

Anna WŁODARCZYK-FLIGIER¹⁾, Magdalena POŁOK-RUBINIEC²⁾, Błażej CHMIELNICKI³⁾

^{1,2)}Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska,

Wydział Mechaniczny-Technologiczny; anna.wlodarczyk@polsl.pl

³⁾Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, ul. M. Skłodowskiej- Curie 55, 87-100 Toruń

Kompozyty polimerowe z napełniaczem naturalnym

Streszczenie: W ostatnich kilkunastu lat można zauważyć wzrost zainteresowania materiałami kompozytowymi WPC. W artykule przedstawiono charakterystykę tych materiałów wzmocnionych naturalnymi surowcami. Istotną ich zaletą jest między innymi możliwość otrzymywania kompozytów tradycyjnymi metodami przetwórstwa plastycznego (wytlaczania i wtryskiwania). Ze względu do dobre własności wytrzymałościowe i użytkowe, a także atrybuty wizualne, znalazły zastosowanie na deski tarasowe, place zabaw, balustrady, pokrycia dachowe itp.

Słowa kluczowe: kompozyty WPC, przetwórstwo kompozytów, napełniacz naturalny, zastosowanie

POLIMERS COMPOISTES WITH NATURAL FILLER

Abstract: During last years a growing interest could be noticed in WPC composite materials. It is characteristics of these materials reinforced with natural raw materials presented in this article. Definitely crucial advantage is, among others, the possibility of obtaining composites by traditional methods of plastic processing (extrusion and injection). Due to the good mechanical and functional properties, as well as visual attributes, they were applied to patio boards, playgrounds, balustrades, roof coverings, etc.

Keywords: WPC composites, processing of composites, natural filler, application

WPROWADZENIE

Poszukiwania nowych materiałów o konkretnych szczególnych własnościach, jakich nie mogą uzyskać tradycyjne materiały konstrukcyjne, spowodowały zainteresowanie materiałami kompozytowymi. Materiał kompozytowy definiuje się jako materiał składający się z co najmniej dwóch składników, z których jeden pełni funkcję osnowy a drugi wzmocnienia. Składniki są tak dobrane, żeby każdy z nich zachował swoje własności, a jednocześnie nadał nowo wytworzonemu materiałowi kompozytowemu własności lepsze lub nowe [1-3]. Od kilkunastu lat można zaobserwować wciąż rosnące zainteresowanie materiałami kompozytowymi z tworzyw polimerowych wzmocnianych napełniaczami pochodzenia roślinnego, które stanowią alternatywę dla tradycyjnych napełniaczy. Jednym z powodów wytwarzania takich materiałów był wciąż rosnący koszt wytwarzania produk-

tów polimerowych. Największą grupę zarówno w Polsce jak i w innych państwach stanowią materiały wzmocnione, ze względu na jego łatwą dostępność, różnymi gatunkami drewna. Wciąż rosnące zainteresowanie materiałami kompozytami polimerowo-drzewnymi wynika z dobrych własności wytworów z nich otrzymanych, przez połączenie korzystnych cech zarówno osnowy jak i wzmocniacza [4-8].

Celem wytworzenia materiałów kompozytowych WPC było zastąpienie dotychczasowej mączki drzewnej mączką z łupin orzechów laskowych, co ma zmniejszyć chłonność wody oraz polepszyć własności użytkowe, które umożliwiłyby ich zastosowanie m.in. na elementy ogrodowe (deski tarasowe, balustrady, place zabaw, pokrycia dachowe itp.).

Jednym ze sposobów wykorzystania naturalnych surowców w tym drewna, które stanowią odpady jest zastosowanie ich jako napełniacza do produkcji materiałów kompozytowych typu

WPC (*ang.* *Wood Plastic Composites*). W definicji materiałów kompozytowych WPC w różnych artykułach łączy się kryteria, jakie te materiały muszą spełniać. Według tej definicji „WPC są kompozytami dającymi się przetworzyć termoplastycznie, w skład których wchodzi drewno, tworzywo polimerowe i środki pomocnicze w różnym udziale”. W materiałach WPC najistotniejsze jest to, żeby chociaż raz były one w sposób termoplastyczny przetworzone. W skład tych kompozytów nie muszą wchodzić tylko tworzywa termoplastyczne, w literaturze można spotkać też materiał utwardzalny jako materiał osnowy materiałów WPC. Niestety wielu odbiorcą na rynku źle kojarzy się w nazewnictwie słowo „polimer” czy też „sztuczne”, stwierdzono na podstawie przeprowadzonych analiz nawet spadek sprzedaży tych materiałów. Wiele firm z tego powodu stosuje nazwy „tworzywo drewniane” czy „kompozyty drewniane” [1, 4-8, 9-32]. Materiały WPC łączą w sobie zalety zarówno tworzyw wielkocząsteczkowych, jakimi są materiały polimerowe, jak i surowców naturalnych, co pozwala na uzyskanie nowych materiałów dających się obrabiać standardowymi narzędziami stosowanymi w obróbce drewna, jak i formować metodami przetwórstwa polimerów [4, 6, 21].

Własności otrzymanych materiałów kompozytowych WPC zależą od rodzaju, udziału procentowego i wielkości cząstek wzmacniających, a także od rodzaju materiału zastosowanego na osnowę. W zależności od proporcji osnowy i materiału wzmacniającego można uzyskać wiele materiałów kompozytowych o różnej budowie, a jest to związane z różnymi własnościami. W zależności od zawartości cząstek wzmacniacza naturalnego w osnowie, podzielić można je na trzy podstawowe grupy:

1. Do 30% zawartości wzmacniacza - materiał taki swoimi własnościami zbliżone do polimeru osnowy. Materiały te cechują się dobrą przetwarzalnością, a także bardzo ciekawym, dekoracyjnym wyglądem. Stosunkowo niski udział cząstek wzmacniających pozwala na wykorzystanie drogich gatunków napełniaczy drzewnych w celu osiągnięcia pożąda-

nych cech dekoracyjnych i zachowaniu wysokich własności mechanicznych. Możliwe jest również wykorzystanie taniego surowca naturalnego gorszej jakości w celu obniżenia kosztu produkcji. Ze względu na niewielką zawartość napełniacza, w wielu aplikacjach nie jest konieczna specjalna modyfikacja powierzchni napełniacza w celu zachowania wysokich własności wytrzymałościowych.

2. Od 30% do 70% zawartości wzmacniacza - materiały takie są przedstawicielami typowych kompozytów WPC. Materiał łączy w sobie cechy drewna i materiału polimerowego. Zwykle ze względu na wysoką zawartość napełniacza, w celu zapewnienia odpowiednich własności mechanicznych, konieczna jest modyfikacja powierzchni cząstek drewna, a także zastosowanie odpowiednich dodatków ułatwiających przetwarzanie polimerów.
3. Od 70% do 90% zawartości wzmacniacza - materiał taki nazywany jest „płynnym drewnem”. W przypadku tych materiałów mączka drzewna stanowi najczęściej napełniacz żywic utwardzalnych [6, 9, 13, 15, 33-36].

MATERIAŁY POLIMEROWE JAKO OSNOWA MATERIAŁÓW WPC

Zaletą kompozytów WPC w stosunku do typowych polimerów jest upodobnienie ich wyglądu do drewna, przy zachowaniu wysokiej odporności na działanie czynników środowiskowych i zmniejszenie wrażliwości na degradację mikrobiologiczną, której ulegają surowce naturalne. Przyczyną wzrastającego zapotrzebowania na elementy z materiałów WPC jest również to, że, wyczerpywanie się złóż ropy i węgla jest procesem nieodwracalnym, co nieuchronnie prowadzi do wzrostu cen tworzyw polimerowych. Zastąpienie chociaż ich części innymi materiałami jest dobrym posunięciem przede wszystkim ze względów ekonomicznych jak i ekologicznych [2, 6, 7, 37].

Najczęściej do wytwarzania kompozytów WPC stosuje się polimery wielkotonażowe takie jak: poliolefiny lub PCV, rzadziej PS, ABS lub polimery biodegradowalne. Na rynku europejskim

do produkcji elementów z kompozytów WPC głównie wykorzystuje się PP, natomiast w USA PE, który pochodzi najczęściej z recyklingu. Głównym powodem stosowania właśnie tych materiałów polimerowych są ich charakterystyczne właściwości. Jedną z nich jest mała chłonność wody, co stanowi dobrą barierę dla wilgoci, która może wnikać do drewna pełniąc rolę wzmacniacza [4, 8, 13, 15, 18, 20, 23, 27, 28, 38]. Istotne jest też to, że temperatura przetwarzania materiałów kompozytowych WPC nie powinna przekraczać 180°C do 200°C, co wynika z możliwości rozkładu niektórych składników drewna, co z kolei wiąże się z gatunkiem i rodzajem wykorzystywanego do produkcji napelnacza drewna. Jednak w większości publikacji na temat przetwarzania materiałów zawierających jako wzmocnienie cząsteczki drewna za temperaturę graniczną przyjmują się 200°C [4-7, 9, 11, 15, 20, 25, 27, 36, 39, 40].

DREWNO JAKO NAPEŁNIACZ W MATERIAŁACH WPC

Drewno od tysięcy lat stosowane jest jak materiał konstrukcyjny ze względu na dużą wytrzymałość właściwą, daje się łatwo kształtować i obrabiać nieskomplikowanymi i tanimi metodami przy użyciu uniwersalnych narzędzi. Niestety jego wadą jest łatwopalność, anizotropia właściwości mechanicznych, co źle wpływa na stabilność wymiarową wytworzonych elementów, a także nieodporność na wilgoć, grzyby oraz mikroorganizmy biologiczne. Jest to bardzo ważne przy zastosowaniu drewna na elementy zewnętrzne, co wiąże się z koniecznością ciągłego impregnowania. Niestety naturalnie w drewnie występują wady w postaci sęków, co też wpływa niekorzystnie na właściwości produktów z nich wykonanych [9, 15].

Drewno stosowane jako napelnacz w materiałach WPC głównie pochodzi z odpadów z zakładów zajmujących się obróbką drewna, z różnych gatunków drzew iglastych czy też liściastych. Może występować w postaci trocin, wiórów, pyłu czy też mączki w zależności od potrzeb wykorzystania wytworzonych materiałów. Istotnym elementem wykorzystania odpadów z drewna jest jego skład, który zależy od procesu uzyski-

wania odpadów, a także od czystości drewna, co wiąże się z regionem występowania [9, 15, 41]. Zaletą stosowania odpadów drzewnych jest niska wilgotność, wpływa to na możliwość pominięcia długotrwałego i energochłonnego etapu suszenia, a tym samym zmniejszenia kosztów produkcji materiałów WPC. Dobór rodzaju drewna, jego gatunku, wilgotności, a także postaci w jakiej zostanie zastosowany do wytworzenia kompozytów WPC, wpływa na właściwości wytrzymałościowe i użytkowe gotowych elementów.

Ze względu na wciąż rosnące ceny drewna, które spowodowane są zmianami politycznymi i gospodarczymi u największych odbiorców, wykorzystuje się inne naturalne surowce do wzmacniania materiałów WPC. Można wykorzystywać m.in. niejadalne części owoców, ziarna zbóż, łodygi roślin, łupiny z różnych gatunków orzechów, dzięki temu można uzyskać wymagane przez konsumenta cechy: estetyka, niewielka masa produktu, wysoka odporność na działanie czynników UV, wilgoć czy też grzyby [6, 16, 29, 38, 43, 42].

ZASTOSOWANIE MATERIAŁÓW WPC

Najwięcej elementów z materiałów WPC produkuje się w Stanach Zjednoczonych, gdzie głównie produkuje się profile deski podobne, które mają zastąpić deski drewniane w zastosowaniu na budynków (m.in. werandy, tarasy, dachy) (Rys.1, 2). Deski kompozytowe są rewelacyjną alternatywą dla desek drewnianych, ponieważ nie są tak problematyczne i pracochłonne w utrzymaniu jak drewniane.

W Niemczech kompozyty WPC głównie mają zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym, gdzie duże znaczenie ma m.in. bezpieczeństwo, co wiąże się z brakiem ostrych krawędzi, a także dobre właściwości akustyczne (elementy drzwi, tylne siedzenia, deski rozdzielcze, panele nadwozia i inne elementy). W Chinach zastosowanie tych materiałów jest szerokie od produkcji profili okiennych, drzwi, doniczek, ławek, po systemy termicznej izolacji [11, 19, 20, 23, 44].

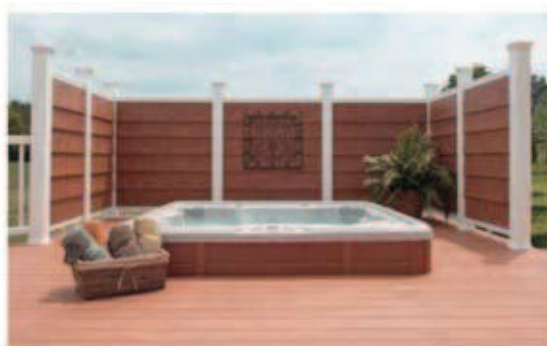
Elementy z materiałów WPC ze względu na swoje walory estetyczne, które są wyni-

kiem atrakcyjnego wyglądu napełniacza organicznego w osnowie polimerowej, jak również możliwość trwałego barwienia w masie osnowy polimerowej, a także dobre własności użytkowe, pozwalają na ich zastosowanie w przestrzeni miejskiej (Rys.3).

Materiały WPC mogą też znaleźć swoje zastosowanie do konstruowania sprzętu sporto-

wego, np. łuków, kijów baseballowych, czy też narty [13, 45, 46].

Producenci wyrobów z materiałów WPC kładą duży nacisk na bezpieczeństwo wyprodukowanych elementów, między innymi na ich trwałość w warunkach użytkowych, przede wszystkim na zewnątrz, gdzie mogą wystąpić np. zmiany wyglądu (zmatowienie, spękanie) [47].



Rys. 1. Przykładowe zastosowanie desek WPC na taras i jacuzzi.

Fig. 1. Sample application of WPC boards for terrace and Jacuzzi.



Rys. 2. Deska z materiału WPC.

Fig. 2. Board WPC material.



Rys. 3. Materiały WPC w zastosowaniu w architekturze miejskiej.

Fig. 3. WPC materials for use in urban architecture.

PRZETWÓRSTWO MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH WPC

Proces mielenia surowców naturalnych pełniących rolę wzmacniacza w materiałach WPC prowadzony jest w młynach przemysłowych. Najczęściej wykonuje się to w kilku etapach. Na każdym etapie mielenia otrzymuje się drobniejszą frakcję, aż do uzyskania pożądanego rozdrobnienia napełniacza. Dla kompozytów WPC najodpowiedniejsza jest wielkość ziarna poniżej 500 μm . Materiały kompozytowe napełnione mączką i cząstkami o większych wymiarach cechują się gorszymi własnościami mechanicznymi, jednak mogą wykazywać niezaprzeczalne walory dekoracyjne i estetyczne [9, 48-50].

Polimery stosowane w materiałach WPC, które pełnią rolę osnowy miesza się z napełniaczem różnymi metodami. Zależy to jest od rodzaju i postaci w jakiej one występują (proszek, włókna, mączka). Źle zhomogenizowany, materiał kompozytowy wewnątrz swojej struktury będzie posiadał pory, czyli puste przestrzenie, co wpływa niekorzystnie na własności mechaniczne wytworzonego materiału. Tworzenie się skupisk przez cząstki wzmacniacza w osnowie polimerowej, również powoduje obniżenie własności mechanicznych, w celu ich uniknięcia ślimaki wyłaczarki muszą być odpowiednio skonstruowane. Kolejnym ważnym czynnikiem jest lepkość polimerów w stanie stopionym i zwilżalność wzmacniacza przez polimer, co wiąże się z kolejnością wprowadzania wzmocnienia i składników mieszaniny [2, 51-54]. Właśnie adhezja między osnową a napełniaczem ma duże znaczenie przy wytwarzaniu materiałów WPC. W celu poprawy kompatybilności osnowy i wzmacniacza, modyfikuje się fizycznie i chemicznie osnowę, czyli polimer, bądź też napełniacz, albo stosuje się dodatkowe substancje – związki sprzęgające, tzw. kompatybilizatory, wykazujące powinowactwo zarówno do materiału osnowy jak i napełniacza [2, 51-56].

Przetwarzanie materiałów kompozytowych WPC odbywać może się w powszechnie sto-

sowanych urządzeniach jakimi są wyłaczarki i wtryskarki. Ze względu na możliwość powstawania aglomeratów napełniacza w czasie przetwórstwa materiału kompozytowego pożądane są systemy grawimetrycznego dozowania mączki z surowca naturalnego i polimeru do strefy zasilania urządzenia przetwórczego. Do wytwarzania elementów z kompozytów WPC stosuje się metody wyłaczania, przy pomocy wyłaczarek jednoślindakowych, a coraz częściej i dwuślindakowych przeciwbieżnych o odpowiednio dobranej konfiguracji ślimaków [7-9, 14, 21, 22, 36]. Mieszaniny WPC, które zawierają do ok. 40% wzmacniacza naturalnego można przetwarzać za pomocą typowych maszyn przetwórczych stosowanych do wytwarzania PP lub PVC. Natomiast w przypadku mieszanin o znacznie większej zawartości wzmocnienia nawet do 80% pojawia się problem z pokonaniem wysokich oporów tarcia występujących w kanale śrubowym ślimaka na skutek dużej ilości wzmocnienia oraz ciśnienie jakie panuje w głowicy wyłaczarki przekraczającego nawet 100 MPa [14, 36]. Urządzenia do wyłaczania muszą być wyposażone w systemy odgazowania. Wadą tego rozwiązania jest konieczność uplastyczniania się polimeru wraz ze wzmocnieniem pochodzenia roślinnego, co naraża go na dłuższy czas oddziaływania temperatury i powoduje większe ryzyko przypalenia. Rozwiązaniem tego problemu są specjalizowane systemy do przetwarzania materiałów WPC, których główną zaletą jest oddzielenie procesu uplastyczniania polimeru i mieszania go ze wzmacniaczem. Składają się one najczęściej z dwóch skojarzonych ze sobą wyłaczarek, przy czym w jednej następuje uplastycznianie polimeru, do którego podawana jest grawimetrycznie mączka z drugiego urządzenia, w którym została podgrzana i osuszona. Powoduje to znaczne skrócenie czasu narażenia mączki na działanie wysokiej temperatury koniecznej do przetworzenia materiału wielkocząsteczkowego. Wadą tego rozwiązania jest wysoka cena i znaczny, w stosunku do klasycznych urządzeń, stopień skomplikowa-

nia całego procesu. Przetwórstwo wtryskowe materiałów kompozytowych WPC odbywa się przy użyciu uniwersalnych wtryskarek. Wymagane są odpowiednio dobrane kształty i przekroje przewęzek w formie wtryskowej, a także ograniczenie długości kanałów doprowadzających [6, 14]. Zwykle nie prowadzi się procesu mieszania polimeru i mączki bezpośrednio w maszynie, a stosuje się gotowe granulaty uzyskane metodą wytłaczania.

Przetwórstwo materiałów kompozytowych WPC składa się najczęściej z trzech etapów [6, 15, 36]:

1. Przetwórstwa napelniacza (mielenie, przesiewanie, suszenie),
2. Mieszania napelniacza z osnową polimerową (mączka pochodzenia naturalnego),
3. Formowanie gotowych produktów metodami: wtryskiwania, wytłaczania bądź prasowania.

Do otrzymywania wyrobów wielkogabarytowych stosuje się metodę wytłaczania z prasowaniem, co umożliwia wytworzenie wyrobów o masie od 20-50 kg i zawartości wzmocniacza w postaci mączki drzewnej od 50-60%. Do takich elementów można zaliczyć m.in. palety, donice czy na elementy do przemysłu samochodowego [29].

W celu uzyskania profili o wyglądzie powierzchni zbliżonym do naturalnego drewna, w linii produkcyjnej umieszczane są dodatkowe urządzenia, które dzięki specjalnie wyprofilowanym walcom nadają powierzchni pożądaną formę, wygląd nawet wraz ze słojami jakie występują w naturalnym drewnie [9, 57-59].

Własności wytworzonych materiałów WPC metodą wtryskiwania zależą od:

- przetworzonego tworzywa polimerowego (m.in. budowy i składu chemicznego polimeru, rodzaju zastosowanego materiału wzmocnienia, wilgotności, jednorodności, wielkości frakcji, udziału napelniacza, lepkości tworzywa),
- wtryskarki (rodzaju, wymiarów, stanu technicznego, wyposażenia),
- formy wtryskowej (m.in. konstrukcji i jakości wykonania układu doprowadzania mieszanki,

- sposobu regulacji temperatury, odpowietrzania, rodzaju materiału formy, stopnia zużycia),
- warunków wtryskiwania (temperatury wtryskiwania, temperatury i ciśnienia w formie, ciśnienia docisku, czasu wtryskiwania, dociski i chłodzenia wypraski itp.) [60-68].

LITERATURA

4. Lewandowski K., Piszczek K., Kaczmarek M., *Reologiczne własności kompozytów polimerowo-drzewnych*, Developments in Mechanical Engineering 2014, 4, 2, 5-12
5. Cyga R., Czaja K., *Kompozyty polimerowe z napelniaczem roślinnym*, Przemysł Chemiczny, 2008, 87/9, 932-936
6. Hyla I., Ślezionek J., *Kompozyty-elementy mechaniki I projektowania*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2004
7. Zajchowski S., Tomaszewska J., *Kompozyty polimerowo-drzewne*, Teka Kom. Bud. Eksp. Masz. Elektrotech. Bud.-OL PAN, 2008, 183-188
8. Chmielnicki B., Konieczny J., *Właściwości kompozytów WPC o osnowie polietylowej napelnianych mączką z łupin orzechów*, Przetwórstwo Tworzyw 1, 2014, 12-20
9. Chmielnicki B., Konieczny J., Flisiak J., *Kompozyty WPC-wytwarzanie, przetwórstwo i możliwości zastosowania*, Przetwórstwo Tworzyw 3, 2017, 172-184
10. Zajchowski S., Patuszyński K., *Wpływ zawartości wody na właściwości kompozytów polipropylowych napelnianych mączką drzewną (WPC)*, Kompozyty, 5, 3, 2005, 35-39
11. Kruszelnicka I., Ginter-Kramarczyk D., Michalkiewicz M., Kloziński A., Zajchowski S., Jakubowska P., Tomaszewska J., *Kompozyty polimerowo-drzewne w technologii zawieszoności złoża ruchomego*, Polimery 2014, 59, 10, 739-746
12. Chmielnicki B., Jurczyk S., *Kompozyty WPC jako alternatywa dla wytworów z drewna*, Przetwórstwo Tworzyw 5, 2013, 477-484
13. Frącz W., Janowski G., *Zaawansowana analiza wytrzymałościowa wypraski z kompozytu WPC z uwzględnieniem powtryskowej orientacji włókien w osnowie polimerowej*, Mechanik 7, 2016, 628-630
14. Łukasik Ł., Jankowski G., Kuciel Ś., Liber-Kneć A., *Kompozytowe profile wielokomorowe na osnowie poli-chloroku winylu z dodatkiem drewnianych trocin na tarasy i pomosty*, Polimery i Kompozyty Konstrukcyjne, 2011, 291-297
15. Wąsicki A., Kur M., Wolski M., *Wpływ starzenia atmosferycznego na niektóre właściwości folii z kompozytu polipropylen/mączka drzewna 50/50*, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 2014, 53, 2, 122-124

16. Prochoń M., Witczak M., Biernacka A., *Drewno jako składnik biokompozytów polimerowych*, Elikssir, 1,5, 2017, 24-26
17. Zajchowski S., Gozdecki C., Kociszewski M., *Badania właściwości fizycznych i mechanicznych kompozytów polimerowo-drzewnych (WPC)*, Kompozyty 5, 2005, 3, 45-50
18. Zajchowski S., Ryszkowska J., *Kompozyty polimerowo-drewno-charakterystyka ogólna oraz ich otrzymywanie z materiałów odpadowych*, Polimery 10, 2009, 54, 674-682
19. Sałasińska K., Ryszkowska J., *Stabilność wymiarowa, właściwości fizyczne, mechaniczne i cieplne kompozytów polietylenu dużej gęstości z łupinami orzecha ziemnego*, Polimery 2013, 58, 6, 461-466
20. Lewandowski K., Zajchowski S., Mirowski J., Kościuszko A., *Ocena właściwości przetwórczych kompozytów polimerowo-drzewnych na podstawie poli(chloroku winylu)*, Chemik 2011, 65, 4, 329-336
21. Lewandowski K., Zajchowski S., Tomaszewska J., *Wpływ temperatury na właściwości kompozytów PVC/drewno*, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 2010, 49, 5, 71-72
22. Dębski K., *Praca Dyplomowa Inżynierska, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej*, 2012
23. Lyutyty P., Bekhta P., Sedliacik J., Ortyńska G., *Properties of flat-pressed wood-polymer composites made using secondary polyethylene*, Acta Facultatis Xylologiae Zvolen, 2014, 56, 39-50
24. Gozdecki C., Kociszewski M., Zajchowski S., Mirowski J., *Badania kompozytów drewno-polimerowych zawierających odpadowy materiał drzewny z produkcji płyt wiórowych*, Inżynieria i Aparatura Chemiczna 2010, 49, 5, 41-42
25. Oszust M., Pieniak D., Blukacz M., Walczak A., *Badania wpływu dodatku antypirenu na wytrzymałość na ściskanie kompozytu WPC*, Autobusy 2014, 5, 100-103
26. Michalska-Požoga I., Rydzkowski T., *The effect of extrusion conditions for a screw-disk plasticizing system on the mechanical properties of wood-polymer composites (WPC)*, Polimery 2016, 61, 3, 202-210
27. Winandy J.E., Stark N.M., Clemons C.M., *Considerations in recycling of wood-plastic composites*, 5th Global Wood and Natural Fibre Composites Symposium, 2004, Germany A6-1 – A6-9
28. Burgstaller Ch., *Processing of thermal sensitive material-s-a case study for wood plastic composites*, Monatshefte für Chemie 2007, 138, 343-346
29. Zajchowski S., Grochowska A., Tomaszewska J., Mirowski J., Ryszkowska J., *Wpływ czynników środowiskowych na właściwości mechaniczne kompozytów polimerowo-drzewnych (WPC)*, Mechanika 2009, 3, 106, 401-404
30. Postawa P., Stachowiak T., Szarek A., *Badania właściwości kompozytów drewno-polimer metodą DMTA*, Kompozyty, 2010, 3, 266-269 to samo co 15
31. Gozdecki C., Zajchowski S., Kociszewski M., Wilczyński A., Mirowski J., *Effect of wood particle size on mechanical properties of industrial wood particle-polyethylene composites*, Polimery 2011, 56, 5, 375-380
32. Kuciel S., Liber A., *Ocena skuteczności wzmacniania polietylenów mączką drzewną*, Polimery 2005, 50, 6, 436-440
33. Rudawska A., Zajchowski S., *Swobodna energia powierzchniowa kompozytów polimerowo-drzewnych*, Polimery 2007, 52, 6, 453-455
34. Ibach R. E., Clemons C. M., Schumann R. L., *Wood-plastic composites with reduced moisture: effects of chemical modification on durability in the laboratory and field*, 9th International Conference on Wood & Biofiber Plastic Composites 2007, 259-266
35. Clemons C. M., Ibach R. E., *Effects of processing method and moisture history on laboratory fungal resistance of wood-HDPE composites*, Forest Products Journal 2004, 54, 4, 50-57
36. Buehlmann U., Saloni D., Lemaster R.L., *Wood Fiber-Plastic Composites, Machining and Surface Quality*, Materiały konferencyjne 15th International Wood Machining Seminar Anaheim CA, 2001
37. Ziąbka M., Szaraniec B., *Kompozyty polimerowe z dodatkiem włókien naturalnych*, Kompozyty 10, 2, 2010, 138-142
38. Clemons C., *Woodfiber-plastic composites in the United States – history and current and future markets*; Materiały USDA Forest Service, Forest Products Laboratory Madison, 2001
39. Niska K.O., Sain M., *Wood-polymer composites*, Woodhead publishing in materials, 2008
40. Kuciel S., Liber-Kneć A., Zajchowski S., *Wpływ biodegradacji na właściwości kompozytów na podstawie termoplastycznej skrobi napełnionej włóknami kenafu lub mączki drzewnej*, Mechanika 2009, 3, 106, 195-200
41. Tarkowska D., Tarkowski Z., *Właściwości przetwórcze kompozytów polipropylenowych z napełniaczem w postaci rozdrobnionej słomy ryżowej*, Przetwórstwo Tworzyw 2014, 6, 572-576
42. English B., Falk R., *Factors that affect the application of Woodfiber – Plastic Composites*, Forest Products Society, 7, 1996, 189-194
43. English B., *Wood fiber-reinforced plastics in construction*, Materiały konferencyjne Building Technology, and Environmental Medison WI, 1996
44. Kuciel S., Liber-Kneć A., Zajchowski S., *Kompozyty z włóknami naturalnymi na podstawie recyklatu polipropylenu*, Polimery 2010, 55, 10, 718-725
45. Kuciel S., Liber-Kneć A., Zajchowski S., *Wpływ temperatury na zmianę właściwości kompozytów PP z włóknami naturalnymi*, Mechanika 2009, 3, 106, 201-204

46. Dziadur W., Kuciel S., Tabor A., *Wpływ ilości dodatków mączki drzewnej na mikrostrukturę recyklatu polietylenu*, *Archiwum Odlewnictwa*, 2006, 21 (2/2), 275-282
47. Mohanty A. K., Misra M., Drzal L.T., *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*, CRC Press, 2005
48. Sommerhuber P.F., Welling J., Krause A., *Substitution potentials of recycled HDPE and wood particles from post-consumer packaging waste in Wood-Plastic Composites*, *Waste Management*, 2015, 46, 76-85
49. Olakanmi E., Strydom M., *Critical materials and processing challenges affecting the interface and functional performance of wood polymer composites*, *Materials Chemistry and Physics*, 2016, 290-302
50. Sobków D., Barton J., Czaja K., Sudół M., Mozoń., *Badania odporności materiałów na działanie czynników środowiska naturalnego*, *Chemik* 2014, 4, 68, 347-350
51. Burgstaller C., *Processing of Thermal Sensitive Materials Case Study for Wood Plastic Composites*, *Monatshefte für Chemie* 138, 2007
52. El-Haggar, Salah M., Mokhtar A., *Advances in Composite Materials – Analysis of Natural and Man-Made Materials*, Wydawnictwo Intech Open, 2011
53. Lewandowski K., Zajchowski S., Skórczewska K., Mirowski J., Majchrowicz B., *Reologiczne właściwości kompozytów polietylenu z napelniaczami naturalnymi*, *Polimery i Kompozyty Konstrukcyjne*, Gliwice, 2011, 285-290
54. Zajchowski S., *Kompozyty Polimerowo-drzewne*, *Chemik*, 2004, 1, 15-18
55. Balasuriya P.W., Ye L., Mai Y.W., *Mechanical properties of wood flake-polyethylene composites. Part I: effects of processing methods and matrix melt flow behaviour*, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 32, 5, 619-629
56. Kuan C.F., Kuan H.C., Ma C.M., Huang C., *Mechanical, thermal and morphological properties of water-crosslinked wood flour reinforced linear low-density polyethylene composites*, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37, 10, 2006, 1696-1707
57. McHenry E., Stachurski Z.H., *Composite materials based on wood and nylon fibre*, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 34, 2, 2003, 171-181
58. Błędzki A.K., Letman M., i inni, *A comparison of compounding processes and wood type for wood fibre – PP composites*, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing Volume 36*, 6, 2005, 789-797
59. Błędzki A.K., Letman M., i inni, *Wood and Natural Fibre Composites*, Institut für Wekstofftechnik Kunststoff – und Recyclingtechnik, Kassel, 2005
60. Wang W., Morrell J., *Water sorption characteristics of two wood-plastic composites*, *Forest Products Journal*, 12, 54, 2004
61. Stark N., *Wood fiber derived from scrap pallets used in polypropylene composites*, *Forest Products Journal*, 6, 49, 1999
62. Clemons C., *Wood-plastic composites in the United States, The interfacing of two industries*, *Forest Products Journal* 6, 52, 2002, 10-18
63. Kwiatkowski D., *Wpływ wybranych warunków wtryskiwania na odporność na pękanie kompozytu polipropylenu z talkiem*, *Polimery* 2009, 54, 3, 221-226
64. Baciąga E., *Kryteria wyboru metody wtryskiwania*, *Polimery* 2007, 52, 172-180
65. Majchrzak Z., Lipczyński J., *Otrzymywanie i charakterystyka kompozytów polipropylenowych*, *Polimery* 2007, 52, 3, 190-194
66. Kowalska B., *Skurcz wtryskowy a zależność p-v-T*, *Polimery* 2007, 52, 280-285
67. Sterzyński T., Śledź I., *Jednopolimerowe kompozyty polipropylenowe – wytwarzanie, struktura, właściwości*, *Polimery* 2007, 52, 221-226
68. Jachowicz T., Sikora R., *Metody prognozowania zmian właściwości wytworów z tworzyw polimerowych*, *Polimery* 2006, 51, 177-185
69. Baciąga E., Jaruga T., *Badania mikroskopowe przepływu tworzywa w kanałach 16-gniazdowej formy wtryskowej*, *Polimery* 2006, 51, 843-851
70. Postawa P., *Skurcz przetwórczy wyprasek a warunki wtryskiwania*, *Polimery* 2005, 50, 201-207
71. Sikora R., Baciąga E., *Wybrane zagadnienia przepływu tworzywa w formie wtryskowej*, *Polimery* 2003, 48, 100-105

Data wpłynięcia artykułu do redakcji: 10-11-2018

Data akceptacji publikacji do druku: 05-12-2018