

Błażej CHMIELNICKI¹⁾, Jarosław KONIECZNY²⁾, Jakub FLISIAK³⁾

¹⁾ Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, ul. M. Skłodowskiej- Curie 55, 87-100 Toruń

²⁾ Katedra Transportu Kolejowego Wydział Transportu Politechniki Śląskiej ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

³⁾ Wydział Transportu Politechniki Śląskiej ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

e-mail: b.chmielnicki@impib.pl

Kompozyty WPC – wytwarzanie, przetwórstwo i możliwości zastosowania

Streszczenie: Kompozyty WPC są materiałami łączącymi zalety tworzyw polimerowych z estetycznym wyglądem naturalnego drewna. Dzięki wprowadzeniu znacznych ilości napełniacza organicznego produkty z nich wykonane mogą być obrabiane za pomocą typowych narzędzi stolarskich, co stanowi znaczne ułatwienie dla użytkowników. Jednocześnie dzięki osnowie polimerowej możliwe jest ich wytwarzanie typowymi metodami stosowanymi w przetwórstwie materiałów termoplastycznych, czyli wylączania i wtryskiwania, co wpływa na redukcję kosztu produkcji.

W artykule przedstawiono charakterystykę tej grupy materiałów, sposoby ich wytwarzania oraz przetwarzania do postaci gotowego produktu. Zaprezentowano również przykłady wykorzystania kompozytów WPC w różnych gałęziach przemysłu, w szczególności motoryzacji. Ważną część publikacji stanowi analiza wpływu napełniacza organicznego, w szczególności jego postaci geometrycznej i ilości na właściwości fizykomechaniczne finalnego wyrobu.

Słowa kluczowe: Kompozyty WPC, napełniacz organiczny, przetwórstwo kompozytów WPC, poliiolefiny, poli(chlorek winylu)

WPC- COMPOSITES PRODUCTION, PROCESSING AND POSSIBILITY OF THE APPLICATION

Abstract: WPC composites are materials that combine the advantages of plastic with the aesthetic appearance of natural wood. Thanks to the large amount of organic filler, WPC composite products can be machined using ordinary carpenter tools, which make them very easy to work with. At the same time, thanks to the polymer matrix, it is possible to manufacture them by normal methods used in the processing of thermoplastics, in example extrusion and injection molding, which results in lower production costs.

The article presents characteristics of this group of materials, methods of their production and processing into finished product. There are also examples of the use of WPC composites in various fields of industry, especially automotive. An important part of the publication is an analysis of the effect of the organic filler, in particular its geometrical form and quantity, on the physico-mechanical properties of the final product.

Keywords: WPC composites, organic filler, processing of WPC composites, polyolefins, poly(vinyl chloride)

WPROWADZENIE

Kompozyty są grupą materiałów, której intensywny rozwój przypada na lata sześćdziesiąte XX wieku. Impulsem do opracowania kompozytów były poszukiwania unikalnych materiałów cechujących się niespotykanymi dotąd własnościami, jednocześnie spełniających oczekiwania projektantów i konstrukto-

rów, niemożliwe do zrealizowania przy użyciu materiałów tradycyjnych. Kompozyty początkowo wykorzystywane w zastosowaniach militarnych jak również kosmicznych, współcześnie wykorzystywane są powszechnie w wielu produktach codziennego użytku [1].

Wzrastające z każdym dniem ceny surowców, z których wytwarzane są polimery (ropa naftowa i gaz), jak również bardzo duży popyt

na te materiały sprawia, że materiały kompozytowe o osnowie polimerowej przyciągają coraz większą uwagę. Już od wielu set lat drewno jest szeroko użytkowanym materiałem konstrukcyjnym, lecz niestety ze względu na dużą chłonność wody, skłonność do paczienia się i deformacji, pracochłonną obróbkę, wysoką cenę oraz przede wszystkim podatność na degradację wywołaną czynnikami zewnętrznymi i biologicznymi, nie może być używane w każdym środowisku i zastosowaniu. Struktura drewna, która jest złożona głównie z porowatych i gąbczastych komórek absorbujących znaczne ilości wody, jest głównym powodem, dla którego nawet głębokie impregnowanie różnymi substancjami, w tym olejopochodnymi, nie zawsze pozwala osiągnąć zamierzony efekt wzrostu odporności na degradację spowodowaną warunkami jego stosowania [2,3].

KOMPOZYTY WPC

Kompozyty WPC (*ang. wood-polymer composites*) są doskonałym rozwiązaniem dla poszukujących materiału posiadającego zbliżone własności do drewna, jednakże posiadającego lepszą odporność na działanie wody, umożliwiające ekonomiczne przetwarzanie go do postaci finalnego produktu oraz charakteryzującego się satysfakcjonującą stabilnością właściwości w wielu środowiskach użytkowania. W kompozycie WPC osnową jest polimer (zazwyczaj polietylen, polipropylen czy polichlorek winylu) a napełniaczem drewno w różnej postaci, na przykład wiórów, trocin, drzazg, zrębków, czy też najczęściej spotykanej, mączki drzewnej. Dzięki unikalnemu połączeniu właściwości polimeru oraz drewna, a także atrakcyjnemu wyglądowi, kompozyty WPC stały się interesującą alternatywą zarówno dla polimerów jak i produktów przemysłu drzewnego. Stanowią one o sile rynku materiałów drewnopochodnych w Japonii, Ameryce Północnej oraz Europie Zachodniej. Za ich główną zaletę uznaje się stosowanie tych samych narzędzi obróbczych, co do ich naturalnego od-

powiednika- drewna. Dzięki termoplastycznej osnowie mogą zostać zastosowane tam, gdzie naturalne drewno nie spełnia warunków niezbędnych do jego eksploatacji ze względu na ich odporność na wilgoć oraz korozję biologiczną. Jednocześnie zastosowanie termoplastycznej osnowy pozwala na przetwarzanie ich klasycznymi metodami przetwórstwa tworzyw polimerowych, co pozytywnie wpływa na ekonomię produkcji [3–5].

Według definicji Sikory [6] *WPC są kompozytami dającymi się przetwarzać termoplastycznie, w skład których wchodzi drewno, tworzywo termoplastyczne i środki pomocnicze o różnym udziale*. Głównie polimery termoplastyczne są składnikiem osnowy kompozytu, lecz wg powyższej definicji osnowę może także stanowić materiał utwardzalny. Materiały o takiej osnowie można zaliczyć do kompozytów WPC tylko wtedy, gdy co najmniej raz było ono w sposób „*termoplastyczny przetworzone*” [4]. Kompozyty WPC można podzielić na trzy grupy [3]:

- kompozyty niskonapełnione (10–40% mas. udziału cząstek drewna),
- kompozyty wysokonapełnione (40–80% mas. udziału cząstek drewna),
- *upłynnione drewno* (udział masowy cząstek drewna sięga nawet 90%).

Podkreślić należy trzy powody, dlaczego właśnie te kompozyty cieszą się coraz większym zainteresowaniem, zarówno w rejonach świata, gdzie drzewo jest materiałem łatwo dostępnym i tanim a także gdzie wciąż wzrasta deficyt tego surowca, dla którego kompozyty WPC są cennym substytutem.

Pierwszym powodem jest wyczerpywanie się nieodnawialnych surowców, jakimi są ropa oraz gaz, których cena systematycznie wzrasta, co bezpośrednio znajduje przełożenie na ceny polimerów. Zastąpienie w materiale polimeru, choć częściowe, drewnem – surowcem odnawialnym i ekologicznym jest rozsądne przede wszystkim ze względów ekonomicznych.

Kolejnym powodem wzrostu zainteresowania kompozytami WPC są unikalne właściwości produktów z nich otrzymywanych,

będące połączeniem korzystnych cech drewna i tworzywa termoplastycznego. Kompozyty polimerowe napełnione mączką drzewną wykazują korzystne własności mechaniczne, wyższą sztywność od nienapełnionych tworzyw polimerowych, natomiast, kiedy porówna się je z drewnem oraz tworzywami drewnopochodnymi to cechują się znacznie niższą nasiąkliwością, spęcznieniem oraz odpornością na czynniki zewnętrzne [3].

Ostatnim z wymienionych powodów jest możliwość zastosowania, ze względów ekologicznych, odpadów materiałów drewnopochodnych, jako napełniaczy kompozytów WPC – nie są zagrożeniem dla środowiska naturalnego w trakcie procesów przetwarzania i recyklingu. Dodatkowo po właściwej modyfikacji mogą stać się częściowo biodegradowalne [3].

Wiele firm nie używa określeń takich jak „plastik” czy „polimer” w nazwach swoich produktów, gdyż zmniejsza to popyt na nie o prawie 30% [3,7]. Używają one bardziej odpowiednich nazw takich jak: *tworzywo drewniane* czy *kompozyt drewniany*. Głównymi różnicami między kompozytami WPC a tworzywami drzewnymi (drewnopochodnymi) (np. płytami MDF – Medium-Density Fibreboard czyli sklejka) są ich metody przetwórstwa. Atutem tych kompozytów jest sposobność otrzymania produktów metodą wytłaczania lub wtryskiwania, bez konieczności stosowania dodatkowej obróbki mechanicznej. Natomiast, jeśli zajdzie potrzeba obróbki kompozytów WPC, to jest ona możliwa przy użyciu typowych narzędzi służących do obróbki drewna lub metalu. Także do łączenia elementów wykonanych z WPC nie potrzeba wysublimowanych środków wiążących, lecz prostych takich jak gwoździe, śruby, kołki czy też klej. Powierzchnia materiału może zostać wykończona przez laminowanie, malowanie czy okleinowanie, zaś zmiany barwy produktu dokonuje się podczas procesu wtryskiwania lub wytłaczania barwiąc tworzywo w masie, co wpływa na trwałość koloru [4,5,7–9].

Jako materiał osnowy przeważnie stosowany jest polietylen, polipropylen, poli(chlorek

winyłu) czy też ostatnio coraz częściej polilaktyd otrzymywany z naturalnych surowców odnawialnych i ulegający biodegradacji [4,8–14]. Na rynku kompozytów w Ameryce Północnej najczęściej stosowanym na osnowę kompozytu WPC polimerem jest polipropylen, natomiast na rynku Europejskim jest to polietylen dużej gęstości i poli(chlorek winyłu) [4].

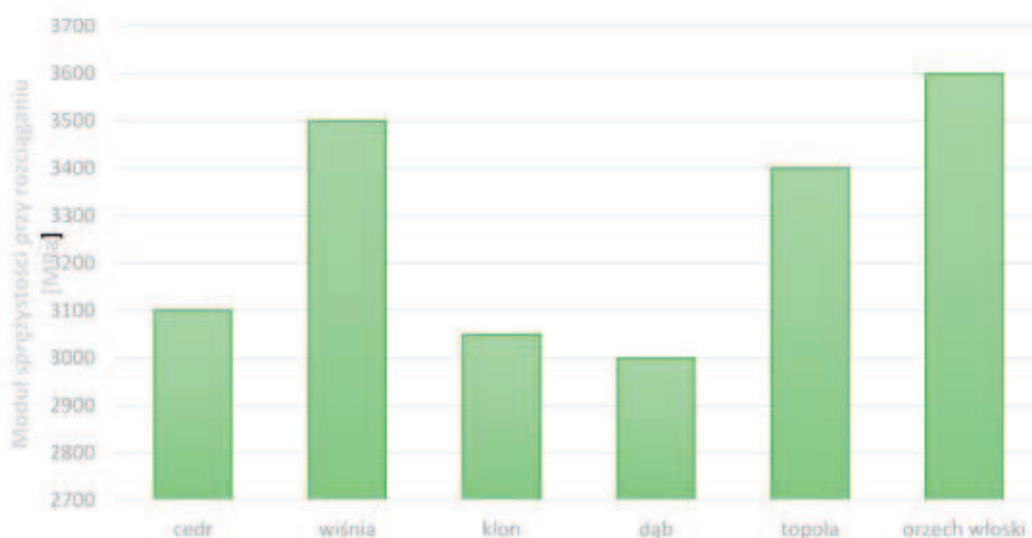
DREWNO W KOMPOZYTACH WPC

Najczęściej stosowanymi, jako napełniacze kompozytów WPC materiałami są odpady przemysłu drzewnego i odpady ze zużytych elementów drewnianych w postaci pyłu, mączki, wiórów, trocin lub włókien drzewnych. Także włókna roślinne czy też odpady przemysłu spożywczego jak łupiny orzechów, łuski zbóż znajdują coraz częściej zastosowanie w kompozytach WPC. Mączka drzewna (ang. wood flour) jest materiałem wytwarzanym zazwyczaj przez mechaniczne kilkustopniowe rozdrabnianie drewna w obrotowych rozdrabniaczach typu młotkowego. Posiada ona właściwości lipo- i hydrofilowe oraz jest nierozpuszczalna w wodzie. Skład mączki drzewnej jest zależny od gatunku drzewa, natomiast jej czystość od warunków i regionu z którego pochodzi jak i również procesu, z którego powstały odpady [11].

Istnieją dowody na to, że gatunki drewna mogą wpływać na własności mechaniczne WPC (rys. 1). Rogers i Simonsen [15] sugerują, że wybór gatunków drewna może mieć wpływ na chropowatość powierzchni, skłonność do porowatości i te różnice mogą mieć wpływ na charakter granicy międzyfazowej polimer-napełniacz występującej w kompozycie. Saputra [16] wskazuje, że usuwanie substancji ekstrakcyjnych z mączki drzewnej sosny i daglezi zielonej może zwiększyć wytrzymałość na zgięcie i moduł sprężystości a przez to zakłada się, że może to spowodować różnice we własnościach mechanicznych WPC przy użyciu napełniacza otrzymanego z różnych gatunków drewna. Wolcott [17] zauważył, że własności mechaniczne, takie jak wytrzymałość na roz-

ciąganie, moduł sprężystości i moduł pęknięcia kompozytu polimerowo-drzewnego wykonanego z mączki drzewnej sosny były wyższe niż te wykonane z WPC z mączki drzewnej dąglezji zielonej, co wskazuje, że gatunek drewna może mieć znaczący wpływ na właściwości WPC co przedstawiono na rysunku 1.

można poddać dalszej obróbce wykorzystując go jako napełniacz. Jako przykład mogą służyć łupiny orzecha ziemnego [19], włoskiego oraz laskowego [20–22]. Łupiny stanowią od 25% do nawet 67% masy całkowitej orzecha a pozyskuje się je, jako odpad w przemyśle spożywczym, cukierniczym czy kosmetycznym [20,21,23–25]. Aktual-



Rys. 1. Porównanie modułów sprężystości przy rozciąganiu dla WPC z napełniaczami pochodzącymi z różnych gatunków drzew [18]
Fig. 1. Comparison of tensile modulus for WPC with fillers from different tree species [18]

Drewno w porównaniu z innymi dostępnymi na rynku surowcami jest dość drogie a wzrost cen drewna jest spowodowany zmianami politycznymi oraz gospodarczymi u głównych eksporterów (np. Rosja). Jako skutek tego obserwuje się próby zastąpienia napełniaczy drzewnych włóknami bądź też niejadalnymi częściami owoców i roślin. Taki kompozyt oprócz pożądanej przez konsumenta estetyki i niskiej ceny cechuje się takim połączeniem własności jak: niewielka masa produktu, wysoka odporność na oddziaływanie czynników takich jak promieniowanie UV czy wilgoć, duża twardość i sztywność [19].

Źródłem, z którego pozyskuje się odpowiednie surowce do produkcji takich kompozytów jest także przemysł rolno-spożywczy, gdzie otrzymuje się pełnowartościowy surowiec, który

nie w wielu krajach łupiny orzecha arachidowego są zbierane i rozdrabniane, natomiast procesy te są znacznie mniej kosztowne aniżeli w przypadku drewna. W krajach, gdzie występuje deficyt drewna ze względu na uwarunkowania klimatyczne (np. Turcja, Iran), łupiny orzechów nie znajdują zastosowania przemysłowego i są stosowane, jako opał na zimę [21,22]. Mikrostruktura łupin orzechów włoskich jest zupełnie różna od mikrostruktury drewna. Komórki o wysokim stopniu zdrewnienia są głównym składnikiem łupin orzecha. Prawie 90% objętości komórki przypisuje się ścianom komórkowym, dzięki czemu łupina posiada wysoką wytrzymałość oraz sztywność, a także odporność na degradację spowodowaną promieniowaniem UV [21]. Łupina orzecha włoskiego, w stosunku do mącz-

ki drzewnej, jest korzystniejsza jako napełniacz kompozytów WPC przeznaczonych do zastosowań zewnętrznych, które wymagają wysokiej stabilności wymiarowej, takich produktów jak np. deski podłogowe czy ściennie. Te zalety wynikają z małej ilości składników higroskopijnych takich jak celuloza i hemiceluloza oraz dużej zawartości materiałów hydrofobowych tj. lignina w ścianach komórkowych [23]. Kompozyt dzięki własnościom antyseptycznym orzecha włoskiego jest mniej podatny na działanie grzybów i bakterii [21]. Światowa produkcja orzechów włoskich w 2009 roku wyniosła 2,2 mln ton z czego ok. 1,5 mln to waga łupin, które pozostają niewykorzystane lub też spalone [21,23].

Wartościowymi napełniaczami kompozytów WPC mogą być również słoma i łuski ryżowe, trawa morska, łuski kakao, mikrowłókna z łusek zbożowych [13,14,26–30]. Słoma i łuski ryżowe dzięki wysokiej zawartości krzemionki stanowią materiał, który jest wykorzystywany jako napełniacz do kompozytów polimerowych czy materiałów budowlanych. Jest to także materiał, który może zostać wykorzystany do wytworzenia kompozytu, przeznaczonego do zastosowań w środowisku o zwiększonej wilgotności.

WŁASNOŚCI MECHANICZNE KOMPOZYTU WPC

Połączenie drewna bądź też jego pochodnych z termoplastami daje w wyniku materiał o wyjątkowych własnościach fizycznych. Zazwyczaj zwiększenie udziału składnika drzewnego podwyższa takie parametry jak sztywność, termostabilność, odporność na promieniowanie UV oraz obrabialność kompozytu. Obecność termoplastów w kompozycie polepsza takie parametry jak odporność na działanie wilgoci, odporność na rozkład drewna oraz ułatwia przetwórstwo. Dobre własności mechaniczne oraz inne charakterystyki jak dobra stabilność czy odporność na działanie wilgoci prowadzą do komercjalizacji kompozytów WPC. We wszystkich przypadkach znaczący wpływ na właściwości materiału ma metoda jego przetwórstwa [4,8].

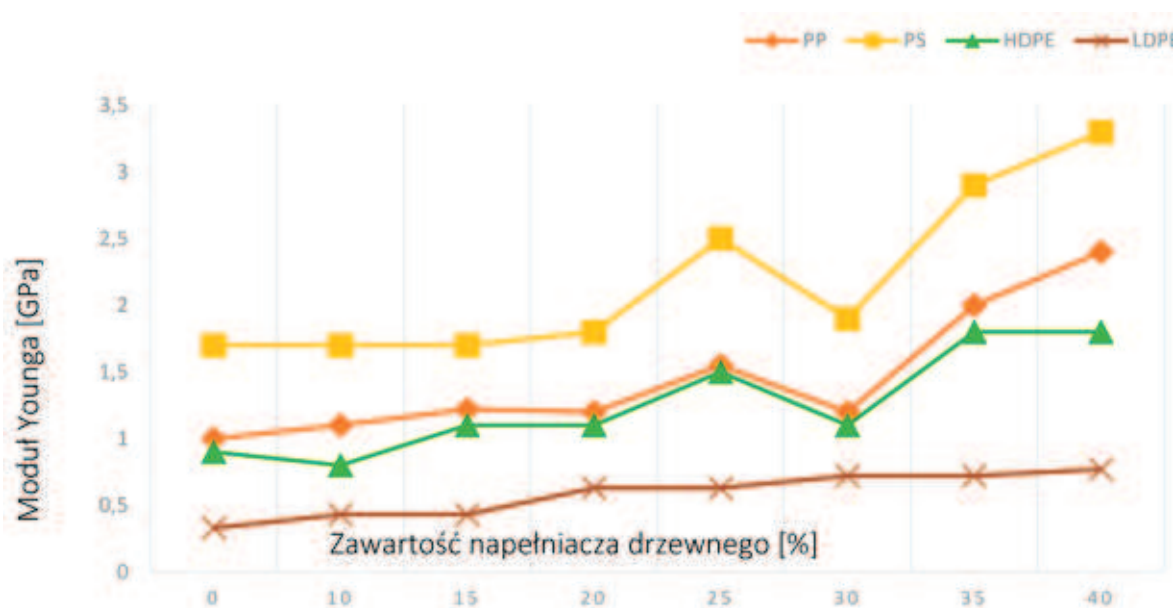
Wpływ na własności mechaniczne WPC ma głównie stosunek ilości osnowy polimerowej do napełniacza drzewnego. Moduł Younga wzrasta wraz ze zwiększaniem ilości napełniacza drzewnego (rys. 2). Wytrzymałość kompozytu jest zależna od takich czynników jak typ napełniacza drzewnego [31,32], typ osnowy [33], metoda przetwórstwa [34], wzajemne oddziaływanie pomiędzy napełniaczem a osnową [35–37]. W niemodyfikowanych kompozytach mniejsze cząsteczki napełniacza są bardziej efektywne w zwiększaniu modułu Younga, jednak w zastosowaniach przemysłowych preferuje się, z uwagi na niską cenę i dostępność, używanie mączki drzewnej. Jednak osiągnięcie w tym przypadku dobrych własności wytrzymałościowych jest bardzo trudne. Spadek własności wytrzymałościowych jest zazwyczaj związany ze wzrostem zawartości napełniacza drzewnego, lecz od tej reguły istnieje kilka wyjątków. Woodhams [38] wykazał, że wytrzymałość na rozciąganie kompozytu włókno drzewne/polipropylen produkowanego przy użyciu środka dyspergującego wzrasta wraz ze zwiększaniem zawartości napełniacza. Natomiast udarność maleje wraz ze zwiększaniem udziału napełniacza we wszystkich przypadkach, jednakże środki kompatybilizujące pomagają zmniejszyć ten efekt [39].

Jak w wielu kompozytach, udarność zmniejsza się wraz ze zwiększeniem zawartości napełniacza drzewnego. Metodami stosowanymi w celu rozwiązania tego problemu są utwardzanie termoplastów lub interfezy między osnową a napełniaczem, zoptymalizowanie geometrii cząstki, spienienie kompozytu. Zastosowanie kontrolowanej struktury komórkowej zarówno w modyfikowanych jak i niemodyfikowanych WPC może znacząco zwiększyć udarność kompozytu. Polarne elastomerowe kopolimery mogą podwyższyć udarność przy zachowaniu innych własności, zwłaszcza w wersjach maleinowanych [4].

Zmiana rodzaju mączki drzewnej powoduje zmiany własności wytrzymałościowych kompozytu WPC. Kim [18] wykazał, że kompozyty

z dodatkiem mączki pochodzącej z cedru czy orzesznika mają wyższą wytrzymałość na rozciąganie niż te z dodatkiem mączki z klonu lub dębu. Natomiast lepszym modułem Younga cechowały się WPC wytworzone przy użyciu takiego gatunku drzewa jak orzech włoski niż te wykonane z dębu.

czaj ok. 3%, jednak odnotowane zostały przypadki, gdzie kompozyty, w zależności od stosunku napelnacza do osnowy, narażone na działanie pary wodnej lub wody, absorbowały jej nawet 10–20% (wagowo). Wolcott i Englund [40] zaobserwowali, że absorpcja wody i pęcznienie zmniejszają się nieproporcjonalnie do ilości po-



Rys. 2. Stosunek ilości napelnacza drzewnego do modułu Younga dla poszczególnych polimerów [40]
 Fig. 2. The ratio of filler to the timber for the Young's modulus, the polymers [40]

W przypadku kompozytów WPC z napelnaczem w postaci włókien jednym z parametrów, który determinuje właściwości wytrzymałościowe jest długość włókna. Preferowane są włókna krótkie i małe o wielkości od 0,24 mm do 0,35 mm. Zapewniają one większe pole powierzchni a włókna są rozłożone bardziej równomiernie w stosunku do włókien długich, tak więc kompatybilność osnowy z włóknami jest lepsza. W związku z tym pęcznienie oraz pęknięcia podczas przetwarzania są zredukowane [41].

Absorpcja wilgoci oraz pęcznienie może zostać zmniejszone poprzez zwiększenie udziału termoplastu w kompozycie. Równowagowa zawartość wilgoci w kompozycie wynosi zazwy-

limeru w kompozycie. Wyniki te mogą wskazywać, że zmiany struktury materiału zmieniające się wraz z udziałem polimeru mają silny wpływ na właściwości kompozytu. Bengtsson [42] zauważył, że kompozyty usieciowane absorbują mniej wody niż nieusieciowane, w wyniku czego polepsza się adhezja pomiędzy polimerem a mączką drzewną. Huang [43] wykazał, że charakter pęknięcia WPC jest zależny od wchłoniętej przez niego wilgoci. Wysoki poziom wilgoci może być szczególnie szkodliwy dla właściwości nośnych materiału. Li [35,36] donosi, że poprzez zwiększenie zawartości EVA zmniejszono wchłanianie wody przez WPC, wytrzymałość na rozciąganie i elastyczność podwyższyły się.

Istotnym parametrem jest temperatura przetwórstwa kompozytów. Lewandowski [34] wykazał, że wzrost temperatury wytłaczania poli(chlorku winylu) od 140°C do 185°C powoduje bardzo wyraźny liniowy wzrost wytrzymałości na rozciąganie od 13,9 MPa do 54,4 MPa, wzrost udarności od 1,3 kJ/m² w 140°C do 13,2 kJ/m² w 170°C co jest związane z żelowaniem polimeru i poprawą adhezji osnowy do napełniacza.

METODY PRZETWÓRSTWA KOMPOZYTÓW WPC

Kompozyty WPC przetwarzane są przy użyciu maszyn przetwórczych typowych dla polimerów termoplastycznych. W tym celu korzysta się z wytłaczarek jedno- lub dwuślimakowych o odpowiednio dobranej konfiguracji ślimaków. Mieszanki o zawartości do 40% mączki drzewnej są przetwarzane przy pomocy maszyn przetwórczych stosowanych dla poli(chlorku winylu) czy polipropylenu. Natomiast przy przetwórstwie mieszanin zawierających do 80% napełniacza głównym problemem jest pokonanie wyso-

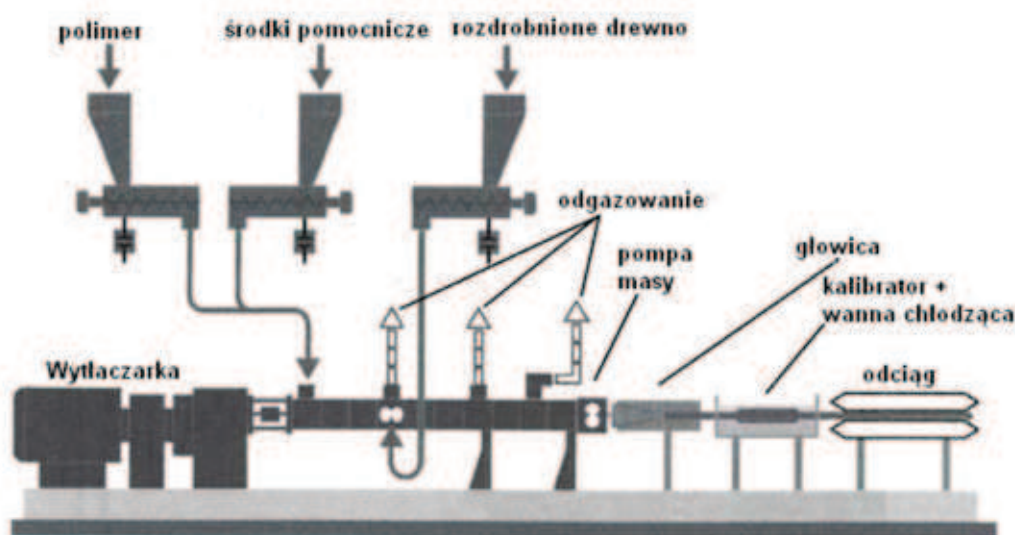
kich oporów oraz ciśnienia w głowicy, które może znacząco przekroczyć 100 MPa. Produkcja metodą wtryskiwania wymaga odpowiedniego doboru kształtu i przekroju przewężek w formie wtryskowej oraz ograniczenie długości kanałów doprowadzających [31].

Przetwórstwo kompozytów WPC składa się zazwyczaj z trzech etapów:

- przetwórstwo drewna,
- mieszanie komponentów,
- formowanie produktów metodami wtryskiwania, wytłaczania, prasowania.

Głównym celem etapu, w którym przetwarza się drewno jest zwiększenie jakości poprzez podział na różne rozmiary, gatunki oraz wysuszenie go przed etapem mieszania do poziomu wynoszącego poniżej 1% zawartości wilgoci. Podczas drugiego etapu, kompozyt jest wytwarzany poprzez mieszanie mączki drzewnej z polimerem, która wzmacnia osnowę. Uprzednio zmieszany materiał może być bezpośrednio formowany w granulaty do dalszego przetwarzania, bądź też można zostać przetworzony w produkt końcowy [4,8].

Wytłaczanie bezpośrednie jest najczęściej stosowanym sposobem przetwarzania kompo-



Rys. 3. Schemat linii produkcyjnej wytłaczania bezpośredniego [8]

Fig. 3. Diagram of direct extrusion production line [8]

zytów WPC. W tym procesie mączka drzewna jest mieszana z polimerem i następnie wytłacza się profil z uplastycznionego materiału przez głowicę. Schematyczna linia produkcyjna wytłaczania bezpośredniego została przedstawiona na rys. 3.

ZASTOSOWANIA KOMPOZYTÓW WPC

BUDOWNICTWO

Kompozyty WPC mogą być użytkowane w każdym klimacie, dzięki czemu znajdują liczne zastosowania w branży budowlanej. Deski WPC są wytwarzane głównie przy użyciu techniki wytłaczania. Przekrój panelu jest bezpośrednio określony przez narzędzie w wytłaczarce oraz zależny od wymagań odbiorcy. Dodatkowo może zostać wykonane fakturowanie bądź też dodatkowe zabezpieczenie powierzchni [5,8]. Listwy końcowe i profile techniczne nie są poddawane tym zabiegom. Zazwyczaj systemy łączenia desek są mało skomplikowane. Skalibrowane płyty, akcesoria oraz zaciski pozwalają skrócić czas montażu. Występuje tendencja, aby ograniczyć liczbę wkrętów potrzebnych do zmontowania na rzecz zacisków, które będą niewidoczne dla użytkownika głównie

ze względu na walory estetyczne. Deski nie wymagają specjalnej konserwacji a ich czyszczenie może odbywać się przy użyciu strumienia wody. Mogą być także one obrabiane czy szlifowane tak samo jak drewno. WPC nadaje się do takich zastosowań jak: tarasy, otoczenie basenu, chodniki, ścieżki, schody, podłogi, siding ścienny, jako elewacje domów, płyty, altany ogrodowe, pergole czy ekrany dźwiękochłonne [8,44]. Mimo że, aktualnie w Europie, Azji, Bliskim Wschodzie, Rosji najczęściej używa się WPC do wyrobu desek i okładzin, to wzrasta popyt na fasady i inne elementy architektoniczne [44].

MOTORYZACJA

Producenci aut coraz bardziej starają się dbać o ochronę środowiska i wprowadzają pojazdy, które w znacznej części można poddać recyklingowi. Zgodnie z wytycznymi Komisji Europejskiej od 2015 roku 95% masy nowych aut musi nadawać się do powtórnego przetworzenia, co sprzyjało zwiększeniu zapotrzebowania na kompozyty WPC w tej gałęzi przemysłu [40,45].

Obecnie kompozyty wzmacniane włóknem drzewnym i/lub pochodzenia roślinnego [40,45] coraz częściej znajdują zastosowanie



Rys.4. Elementy samochodu wykonane z kompozytów WPC [53]
Fig. 4. Car components made of WPC composites[53]

w produkcji samochodów (tab. 1). Z technicznego punktu widzenia te kompozyty posiadają lepsze własności mechaniczne oraz akustyczne i mniejszą masę, co przekłada się na mniejsze zużycie paliwa, są tańsze niż ich całkowicie syntetyczne odpowiedniki, zwiększają bezpieczeństwo pasażera, nie odpyskują podczas

dużych zmian temperatury a przede wszystkim posiadają zwiększoną biodegradowalność [46]. Jako przykład można podać Mercedesa E-klasy, gdzie przy użyciu WPC uzyskano redukcję masy samochodu o 20% oraz zwiększenie własności mechanicznych, co jest szczególnie ważne przy wypadku.

Tabela 1. Zestawienie części i elementów samochodów różnych producentów wzmocnionych włóknem naturalnym [45]

Table 1. List of car parts and components made of various natural fiber-reinforced [45]

Model	Producent	Komponenty
A2, A3, A4, A4 Avant, A6, A8, Roadstar, Coupe	Audi	oparcia siedzeń, panele drzwiowe, wykładzina bagażnika
C5	Citroen	panele drzwi wewnętrznych
serie 3,5,7	BMW	panele drzwiowe, wykładzina bagażnika, wycieraczki, panele izolacji akustycznej, poszycie podsufitki
Eco Elise	Lotus	spoiler, fotele, dywaniki, panele nadwozia
Punto, Brava, Marea, Alfa Romeo 146 i 156	Fiat	panele drzwiowe
Astra, Vectra, Zafira	Opel	poszycie podsufitki, panel drzwiowy, deska rozdzielcza
406	Peugeot	panele drzwi przednich i tylnych
2000 i inne	Rover	Izolacja, tylna półka
Raum, Brevis, Herrier, Celsior	Toyota	panele drzwiowe, oparcia siedzeń, maty podłogowe, osłona koła zapasowego
Golf A4, Passat Variant, Bora	Volkswagen	panele drzwiowe, oparcia siedzeń, wykładzina bagażnika, panel pokrywy bagażnika
Space star, Colt	Mitsubishi	panele drzwiowe, deska rozdzielcza, podłoga bagażnika
Clio, Twingo	Renault	tylna półka
Mercedes klasy A, C, E, S, Truck, EvoBus	Daimler-Benz	panele drzwiowe, stoliczek biznesowy, schowek, izolacja, oparcie fotela, pokrywa silnika, zderzak, pokrycie dachowe, osłona przeciwsłoneczna, deska rozdzielcza
Pilot	Honda	bagażnik
C70, V70	Volvo	obicia foteli, naturalne pianki, podłoga bagażnika
Cadillac Deville, Chevrolet TrailBlazer	General Motors	oparcia siedzeń, podłoga bagażnika
Mondeo CD 162, Focus, Freestar	Ford	wycieraczki, panele drzwiowe, wykładzina bagażnika

Większość obecnie stosowanych kompozytów jest zaprojektowana z myślą o długoterminowym okresie użytkowania. Przykładowymi częściami wewnętrznymi samochodu są: wkładki do drzwi przednich (1,2–1,8 kg), wkładki do drzwi tylnych (0,8–1,5 kg), oparcia siedzeń tylnych (1,6–2 kg). Elementy wykonane z WPC przez największych producentów samochodów zostały wymienione w tabeli 1. Ford stosuje w modelu Mondeo włókna kenafu sprowadzane z Bangladeszu, z których wytwarza panele drzwiowe. Volvo używa biopolimerów z napełniaczami soi oraz włóknami naturalnymi w siedzeniach. Przez takich producentów jak Ford, Mitsubishi, Mazda czy Toyota coraz częściej jako osnowa używane są takie polimery jak polilaktyd (PLA) czy PBS (ang. PolyButylene Succinate) [45]. Obecnie 27 komponentów najnowszego Mercedesa klasy S o łącznej wadze 43 kg (o 73% mniej niż poprzednio) zostało wyprodukowanych z biokompozytów napełnionych materiałami organicznymi. Przy użyciu procesu RTM (ang. Resin Transfer Moulding) niemiecka firma FourMotor wytworzyła nadwozie Forda Mustanga używając żywic z włóknami pochodzenia naturalnego [45].

MEBLARSTWO

Niemieckie firmy meblarskie są uważane za jedne z bardziej innowacyjnych w Europie, jednakże punktem odniesienia, jeśli chodzi o design najwyższej klasy są Włochy. Kompozyty WPC wciąż pozostają materiałem, którego konsument nie zna i wciąż jest rzadko stosowany jako alternatywa dla wyrobów drewnianych. Duże firmy jak IKEA starają się zwrócić uwagę konsumenta właśnie na WPC. W 2006 roku IKEA wypuściła na rynek dwa pierwsze krzesła Ellan i Ölga wyprodukowane z kompozytu polimerowo-drewnego dając impuls do dalszego rozwoju. Krzesła składały się z sześciu części, które można było złożyć bez użycia narzędzi a do ich produkcji użyto formowania wtryskowego [8,47].

Istnieją także inne przykłady mebli wykonanych przy użyciu wyłaczania i innych technik a są to między innymi komody (firma Origafile, RPA), regały (Maschinenbau Kitz, Niemcy), krzesła ogrodowe składane (Steiner Gartenmöbel, Austria), drzwi, ramy okienne, ławki (POLdeck WPC, Polska) [8,48].



Rys 5. Krzesło wykonane z kompozytu WPC [54]
Fig 5. Chair made of WPC composite [54]

DOBRA KONSUMENCKIE

Rynek dóbr konsumenckich jest rynkiem z największym, wciąż niespożytkowanym potencjałem. W szczególności technika formowania wtryskowego dopiero zaczyna wykorzystywać swoje możliwości w tym obszarze. Materiały reklamowe, biurowe, doniczki na kwiaty, instrumenty muzyczne, ramki na zdjęcia i obrazy a nawet biodegradowalne urny są jednymi z pierwszych produktów na tym rynku [8,47].

Finowie opracowali naczynia do picia o różnej wielkości, które mogą być myte w zmywarkach, używane do picia gorących napojów oraz są nieszkodliwe dla artykułów spożywczych. Zawartość napelnacza drzewnego w nich wynosi 50% lub więcej. Mają być one substytutem dla tradycyjnych ręcznie rzeźbionych produktów w Finlandii. Jednakże mają one problemy ze sprzedażą na rynkach poza Skandynawią ze względu na ich specjalny design oraz wysoką cenę (ze względu na bardzo małą ilość wyprodukowanych sztuk) [8].

Istnieje w sumie ok. 2000 producentów dóbr konsumenckich w Niemczech [49]. Produkują oni artykuły z wytrzymałych polimerów zaczynając od skrzynek kończąc na zabawkach czy przedmiotach codziennego użytku. W szczególności funkcjonalność, zabarwienie, trwałość

produktu a przede wszystkim cena muszą być porównywalne z obecnymi produktami, aby mogły przetrwać pośród międzynarodowej konkurencji. Ze względu na dużą liczbę producentów i produktów, powinno być możliwe przeprowadzenie prób z materiałami WPC na małą skalę, np. wprowadzenie pojedynczych produktów ze względów marketingowych, ustanawiając tym samym coraz silniejszą pozycję dla kolejnych produktów [8,49].

BIBLIOGRAFIA

1. Ślężiona J. (red.) *Podstawy technologii kompozytów*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998
2. P. Postawa, T. Stachowiak, A. Szarek, *Badania właściwości kompozytów drewno-polimer metodą DMTA*, *Kompozyty*, 3 (2010)
3. S. Zajchowski, J. Tomaszewska, *Kompozyty polimero-drewnne*, Teka Kom. Bud. Eksp. Masz. Elektrotech. Bud. – OL PAN, 2008, 183–188
4. S. Zajchowski, J. Ryszkowska, *Kompozyty polimero-drewnne – charakterystyka ogólna oraz ich otrzymywanie z materiałów odpadowych*, *Polimery* 2009, nr 10
5. Ł. Łukasik, G. Jankowski, S. Kuciel, Libner-Kneć A., *Kompozytowe profile wielokomorowe na podstawie polichlorku winylu z dodatkiem drewnianych trocin na tarasy i pomosty*, *Polimery i Kompozyty Konstrukcyjne* 2011
6. Sikora R. (red.), *Przetwórstwo tworzyw polimerowych, podstawy logiczne, formalne i terminologiczne*, Politechnika Lubelska, Lublin 2006



Rys. 6. Urna z kompozytu WPC [55]

Fig. 6. WPC composite urn [55]

7. Vogt D. (red.), *Wood-Plastic-Composites (WPC)-Holz-Kunststoff-Verbundwerkstoffe – Märkte in Nordamerika, Japan und Europa mit Schwerpunkt auf Deutschland*, nova-Institut GmbH, Hürth 2006.
8. Niska K.O., Sain M. *Wood-polymer composites*, Woodhead publishing in materials, 2008
9. Oniśko W.; Nowe generacje tworzyw drzewnych i nowoczesne technologie; Materiał konferencyjne Drewnowizja 2011 ITD SGGW Warszawa 2011 r.
10. Marcovich N.E., Villar M.A. *Thermal and Mechanical Characterization of Linear Low-Density Polyethylene/Wood Flour Composites*, Journal of Applied Polymer Science 09/2003; 90 (10):2775–2784
11. Królikowski W. *Kompozyty konstrukcyjne*, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2012
12. Hachemi R., Belhaneche-Bensemra N., Massardier V. *Elaboration and Characterization of Bioblends Based on PVC/PLA*, Journal of Applied Polymer Science, 2014, Vol.131(7)
13. Błędzki A.K., Gorący K., Stańkowska-Walczak D., Mamun A.A., Meljon A., Franciszczak P. *Biokompozyty PLA wzmacniane naturalnymi włóknami krótkimi oraz mikrowłóknami z łusek zbożowych*, Przetwórstwo Tworzyw 5(155)/19, 471–473
14. Getner E., Steller R., Kuśnierz E., Winciorek N. *Właściwości mieszanin poli(kwasu mlekowego) ze skrobią*, Przetwórstwo Tworzyw 5(155)/19, 494–498
15. Rogers J.; Simonsen, J. *Interfacial shear strength of wood-plastic composites: a new pullout method using wooden dowels*, Journal of Adhesion Science Technology 2005, 19, 975
16. Saputra H., Simonsen J., Li K. *Effect of extractives on the flexural properties of wood/plastic composites*, Composite Interfaces 2004, 11, 515
17. Wolcott M. P. Presented at the Non-Wood Substitute for Solid Wood Products Conference, Melbourne, Australia, 2003
18. Kim J., Harper D., Taylor A. *Effect of Wood Species on the Mechanical and Thermal Properties of Wood-Plastic Composites*, Journal of Applied Polymer Science, 2009, Vol.112(3)
19. Sałasińska K., Ryszkowska J. *Stabilność wymiarowa, właściwości fizyczne, mechaniczne i cieplne kompozytów polietylenu dużej gęstości z łupinami orzecha ziemnego*, Polimery 2013, 58, nr 6
20. Chmielnicki B., Konieczny J. *Właściwości kompozytów WPC o podstawie polietylenowej napełnionych mączką z łupin orzechów*, Przetwórstwo Tworzyw, 1(157)/20 (2014) 12–20
21. Zehedi M., Pirayesh H., Khanjanzadeh H., Tabar M. M. *Oregano-modified montmorillonite reinforced walnut shell/polypropylene composites*, Materials and Design 51 (2013) 803–809
22. Ayrimis N., Kaymakci A., Ozdemir F. *Physical, mechanical, and thermal properties of polypropylene composites filled with walnut shell flour*, Journal of Industrial and Engineering Chemistry 19 (2013) 908–914
23. Pirayesh H., Khazaeian A., Tabarsa T. *The potential for using walnut (Juglans regia L.) shell as a raw material for wood-based particleboard manufacturing*, Composites: Part B 43 (2012) 3276–3280
24. Kuciel S., Kuźniar P., Bogucki R. *Kompozyty na podstawie biopoliamidu z mączką łupin orzecha modyfikowane powierzchniowo nanocząstkami srebra*, Przetwórstwo Tworzyw 6(162)/20, 507–511
25. Majewska K., Kopytowska J., Łojko R.E., Zadernowski R., *Wybrane cechy fizyczne dojrzałych owoców orzecha włoskiego*, Acta Agrophysica, 2003, 2(3), 597–609
26. Chand N., Sharma J., Bapat M.N., *A New Proposed Model for Dielectric Behavior of PVC/Rice Husk Composites*, Journal of Applied Polymer Science, 2012, Vol.126(3), pp.1105–1111
27. Tatarowska D., Tatarowski Z. *Właściwości przetwórcze kompozytów polipropylenowych z napełniaczem w postaci rozdrobnionej słomy ryżowej*, Przetwórstwo Tworzyw 6(162)/20, 572–576
28. Franciszczak P., Szmergalska A., Błędzki A. *Biochemicznie modyfikowane mikrowłókna z łusek zbożowych do zastosowania w biokompozytach PP*, Przetwórstwo Tworzyw 5(155)/19, 490–493
29. Tatarowski Z., Lewandowska-Kosyl J., Kosyl M. *Modyfikacja recyklatu z folii poliamidowo-polietylenowej trawą morską*, Przetwórstwo Tworzyw 5(155)/19, 549–553
30. Urbaniak M., Błędzki A. *Biokompozyty epoksydowe wzmacniane mikrowłóknami z odpadów zbożowych*, Przetwórstwo Tworzyw 5(155)/19, 554–557
31. Zajchowski S., Gozdecki C., Kociszewski M., *Badania właściwości fizycznych i mechanicznych kompozytów polimerowo-drzewnych (WPC)*, Kompozyty (Composites) 5(2005)3
32. Gozdecki C., Kociszewski M., Wilczyński A. *Wood-polyethylene composite with industrial wood particles*, Forestry and Wood Technology No 71, 2010: 199–202
33. Gozdecki C., Kociszewski M., Wilczyński A., Zajchowski S. *Mechanical properties of wood-polymer composites with different polymers*, Forestry and Wood Technology No 74, 2011: 82–85
34. Lewandowski K., Zajchowski S., Tomaszewska J., *Wpływ temperatury wytłaczania na właściwości kompozytów PVC/drewno*, Inżynieria i Aparatura Chemiczna 2010, 49, 5, 71–72
35. Li D., Li L., Li J. *Preliminary study of the effects of EVA coupling agents on properties of wood-plastic composites*, Forestry Studies in China, 2010, Vol.12(2), pp.90–94

36. Li D., Li J, Hu X., Li L. *Effects of ethylene vinyl acetate content on physical and mechanical properties of wood-plastic composites*, BioResources, 2012, Vol.7(3), p.2916
37. Yin Y. G. Zhong S. Z., Xia C. L. *Preparation and properties of plastic-wood composites*, Chinese Plastic Industry 2002, 30(6): 20–21,50
38. Woodhams R. T., Law S. , Balatinez J. J. *Intensive mixing of wood fibers with thermoplastics for injection-molded composites*. In: Wolcott M P (ed.) *Wood Fiber Polymer Composites: Fundamental Concepts, Processes and Material Options*. Forest Products Society, Madison, WI 1993
39. Oksman K., Clemons C. *Mechanical properties and morphology of impact modified polypropylene-wood flour composites*, Journal of Applied Polymers Science, 67, 1503–1513
40. Wolcott M. P., Englund K. *A technology review for woodplastic composites*. In: Wolcott M P, Tichy R J, Bender D (eds.) 33rd Int. Particleboard/Composite Mater. Symp. Proc. Washington State University, Pullman, WA 1999
41. Ashori A. *Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries!*, Bioresource Technology 99 (2008) 4661–4667
42. Bengtsson M., Gatenholm P., Oksman K., *The effect of crosslinking on the properties of polyethylene/wood flour composites*, Composites Science and Technology, 2005, Vol.65(10), pp.1468–1479
43. Huang S. H., Cortes P. Cantwell W.J., *The influence of moisture on the mechanical properties of wood polymer composites*, J Mater Sci (2006) 41:5386–5390
44. Materiały firmy Einwood® <http://www.greentins.com/doc/EINWOOD%20Catalog.pdf>
45. Bledzki A., Faruk O., Jaszkievicz A., *Cars from renewable materials*, Kompozyty 10: 3 (2010) 282–288
46. Chen Y., Sun, L., Chiparus, O., Negulescu, I., Yachmenev, V., Warnock, M., 2005. *Kenaf/ramie composite for automotive headliner*. Journal of Polymers and the Environment 13 (2), 107–114
47. Eder A. Carus M. *Global trends in wood-plastic composites (WPC)*, bioplastic MAGAZINE [04/13] vol.8
48. Materiały firmy POLdeck – www.wpckompozyt.pl
49. Pritchard G. and Hackwell, B. (2006) *Wood plastics composites in Europe – poised to take off*. In **Fourth N-Fibre-Base Congress**, 27–28 June 2006, Hixth Germany
50. PN-EN ISO 527-1:1998 *Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu – Zasady ogólne*
51. PN-EN ISO 179-1:2010 *Tworzywa sztuczne – Oznaczanie udarności metodą Charpy'ego – Część1: Nieinstrumentalne badanie udarności*
52. Materiały firmy Einwood® <http://www.greentins.com/doc/EINWOOD%20Catalog.pdf>
53. Materiały portalu Plastech <https://www.plastech.pl/wiadomosci/Kompozyty-WPC-i-ich-zastosowanie-w-przemysle-2065>
54. Materiały portalu Moulding Blog <http://www.themouldingblog.com/2015/11/16/ikea-makes-major-commitment-to-bioplastics/>
55. Materiały portalu Bio-Based News <http://news.bio-based.eu/fasal-wood-wpc-flexibel-schlagzaeh-bioabbaubar>

Data wpłynięcia artykułu do redakcji: 15-02-2015

Data akceptacji publikacji do druku: 06-06-2017