and properties", 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge 1997.
- [52] Fernandes F.A.O., Pascoal R.J.S., Alves de Sousa R.J.: *Materials & Design* **2014**, 58, 499.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2014.02.011>
- [53] Coelho R.M., Alves de Sousa R.J., Fernandes F.A.O., Teixeira-Dias F.: *Materials & Design* **2013**, 43, 384.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2012.07.020>
- [54] Carvalho A.P., Cardoso B., Pires J., Carvalho M.B.: *Carbon* **2003**, 41, 2873.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0008-6223\(03\)00323-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-6223(03)00323-3)
- [55] Carvalho A.P., Gomes M., Mestre A.S. i in.: *Carbon* **2004**, 42, 667.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbon.2003.12.075>
- [56] Carrott P.J.M., Carrott M.M.L.R., Lima R.P.: *Carbon* **1999**, 37, 515.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0008-6223\(99\)00013-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-6223(99)00013-5)
- [57] Hanzlík J., Jehlicka J., Sebek O. i in.: *Water Research* **2004**, 38, 2178.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2004.01.037>
- [58] Mestre A., Pires R.A., Aroso I. i in.: *Chemical Engineering Journal* **2014**, 253, 408.



- <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2014.05.051>
- [59] Urbaniak M., Błędzki A.K.: *Przemysł Chemiczny* **2017**, 96, 158.  
<http://dx.doi.org/10.15199/62.2017.1.17>
- [60] Cordeiro N., Belgacem M.N., Silvestre A.J.D. i in.: *International Journal of Biological Macromolecules* **1998**, 22, 71. [http://dx.doi.org/10.1016/S0141-8130\(97\)00090-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0141-8130(97)00090-1)
- [61] Gandini A., Neto C.P., Silvestre A.J.D.: *Progress in Polymer Science* **2006**, 31, 878.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.07.004>
- [62] Gil L.: *Biomass and Bioenergy* **1997**, 13, 59.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)00033-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0961-9534(97)00033-0)
- [63] Soares B., Gama N., Freire C. i in.: *Sustainable Chemistry & Engineering* **2014**, 2, 846.  
<http://dx.doi.org/10.1021/sc400488c>
- [64] Yona A.M.C., Budija F., Kricej B. i in.: *Industrial Crops and Products* **2014**, 54, 296.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.027>
- [65] Amorim, About sustainability, 2015.  
[http://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/About\\_Sustainability\\_2015\\_low.pdf](http://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/About_Sustainability_2015_low.pdf) (data dostępu 27.07.2016).
- [66] Dias A., Arroja L.: *Forest Systems* **2014**, 23, 236.  
<http://dx.doi.org/10.5424/fs/2014232-04100>
- [67] Pereira J., Bugalho M., Caldeira M.: "From the cork oak to cork", Santa Maria de Lamas, Portuguese Cork Association, Portugal 2009.
- [68] Demertzi M., Garrido A., Dias A.C., Arroja L.: *Materials & Design* **2015**, 82, 317.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2014.12.055>
- [69] Amorim, Sustainability report, 2013.  
[http://www.sustentabilidade.amorim.com/xms/files/RELATORIOS/rsust\\_amorim\\_2013\\_en.pdf](http://www.sustentabilidade.amorim.com/xms/files/RELATORIOS/rsust_amorim_2013_en.pdf) (data dostępu 27.07.2016).

Otrzymano 10 VIII 2016 r.

## W kolejnym zeszycie ukaza się m.in. następujące artykuły:

S. Słomkowski, W. Fortuniak, J. Chojnowski, P. Pospiech, U. Mizerska – Polisiłoksanowe mikrokapsułki, mikrosfery i ich pochodne (j. ang.)

J. Szafraniec, J. Odrobińska, D. Lachowicz, G. Kania, S. Zapotoczny – Nanokapsuły typu rdzeń-otoczka na bazie chitozanu (j. ang.)

A. Wach, P. Natkański, M. Drozdek, B. Dudek, P. Kuśtrowski – Funkcjonalizacja mezoporowatej krzemionki SBA-15 w wyniku szczepienia poliwiniloaminy na powierzchni modyfikowanej grupami epoksydowymi (j. ang.)

R. Arrigo, N.T. Dintcheva, G. Catalano, E. Morici, G. Cavallaro, G. Lazzara, M. Bruno – Micele polimerowe – nowa generacja nośników przeciwutleniaczy (j. ang.)

M. Molenda, J. Świder, M. Świątostawski, A. Kochanowski – Nanokompozyty elektrodowe Li-ion z samoorganizującymi się przewodzącymi warstwami węglowymi (j. ang.)

H. Kaczmarek, B. Królikowski, E. Klimiec, D. Bajer – Charakterystyka struktury materiałów przeznaczonych do wytwarzania piezoelektrycznych kompozytów na osnowie polipropylenu

E.V. Prut, L.A. Zhorina, L.V. Kompaniets, D.D. Novikov, A.Ya. Gorenberg – Rola polimerów funkcjonalnych w termoplastycznych kompozytach z udziałem proszków gumowych (j. ang.)

R. Hartmann, M. Koch – Kompozyty polimerowe z udziałem zrębków drzewnych – nowe materiały o korzystnych właściwościach mechanicznych (j. ang.)

J.M. Hutchinson, F. Román, P. Cortés, Y. Calventus – Kompozyty epoksydowe napełnione azotkiem boru lub azotkiem aluminium o ulepszonej przewodności cieplnej (j. ang.)

J. Brzeska, M. Morawska, A. Heimowska, W. Sikorska, A. Tercjak, M. Kowalczyk, M. Rutkowska – Podatność na degradację kompozytów usieciowanych poliuretanów z chitozaniem (j. ang.)

X. Liu, J. Zhao, R. Yang, R. Iervolino, S. Barbera – Starzenie termiczne uwodornionego kauczuku nitylowego – ubytek dodatków i jego wpływ na utrzymanie elastyczności (j. ang.)