

ANDRZEJ C. ŻOŁNOWSKI

Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie,
e-mail: andrzej.zolnowski@uwm.edu.pl

PRODUKCJA MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH (WPC) JAKO CZYNNIK SPRZYJAJĄCY RETARDACJI PRZEKSZTAŁCANIA ZASOBÓW PRZYRODY

W pracy przedstawiono problematykę produkcji materiałów kompozytowych z odpadowych tworzyw sztucznych z wypełnieniem organicznym. W świetle stale rosnącej konsumpcji tworzyw sztucznych rośnie wielkość zużycia surowców, w tym głównie ropy naftowej. Jednocześnie wzrasta masa odpadów tworzywowych poprodukcyjnych, jak i tych, które znajdują się w strumieniu odpadów komunalnych, zbieranych zarówno w sposób selektywny jak i zmieszanych. Odpady te mogą być zagospodarowane jako materiały pozwalające chronić zasoby naturalne (ropę naftową, drewno jak i minerały kopalne). W pracy skupiono się na możliwościach przerobu odpadów z tworzyw sztucznych na granulaty „wood plastics composite” (WPC). Na podstawie dostępnych danych oceniono potencjał Warmii i Mazur, pod względem dostępności odpadów z tworzyw sztucznych oraz odpadów z przemysłu drzewnego. Na tej podstawie stworzono uproszczony projekt inwestycyjny, którego zadaniem była ocena opłacalności produkcji materiału kompozytowego. Oprócz oceny finansowej dokonano także szacunku zasobów, które w świetle projektowanej inwestycji, mogłyby być ochronione.

Słowa kluczowe: kompozyt, WPC, tworzywa sztuczne, recykling, odpady

I. WSTĘP

Od stosunkowo niedługiego czasu ludzkość cieszy się dobrodziejstwem produkcji i użytkowania tworzyw sztucznych. Początek ery plastiku można powiązać z rokiem 1860, w którym Nowojorska firma Phelan & Collander w obliczu kurczących się zasobów kości słoniowej ogłosiła konkurs z nagrodą w wysokości 10 000 \$ dla każdego, kto byłby w stanie wykonać kule bilardowe przy użyciu innego materiału. Zwycięzcą został John Hyatt, któremu udało się stworzyć celuloid poprzez rozpuszczenie celulozy w kamforze i etanolu [McCord 1964, Pratheesh Kumar i in. 2023]. Drugim pionierem badań nad tworzywami sztucznymi był Leo Baekeland, który w 1907 r. stworzył bakelit jako substytut szelaku używanego jako izolator dla kabli [Rasmussen 2018]. Dzisiaj funkcjonuje szereg rodzajów tworzyw sztucznych, które można przypisać do grup, charakteryzujących się dużą różnorodnością i odmiennością właściwości. Dzięki zróżnicowanym cechom, zarówno pod względem budowy, wytrzymałości mechanicznej i chemicznej, możliwości uplastyczniania bądź nie, znalazły one zastosowanie w bardzo wielu dziedzinach [Dennis 2024]. Tworzywa sztuczne występują w szeroko pojętym, codziennym życiu każdego człowieka jako rzeczy prawie niezbędne. Stały się one materiałami

konstrukcyjnymi lub materiałami specjalnego zastosowania [Namazi 2017]. Światowa wielkość produkcji tworzyw sztucznych systematycznie rośnie i w 2022 roku wyniosła 400,3 Mt, z czego w Europie wyprodukowano 62,3 Mt tego surowca [PlasticsEurope 2023]. W ostatnich latach odnotowuje się fakt, że wielkość handlu tworzywami sztucznymi na światowych czy europejskich rynkach znacznie przeważa nad handlem metalami [Saechtling 2007]. Tworzywa sztuczne, to materiały, które zbudowane są z polimerów, czyli wielkocząsteczkowych związków chemicznych otrzymywanych w przemysłowych procesach polimeryzacji zwanych ogólnie polireakcjami [Borkowski 2015]. Tworzywa sztuczne są produkowane w procesie krakingu ropy naftowej [Yoshimura i in. 2001], a jej wykorzystanie, tylko do produkcji tworzyw opakowaniowych (jednorazowych) w skali świata wynosi 3 mln baryłek dziennie [Wolff 2021]. Materiały syntetyczne, posiadają bardzo złożoną budowę oraz mniej lub bardziej rozbudowaną strukturę. Opisuje się je jako materiały o dużej możliwości modyfikacji i skomplikowanym zachowaniu w przetwórstwie, co wiąże się z ich wielostronnym zastosowaniem [Saechtling 2007]. Dzięki swym właściwościom zużyte lub wykorzystane tworzywa sztuczne, określane jako odpady, mogą być wtórnie przerabiane, co staje się szczególnie istotne w dobie przechodzenia na gospodarkę o obiegu zamkniętym (Circular Economy) [PlasticsEurope 2024]. Tworzywa sztuczne, dzięki swoim właściwościom mogą podlegać różnym rodzajom przetwarzania. Dzieli się ono na przetwarzanie pierwotne i wtórne, które, w odniesieniu do odpadowych tworzyw sztucznych uważane jest za energooszczędne i niezwykle wydajne. Przetwarzanie pierwotne to proces, w którym odpady nie zyskują nowego zastosowania, ale w całości są wykorzystywane po raz kolejny w tej samej dziedzinie [Dorobek i Bursztyński 2014]. Przetwarzanie wtórne to inaczej produkcja polegająca na wykorzystaniu półproduktów. W przetwarzaniu wtórnym stosuje się najczęściej tworzywa termoplastyczne [Broniewski i in. 2000]. Procesy przetwórstwa wtórnego charakteryzują się dobrym wykorzystaniem surowca jak i małą liczbą procesów. Działania takie jak wulkanizacja albo utwardzanie, czyli inaczej nadanie kształtu lub przetwórstwo, przebiegają równolegle. Saechtling [2007] zwraca uwagę na tworzywa termoplastyczne jako posiadające cechy dogodne do poddania recyklingowi ze względu na możliwość wpływania na warunki całego procesu przetwórstwa. Wśród produktów powstających w wyniku przetwarzania wtórnego znajdują się również takie, które w swoim składzie zawierają tworzywo sztuczne oraz wypełnienie innego rodzaju. Wypełnienie to może być materiałem mineralnym, metalicznym lub naturalnym. Ogólnie produkty takie nazywane są kompozytami, a te, które powstały z wykorzystaniem wypełniacza naturalnego zywane są polimerami NFPC (natural fiber-polymer composites). Wśród nich znalazły się także materiały kompozytowe WPC, które są grupą produktów zawierającą w swoim składzie drewno (mączkę drzewną), polimery termoplastyczne oraz niewielkie ilości dodatków jakimi są kompatybilizatory i inne substancje, które pozwalają dostosować właściwości WPC do jego przeznaczenia, obejmujące m.in. środki spieniające do produkcji spienionego WPC, biocydy, pigmenty do barwienia WPC, stabilizatory UV, środki zmniejszające palność i środki smarne jako środki wspomagające przetwarzanie [Ashori 2008]. Materiały WPC stanowią bardzo ciekawe rozwiązanie, które jest jedną z alternatywnych dróg zagospodarowania odpadów z tworzyw sztucznych. Wielkość odpadów generowanych z obszaru miast, gmin oraz pojedynczych miejscowości jest bardzo zróżnicowana i zależy od charakteru gminy, miasta, wielkości produkcji zlokalizowanej na tym obszarze, liczby mieszkańców itp. Według danych GUS [2023] w Polsce masa zbieranych selektywnie odpadów wynosi średniorocznie około 142 kg na jednego mieszkańca, w tym:

- odpadów biodegradowalnych – 51 kg/rok,
- zmieszanych odpadów opakowaniowych – 15 kg/rok,

- odpadów wielkogabarytowych – 17 kg/rok,
 - szkła – 21 kg/rok,
 - tworzyw sztucznych – 14 kg/rok,
 - papieru i tektury – 15 kg/rok. Ilości te różnią się w zależności od miejsca zbiórki.
- W miastach oraz na obszarach wiejskich masa zebranych selektywnie odpadów wynosi średnio – 156 i 121 kg na jednego mieszkańca. W oparciu o cytowaną literaturę można sądzić, że produkcja materiałów WPC mogłaby w sposób istotny wpisać się w gospodarkę cyrkularną przedsiębiorstw funkcjonujących lokalnie na terenie gmin, powiatów, województw lub regionów.

Celem pracy jest przedstawienie zasobności przykładowego regionu jakim są Warmia i Mazury w odpadowe tworzywa sztuczne oraz pokazanie propozycji ich wykorzystania do produkcji kompozytu WPC z wykorzystaniem odpadów z przemysłu drzewnego. Wraz z oceną finansową przedsięwzięcia dokonano też szacunku wielkości zasobów środowiska, które w świetle projektowanej inwestycji, mogłyby być ochronione.

II. MATERIAŁY I METODY

Zakładana w niniejszej pracy koncepcja zagospodarowania odpadów tworzywowych oparta jest na ocenie realnego strumienia komponentów, które mogą być wykorzystane w produkcji granulatu WPC. Od wielkości tego strumienia zależy wielkość produkcji granulatu, a ta z kolei wymusza dobór odpowiedniej maszyny (wyłaczarki). W tym celu, analizowano informacje zawarte w Banku Danych Lokalnych, zarządzanym przez Główny Urząd Statystyczny [BDL 2024]. Według Grzybowskiego [2012] odpady poliolefinowe, czyli polipropylen i polietylen, które w założeniu projektu mają być wykorzystywane do produkcji WPC, w strumieniu odpadów zajmują średnio 7%. W pracy od początku zakładano, że powiatem docelowym będzie powiat Giżycki. Informacje pochodzące z BDL GUS (tabela 1) wskazują, że masa odpadowych tworzyw sztucznych, np. w 2023 roku w tym powiecie wyniosła tylko 65,4 t/rok. Wobec powyższego masa odpadów poliolefinowych, którą można dysponować wyniosłaby tylko 4,6 t/rok, co w przeliczeniu na 1 miesiąc daje jedynie 0,4 t.

Z powyższych obliczeń wynika, że masa odzyskanego polietylenu i/lub polipropyleny jest zbyt mała by uruchomić produkcję materiału kompozytowego WPC. W związku z tym w celu pozyskania większej masy odpadowych tworzyw sztucznych rozszerzono obszar badań do powierzchni województwa warmińsko-mazurskiego. Jak wskazuje tabela 1 odpady wygenerowane w województwie pozwoliłyby na uruchomienie produkcji granulatu WPC w ilości około 333 t WPC/miesiąc, zakładając udział poliolefin w granulacie na poziomie 50%.

W regionie działalność gospodarczą prowadzi spora liczba tartaków. Po przeprowadzaniu rozmów z kilkoma właścicielami ustalono, że odpady z przeróbki drewna powstające w tych tartakach są generalnie sprzedawane do nabywców indywidualnych zazwyczaj w celach opałowych w cenie od 80 do 200 PLN/m³. Zakup tego surowca w ilościach odpowiadających mieszance, która byłaby sporządzona w oparciu o proporcje 50:50, w odniesieniu do posiadanej masy tworzyw sztucznych, którymi dysponuje województwo, znaczne podwyższyłoby koszt produkcji granulatu WPC. Rozwiązaniem problemu pokrycia zapotrzebowania na tak dużą ilość mączki drzewnej może być nawiązanie współpracy z firmą EGGER Biskupiec Sp. z o.o. zajmującej się przetwórstwem drewna do produkcji płyt wiórowych oraz blatów meblarskich. Z informacji otrzymanych od jej przedstawiciela wynika, że masa odpadów drzewnych generowanych przez EGGER Biskupiec wystarczyłaby do produkcji około 50 t granulatu WPC co miesiąc. Firma jest w stanie zapewnić 25 t mączki drzewnej miesięcznie.

Bazując na powyższych danych zaproponowano technologię wytwarzania kompozytu WPC z odpadowego polietylenu (PE) i/lub polipropylenu (PP) z udziałem komponentu jakim jest mączka drzewna.

Tabela 1 - Table 1

Szacunkowa wielkość produkcji odpadów poliolefinowych w powiatach województwa i województwie warmińsko-mazurskim w 2023 roku [GUS BDL 2024] / *Estimated production volume of polyolefin waste in the counties of the Warmian-Masurian Voivodeship in 2023 [GUS BDL 2024]*

Analizowany obszar <i>Analyzed area</i>	Masa odpadowych tworzyw sztucznych zebranych selektywnie [t/rok] / <i>Mass of waste plastics collected selectively [t/year]</i>	Szacunkowa masa odpadów poliolefinowych (PP i PE) 7% z kol. 2 [t/rok] / <i>Estimated mass of polyolefin waste (PP and PE) 7% from col. 2 [t/year]</i>	Poliolefiny (PE i PP) miesięcznie [t/m-c] / <i>Polyolefins (PE and PP) monthly [t/month]</i>
1	2	3	4
Powiat bartoszycki	1029,5	72,1	6,0
Powiat braniewski	869,3	60,9	5,1
Powiat działdowski	1521,7	106,5	8,9
Powiat elbląski	1583,5	110,8	9,2
Powiat ełcki	14,3	1,0	0,1
Powiat giżycki	65,4	4,6	0,4
Powiat iławski	2668,4	186,8	15,6
Powiat kętrzyński	615,4	43,1	3,6
Powiat lidzbarski	938,7	65,7	5,5
Powiat mrągowski	1162,5	81,4	6,8
Powiat nidzicki	658,2	46,1	3,8
Powiat nowomiejski	1149,7	80,5	6,7
Powiat olecki	30,2	2,1	0,2
Powiat olsztyński	3562,2	249,4	20,8
Powiat ostródzki	3627,6	253,9	21,2
Powiat piski	980,7	68,6	5,7
Powiat szczycieński	1789,7	125,3	10,4
Powiat gołdapski	17,6	1,2	0,1
Powiat węgorzewski	b.d.	b.d.	b.d.
Elbląg *	2295,3	160,7	13,4
Olsztyn *	4005,0	280,3	23,4
woj. warmińsko-mazurskie	28584,8	2000,9	166,7

* miasto na prawach powiatu / * a city with county rights, b.d. – brak danych / no data

W prezentowanym założeniu uwzględniono maszyny używane, które znajdują się na rynku wtórnym. Jedną z takich możliwości jest zakup linii technologicznej z granulatorem SJMS65/132PP PE PVC WPC (Qingdao Hegu WPC Machinery Co., LTD) (rys. 1 i 2), której obecna cena wynosi 60,9 tys. USD (<https://www.wpcline.com>). Takie rozwiązanie jest o wiele atrakcyjniejsze od urządzeń nowych, których ceny wynoszą powyżej 100 tys. EUR. Głównymi elementami zestawu są wyciarkarka dwuślimakowa śrubowa, młyny rozdrabniające, mieszalnik oraz podajniki tworzywa i mączki. Proponowana linia technologiczna charakteryzuje się wydajnością 150-200 kg granulatu/h. W skład całego zestawu urządzeń wchodzi również

podajnik do urządzenia krojącego. Zaletą urządzenia jest fakt, iż posiada system chłodzenia za pomocą dmuchaw i wiatraków więc w porównaniu do urządzeń innych firm, nie wymaga zużycia wody procesowej, co redukuje koszty całej produkcji.



Źródło/ Source: <https://www.wpcline.com>

Rys. 1. Granulator SJMS65/132PP PE PVC WPC – na pierwszym planie zasobnik mączki drzewnej
Fig. 1. SJMS65/132PP PE PVC WPC granulator - wood flour hopper in the foreground



Źródło/ Source: <https://www.wpcline.com>

Rys. 2. Granulator SJMS65/132PP PE PVC WPC – z lewej lej zsypany granulat, z prawej gotowy granulat
Fig. 2. SJMS65/132PP PE PVC WPC granulator – granulate hopper on the left, finished granulate on the right

III. WYNIKI I DYSKUSJA

Minimalna wydajność proponowanej linii granulatora SJMS65/132PP PE PVC WPC (150-200 kg granulatu/h) przy ciągłej pracy pozwala na produkcję 108 t granulatu WPC/m-c. Województwo warmińsko-mazurskie generuje odpady poliolefinowe w ilości 166,7 t/m-c (tab. 1), pozwalające na produkcję 333 t WPC/m-c. Zastosowana technologia pozwoli więc na zagospodarowanie od około 33% do 45% odpadów poliolefinowych (PP i PE) pochodzących z obszaru województwa. W tym układzie będzie trzeba pokryć koszt zakupu mączki drzewnej, gdyż potencjał f-my EGGER Biskupiec (25 t mączki/m-c) pozwala na produkcję 50 t granulatu WPC/miesiąc. Z powyższego wynika, że niedobór mączki przy produkcji 108 t granulatu wyniesie około 29 t.

III.1. Eksploatacja

1. Produkcja dzienna granulatu: $150 \text{ kg/h} \times 24\text{h} = 3600 \text{ kg}$
2. Produkcja miesięczna granulatu: $3,6 \text{ t} \times 30 \text{ dni} = 108 \text{ t}$
3. Zapotrzebowanie miesięczne na surowce: granulator SHMS60 WPC ma możliwość przerobu mieszanek z udziałem od 30 do 60% mączki drzewnej z wydajnością 108 t/m-c. Do dalszych obliczeń przyjęto udział tworzywa na poziomie 47%, mączki drzewnej 50%, kompatybilizatora 3% [Zajchowski i Ryszkowska 2009]
4. zapotrzebowanie na tworzywo (PP/PE): 50,76 t/m-c
5. zapotrzebowanie na mączkę drzewną: $54 \text{ t/m-c} - 25 \text{ t/m-c}$ przekaze f-ma EGGER = 29 t/m-c.
6. zapotrzebowanie na kompatybilizator: przyjmuje się, że udział kompatybilizatora musi stanowić ok. 3% całej masy surowców, czyli $= 108 \text{ t} \times 0,03 = 3,24 \text{ t} = 3240 \text{ kg/m-c}$.

III.2. Koszty związane z uruchomieniem produkcji

1. Koszt zakupu: granulator SHMS60 WPC: $60900 \text{ USD} \times 3,87 \text{ PLN}$ (cena USD na dzień 28. 09. 2024 r.) = **235683,00 PLN** Źródło informacji: Korespondencja z Firmą QINGDAO HEGU WOOD PLASTIC MACHINERY CO., LTD.
2. Koszty frachtu: $3500\text{-}4000 \text{ USD} \times 3,87 = 13545\text{-}15480 \text{ PLN}$ (do dalszych obliczeń przyjęto wartość **15480 PLN**) Źródło informacji: Korespondencja z Firmą GoCargo Transport i Spedycja Morska
3. Koszt instalacji:
 - a) wynagrodzenia inżyniera serwisu: 1 pracownik $\times (150 \text{ USD} \times 3,87 \text{ PLN}$ (cena USD na dzień 28. 09. 2024 r.) $\times 10 \text{ dni} =$ **5775,00 PLN**
Źródło informacji: Korespondencja z Firmą QINGDAO HEGU WOOD PLASTIC MACHINERY CO., LTD.
 - b) zapewnienie wyżywienia i noclegu inżyniera serwisu (10 dni) – Warmiński Hotel & Conference Olsztyn – **3500,00 PLN** Źródło informacji: <https://www.booking.com/>
 - c) koszt przelotu inżyniera serwisu: bilety lotnicze relacji Quingdao – Warszawa oraz Warszawa – Quingdao (Klasa ekonomiczna) – **5011,00 PLN**
Źródło informacji: <https://www.skyscanner.pl/>

Całkowity koszt instalacji: $5775,00 \text{ PLN} + 3500,00 \text{ PLN} + 5011,00 \text{ PLN} =$ **22549 PLN**

Całkowity koszt uruchomienia produkcji wyniósłby w takim razie 265449,00 PLN

III.3. Podstawowe koszty ponoszone w kolejnych miesiącach od uruchomienia produkcji:

1. Koszt wynagrodzenia pracowników zatrudnionych na pełen etat, w systemie 3 zmianowym,
po 4 pracowników na zmianie: Liczba pracowników: 12
Koszt wynagrodzeń przy stawce minimalnej 4300 PLN brutto [Dz.U. 2023] = 5180,64 PLN (łącznie koszt pracodawcy) $\times 12$ pracowników = **62167,68 PLN/m-c**
Źródło informacji: <https://wynagrodzenia.pl/kalkulator-wynagrodzen/wyniki>
2. Koszt wynajęcia hali produkcyjnej 250 m^2 : **4900,00 PLN/m-c**
Źródło informacji: www.olx.pl
3. Koszty zakupu suchej mączki drzewnej: $29 \text{ t/m-c} \times 1,20 \text{ PLN/kg} =$ **34800,00 PLN/m-c**
Źródło informacji: Korespondencja z Firmą Compositive
4. Koszt zakupu kompatybilizatora: $3240 \text{ kg} : 25 \text{ kg/worek} = 130 \text{ worków} \times 4,46 \text{ USD/worek} = 579,8 \text{ USD} \times 3,87 \text{ PLN/USD} =$ **2243,82 PLN/m-c**
Cena kompatybilizatora Arkema Orevac CA100: 4,46 USD/25kg
Źródło informacji: <https://www.yoycart.com/Product/570798702261/>

5. Miesięczny koszt energii elektrycznej: $37 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 888 \text{ kWh/dzień}$
 $888 \text{ kWh} \times 30 \text{ dni} = 26640 \text{ kWh/m-c}$
 $26640 \text{ kWh} \times 1,29 \text{ PLN}$ (średnia cena PLN/kWh wraz z opłatą dystrybucyjną) =
34365,60 PLN/m-c Źródło informacji: <https://optimalenergy.pl/cena-pradu/>
6. Inne koszty:
Amortyzacja urządzeń (20%)
Koszty amortyzacji miesięcznej: 47136 PLN: 12 m-cy = **3928 PLN**

Razem koszty podstawowe ponoszone co miesiąc: 142405,16 PLN

III.4. Uproszczony bilans finansowy:

Przychody ze sprzedaży granulatu:

Cena rynkowa granulatu: 900-1500 USD/t (do dalszych obliczeń przyjęto cenę: 900 USD/t)

Źródło informacji: https://www.alibaba.com/product-detail/Pvc-granule-pellets-WPC-filler-masterbatch_60837847486.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_price.113913a0yJDgXR

Produkcja: $108 \text{ t/m-c} \times 900 \text{ USD/t} \times 3,87 \text{ PLN} = \mathbf{376164,00 \text{ PLN}}$

Bilans:

W pierwszym miesiącu:

376164,00 PLN (przychód)	265449,00 PLN (koszt zakupu maszyn i instalacji)
142405,16 PLN (koszty ponoszone co miesiąc)	= 91353,69 PLN

W kolejnych miesiącach:

376164,00 PLN (przychód)	142405,16 PLN (koszty ponoszone co miesiąc)
= 233758,84 PLN	

III.5. Korzyści środowiskowe

Przedstawione rozwiązanie pozwoli na:

- zagospodarowanie około 33% odpadów tworzywowych wytworzonych z polipropylenu i polietylenu w województwa warmińsko-mazurskiego, co stanowi 609,12 t odpadowego PP i PE rocznie.
- retardację wydobycia ropy naftowej. Według Fundacji PlasticsEurope [Tworzywa 2013] 1 t tworzyw sztucznych stanowi równowartość 12,94 baryłek ropy naftowej. Można zatem szacować, że w przedstawionym projekcie zagospodarowanie 609,12 t odpadowego PP/PE wiąże się z oszczędnością 7882 baryłek ropy naftowej (1 mln 253,4 tys litrów), co przy obecnych cenach (74,81 USD/baryłka) [Money.pl 2024], stanowi około 589,6 tys. USD.
- zagospodarowanie 648 t mączki drzewnej rocznie. Przy założeniu, że masa 1 m³ drewna sosnowego to około 650 kg/m³, [Paktainer 2024] można sądzić, że jest to równowartość około 997 m³ drewna sosnowego. Taką ilość drewna potencjalny inwestor jest w stanie zaoszczędzić produkując z kompozytu WPC profile okienne, drzwi, ramy, deski elewacyjne lub podłogowe. Według GUS [2023] średnia zasobność grubizny dla drzewostanów sosnowych w Polsce wynosi 303,1 m³. Zagospodarowana mączka drzewna przyczynić się więc może do retardacji wycięcia lasu sosnowego z powierzchni około 3,3 ha rocznie.

IV. PODSUMOWANIE

Przedstawiony bilans jest bardzo uproszczony, nie zawiera kosztów związanych z zatrudnieniem księgowej, wynagrodzenia kierownictwa firmy, podatku od towarów i usług oraz

wynajmu (leasingu samochodów służbowych), a także kosztów związanych z transportem towarów i surowców. Niemniej jednak obserwując szacowany wynik finansowy można sądzić, że zakład zajmujący się zagospodarowaniem odpadów polimerowych i drzewnych oraz ich przerobem na WPC w warunkach województwa warmińsko-mazurskiego ma szanse powodzenia. Funkcjonowanie takiego zakładu pozwoliłoby na zagospodarowania około 33% odpadów tworzywowych z polipropylenu i polietylenu w skali województwa, przez co relatywnie przyczyniłoby się do retardacji wydobywania i przerobu ropy naftowej, a także ograniczyłoby pozyskiwanie surowca drzewnego do produkcji asortymentu zastępowanego produktami WPC.

BIBLIOGRAFIA

1. Ashori A. 2008. Wood–plastic composites as promising green-composites for automotive industries! *Bioresource Technology*. 99. 4661-4667. doi: 10.1016/j.biortech.2007.09.043.
2. Borkowski K. 2015. Przemysł tworzyw sztucznych – materiałów XXI wieku. *Mechanik*. 4. 278-282.
3. Broniewski T., Kapko J., Płaczek W., Thomalla J. 2000. Metody badań i ocena własności tworzyw sztucznych. WNT. Warszawa.
4. Dennis L. 2024. A brief history of the use of plastics. *Cambridge Prisms: Plastics*. 2. e19. 1-7. doi: 10.1017/plc.2024.17.
5. Dorobek S., Bursztyński A. 2014. Recykling surowców w Polsce - ewolucja i rozwiązania logistyczne. *Logistyka*. 6. 526-541.
6. Dz.U. 2023 poz. 1893 Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 14 września 2023 r. w sprawie wysokości minimalnego wynagrodzenia za pracę oraz wysokości minimalnej stawki godzinowej w 2024 r. [dok. elektr. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20230001893/O/D20231893.pdf>. data wejścia 26.06. 2024].
7. Grzybowski P. 2012. Przetwarzanie odpadów poliolefinowych na produkty paliwowe. *Chemik*. 66(7). 725-734.
8. GUS 2023. Odpady komunalne [w:] *Ochrona środowiska 2023*. Główny Urząd Statystyczny Warszawa. 153-160. [dok. elektr. https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5484/1/24/1/ochrona_srodowiska_2023_korekta_gugik.pdf. data wejścia 28.09.2024].
9. GUS 2023. Zasoby leśne [w:] *Rocznik Statystyczny Leśnictwa*. Główny Urząd Statystyczny Warszawa, Urząd Statystyczny w Białymstoku: tabl. 15. 33-75. [dok. elektr. https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5515/13/6/1/rocznik_statystyczny_lesnictwa_2023.pdf. data wejścia 28.09.2024].
10. GUS BDL 2024. K9 – stan i ochrona środowiska, G223 – Odpady komunalne, P2175 – Odpady zebrane selektywnie w ciągu roku – tworzywa sztuczne. [dok. elektr. <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/podgrup/tablica>. data wejścia 29.09.2024].
11. McCord C. 1964. Celluloid: The First American Plastic–The World's First Commercially Successful Plastic. *Journal of Occupational Medicine*. 6(11). 452-457.
12. Money.pl 2024. Ropa brent. [dok. elektr. <https://www.money.pl/gielda/surowce/dane,ropa.html>. data wejścia 24.09.2024].
13. Namazi H. 2017. Polymers in our daily life. *Bioimpacts*. 7(2). 73-74. doi: 10.15171/bi.2017.09.
14. Paktainer 2024. Orientacyjna gęstość (kg/m³) i objętość właściwa (m³/t) niektórych materiałów. [dok. elektr. https://www.paktainer.com.pl/wp-content/uploads/2017/03/ciezary_nasytowe.pdf. data wejścia 24.09.2024].
15. PlasticsEurope 2023. *Plastics – the fast Facts 2023*. [dok. elektr. <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2023/10/Plasticsthefastfacts2023-1.pdf>. data wejścia 29.09.2024].

16. PlasticsEurope 2024. The Circular Economy for Plastics. A European Analysis 2024: 112. [dok. elektr. https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2024/05/Circular_Economy_report_Digital_light_FINAL.pdf. data wejścia 29.09.2024].
17. Pratheesh Kumar S., Dinesh R., Balaganesh S., Vijayakumar V. 2023. Evolution, revolution and future of plastics for an eco-friendly environment [w] Gupta R., Deshmukh D., Patil A.P., Shrivastava N.K., Giri J., Chadge, R.B. (red.) Recent Advances in Material, Manufacturing, and Machine Learning: Proceedings of 1st International Conference (RAMMML-22). 1 (1st ed.). CRC Press. doi: 10.1201/9781003358596.
18. Rasmussen S.C. 2018. Revisiting the Early History of Synthetic Polymers: Critiques and New Insights. *Ambix*. 65(4). 356-372. doi:10.1080/00026980.2018.1512775.
19. Saechtling H. 2000. Tworzywa sztuczne: poradnik. Wydanie 5. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa. ss. 1032.
20. Tworzywa 2013. Każdy plastikowy odpad ma wartość. Pozwól ją odzyskać. [dok. elektr. <http://tworzywa.com.pl/Wiadomo%C5%9Bci/Ka%C5%BCdy-plastikowy-odpad-ma-warto%C5%9B%C4%87-Pozw%C3%B3l-j%C4%85-odzyska%C4%87-58921.html>. data wejścia 24.09.2024].
21. Wolff E.H. 2021. The Impact of Chemicals Demand and Plastics Recycling on Future Crude Oil Demand. [dok. elektr. <https://www.linkedin.com/pulse/impact-chemicals-demand-plastics-recycling-future-crude-wolff/>. data wejścia 24.09.2024].
22. Yoshimura Y., Kijima N., Hayakawa T., Murata K., Suzuki K., Mizukami F., Matano K., Konishi T., Oikawa T., Saito M., Shiojima T., Shiozawa K., Wakui K., Sawada G., Sato K., Matsuo S., Yamaoka N. 2001. Catalytic Cracking of Naphtha to Light Olefins. *Catalysis Surveys from Asia*. 4, 157-167. doi: 10.1023/A:1011463606189.
23. Zajchowski S., Ryszkowska J. 2009. Kompozyty polimerowo-drzewne – charakterystyka ogólna oraz ich otrzymywanie z materiałów odpadowych. *Polimery*. 54(10). 674-682.

PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS (WPC) AS A FACTOR FAVORING THE RETARDATION OF NATURAL RESOURCES

Summary

The paper presents the issue of the production of composite materials from waste plastics with organic filler. In light of the constantly growing consumption of plastics, the consumption of raw materials, mainly crude oil, is increasing. At the same time, the mass of post-production plastic waste and that which is found in the stream of municipal waste, collected both selectively and mixed, is increasing. This waste can be managed as materials that allow to protection of natural resources (crude oil, wood, and fossil minerals). The paper focuses on the possibilities of processing plastic waste into "wood plastics composite" (WPC) granulate. Based on the available data, the potential of Warmia and Mazury was assessed in terms of the availability of plastic waste and waste from the wood industry. On this basis, a simplified investment project was created, the task of which was to assess the profitability of the production of composite material. In addition to the financial assessment, an estimate was also made of the resources that could be protected in the light of the planned investment.

Keywords: wood plastic composite, WPC, plastics, recycling, wastes