

Problematyka utylizacji wyrobów i odpadów z kompozytów polimerowych

Cz. I. Wielkość produkcji, utylizacja kompozytów z włóknami węglowymi, aspekty legislacyjne, recykling przemysłowy

Andrzej K. Błędzki^{1), *)}, Krzysztof Gorący²⁾, Magdalena Urbaniak³⁾, Mieczysław Scheibe⁴⁾

DOI: [dx.doi.org/10.14314/polimery.2019.11.6](https://doi.org/10.14314/polimery.2019.11.6)

Streszczenie: Przedstawiono aktualną wielkość produkcji w Europie kompozytów polimerowych wzmocnionych włóknami szklanymi lub włóknami węglowymi z uwzględnieniem kierunków rozwoju i metod ich wytwarzania. Podano przykłady rozwiązywania, narastających w ostatnich latach, problemów efektywnego recyklingu kompozytów polimerowych z włóknami węglowymi. Omówiono też obowiązujące w Unii Europejskiej regulacje prawne dotyczące tej problematyki.

Słowa kluczowe: kompozyty polimerowe, recykling, utylizacja.

Problems connected with utilization of polymer composite products and waste materials

Part I. Production volume, utilization of composites with carbon fibres, legislative aspects, industrial recycling

Abstract: The paper presents current production volume of polymer composites reinforced with carbon or glass fibers in Europe as well as trends in the methods of their manufacture. The ways to solve the problems connected with effective recycling of carbon fiber reinforced composites, which has become a growing challenge, as well as the existing European Community regulations in this area have been discussed.

Keywords: polymer composites, recycling, utilization.

W poprzedniej pracy na temat recyklingu kompozytów polimerowych [1] przedstawiliśmy pierwsze próby eliminowania problemów recyklingu tych materiałów oraz rozwój technicznych rozwiązań w tej dziedzinie. W niniejszym artykule sygnalizujemy pojawiające się w ostatnim okresie nowe problemy i nowe możliwości realizacji recyklingu kompozytów polimerowych.

¹⁾ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Instytut Technologii Mechanicznej, Al. Piastów 19, 70-310 Szczecin.

²⁾ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Instytut Polimerów, Al. Piastów 19, 70-310 Szczecin.

³⁾ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Al. Piastów 19, 70-310 Szczecin.

⁴⁾ Akademia Morska w Szczecinie, ul. Wały Chrobrego 1–2, 70-500 Szczecin.

*) Autor do korespondencji:

e-mail: andrzej.bledzki@zut.edu.pl

PRODUKCJA KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH NA ŚWIECIE

W roku 2018 światowa produkcja kompozytów polimerowych osiągnęła 11,4 Mt [2]. Największym rynkiem (pod względem ilości kompozytów) jest Azja – 5,2 Mt (46%), w tym Chiny 3,1 Mt (27%), następnie Ameryka Północna 3,0 Mt (26%) i Europa 2,4 Mt (27%). Światowy rynek kompozytów w latach 1960–2010 rocznie zwiększał się o ok. 8%. Po roku 2010 wzrost zmniejszył się do ok. 4% rocznie. Najczęściej używane w 2018 r. osnowy polimerowe to duroplasty – ok. 61% mas. i termoplasty ok. 39% mas. Szczególną uwagę zwraca rosnący obszar zastosowania osnów termoplastycznych – od 2% w roku 1980 do poziomu obecnego [2].

Najczęściej wykorzystywane włókna wzmocniające to włókna szklane, stanowiące ok. 87,7% wszystkich włókien, dalej włókna naturalne 11% i włókna węglowe 1,2%. Warto zauważyć, że włókna węglowe w roku 2018 generowały 23% dochodu branży kompozytów polime-

rowych, włókna szklane – 68%, a włókna naturalne – 8% [2]. Szacuje się, że od roku 1960, w którym produkcja kompozytów wynosiła 0,2 Mt, do roku 2018 na świecie wyprodukowano łącznie ok. 288 Mt kompozytów polimerowych [2].

Produkcja kompozytów polimerowych wzmocnionych włóknami szklanymi

Produkcja w Europie kompozytów polimerowych wzmocnionych włóknami szklanymi (GRP), wynosząca w roku 2018 1 141 000 ton [2, 3], stale rosła w ciągu ostatnich sześciu lat (tabela 1). Kompozyty polimerowe wzmocnione włóknami szklanymi pozostają dominującym materiałem i ich udział w rynku kompozytów polimerowych w Europie wynosi ponad 95%. Jednak udział

T a b e l a 1. Produkcja kompozytów polimerowych wzmocnionych włóknami szklanymi (GRP) w Europie*

T a b l e 1. Production of glass fiber reinforced plastic (GRP) in Europe

Rok	Produkcja, kt
2010	1015
2017	1118
2018	1141

*) Dane dla roku 2018 oszacowano [3].

*) Data for 2018 were estimated [3].

T a b e l a 2. Produkcja kompozytów polimerowych w Europie, podział wg technologii wytwarzania*

T a b l e 2. Production of polymer composites in Europe, divided according to processing technology

Technologia**)	2015, kt	2018, kt
SMC	191	204
BMC	74	81
Laminowanie ręczne	139	140
Natryskiwanie włókien	96	99
RTM	137	148
Płyty	86	96
Pultruzja	49	55
Nawijanie	80	79
Odlewanie odśrodkowe	68	69
GMT/LFT termoplasty	132	152
Inne	17	18
Razem	1069	1141

*) Dane dla roku 2018 oszacowano [3].

*) Data for 2018 were estimated [3].

***) SMC – Sheet Molding Compound, BMC – Bulk Molding Compound, RTM – Resin Transfer Molding, GMT/LFT – Glas-mat Thermoplastics/Long-fiber reinforced thermoplastics.

produkcji europejskiej w rynku światowym stale maleje. Przyczyną tego zjawiska jest transfer procesów technologicznych oraz *outsourcing* produkcji wyrobów o małej dochodowości. Trendy rozwoju poszczególnych sposobów wytwarzania kompozytów polimerowych w Europie pokazuje tabela 2.

Technologia SMC/BMC (*Sheet Molding Compound/Bulk Molding Compound*) pozostaje od wielu lat najważniejszym pod względem tonażowym sposobem wytwarzania i przetwarzania kompozytów. Otrzymywane materiały są stosowane w wielkoskalowej produkcji seryjnej i zajmują ustaloną pozycję w sektorze elektrotechnicznym i transportowym. Typowe wyroby to obudowy lamp, obudowy rozdzielni elektrycznych, elementy zewnętrzne pojazdów. Pojawiają się też nowe trendy rozwoju wytwarzanych tą metodą materiałów, np. SMC z włóknami węglowymi, SMC z włóknami naturalnymi i włóknami ciągłymi. Główny odbiorca wyrobów SMC/BMC – przemysł samochodowy – podlega obecnie dużym zmianom. Mały ciężar pojazdu już nie stanowi podstawowego kryterium, obecnie wymaga się integracji komponentów pojazdów oraz redukcji skomplikowanych procesów ich wytwarzania. Wyroby SMC/BMC spełniają te wymagania i charakteryzują się niską ceną. Wpływ na wybór materiałów mają też jednak uwarunkowania elektromobilności.

Metody otwarte straciły znaczny udział w rynku z ok. 37% w roku 1999 do nieco ponad 20% w roku 2018. Nadal jednak są wybierane w wypadku wyrobów wytwarzanych na zamówienie lub małych serii ze względu na niewielkie koszty przygotowania produkcji. Metody te służą do otrzymywania wyrobów o dużych gabarytach i kompleksowej budowie. Stosowanie metod otwartych w Europie utrudniają jednak stale rosnące obostrzenia prawne dotyczące emisji zanieczyszczeń i wykorzystania styrenu.

Z danych zawartych w tabeli 2 [3] wynika, że zastosowanie **metod RTM** (*Resin Transfer Molding*) stale rośnie (określenie RTM obejmuje wszystkie metody z iniekcją żywicy). Niewątpliwie wynika to z ich wielu zalet, np. możliwości układania wzmocnienia w formie na sucho, używania form zamkniętych, możliwości realizacji małych i dużych serii oraz produkcji małych i wielkogabarytowych wyrobów.

Warto zauważyć, że w roku 2008 wyprodukowano 106 kt kompozytów polimerowych z wykorzystaniem technologii RTM [1], w roku 2018 – już o ok. 50% więcej – 148 kt [3].

Również w produkcji kompozytów polimerowych z zastosowaniem **procesów ciągłych** (płyty, pultruzja) od kilku lat odnotowuje się stały wzrost tonażu. Dużym segmentem tego rynku są panele i płyty stosowane w pojazdach (głównie ciężarówkach) oraz na elewacjach budynków. W ofercie rynkowej pojawiło się również wiele innowacji materiałowych i technologicznych, np. panele antyseptyczne do sal operacyjnych. W wypadku wyrobów otrzymywanych metodą pultruzji głównymi rynka-

mi nadal są budownictwo i infrastruktura. W tym sektorze brakuje jednak ustalonych standardów i norm, co powstrzymuje wielu architektów i decydentów przed stosowaniem materiałów produkowanych w procesach ciągłych.

Produkcja rur i zbiorników **metodami nawijania i odlewania odśrodkowego** jest zdominowana w Europie przez kilka wielkich firm. Podobnie jak w wypadku pultruzji przeszkodą w rozwoju tych metod jest brak standardów oraz niewielka wiedza konstruktorów o materiałach otrzymywanych w ten sposób.

Liczby w tabeli 2, odnoszące się do termoplastów wzmocnionych włóknami szklanymi, dotyczą jedynie termoplastów wzmocnionych matami GMT (*Glass-Matt Reinforced Thermoplastics*) oraz termoplastów wzmocnionych włóknami długimi (> 2 mm) i ciągłymi LFT (*Long Fibre Reinforced Thermoplastics*). W ciągu ostatnich dziesięciu lat ten segment rynku odnotował stały, ponadprzeciętny w branży, wzrost tonażu, z 95 kt w roku 2008 [1] do 152 kt w roku 2018 [2, 3]. W tym czasie udział tego segmentu w rynku wzrósł z 5 do 13%. Wspomniany wzrost był napędzany głównie przez przemysł samochodowy i przemysł elektroniczny, gdzie wykorzystywane są główne zalety termoplastów wzmocnionych – łatwość przetworstwa i dobrze znane procesy przetwórcze, możliwość produkcji w wielkich seriach, możliwość łączenia z innymi materiałami i łatwość recyklingu. Typowe zastosowania to ochrona podwozi, zderzaki, panele instrumentów, konstrukcje foteli. Przewiduje się, że obszar aplikacji tych materiałów będzie dalej rość.

Mimo zmieniających się trendów dotyczących procesów przetwórczych kompozytów polimerowych zastosowanie tych materiałów w różnych dziedzinach techniki pozostaje niezmienną. Od lat transport i budownictwo są największymi odbiorcami kompozytów, odpowiednio, 36% i 35% zużycia, inni ważni odbiorcy to przemysł elek-

trotechniczny i elektroniczny 14% oraz artykułów sportowych 14% [2, 3].

Wielkość produkcji kompozytów polimerowych w krajach europejskich ilustruje tabela 3. Na podstawie porównania z poprzednimi analizami [1] stwierdzono, że w żadnym regionie Europy nie nastąpiło zmniejszenie produkcji. Różnice w tonażu wynikają ze znacznego zróżnicowania rynków krajów europejskich, np. rynek niemiecki mocno koncentruje się na przemyśle samochodowym i elektrotechnicznym, a rynek skandynawski – głównie na przemyśle naftowym i gazownictwie.

PRZYSZŁOŚĆ KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH

Istotny wpływ na wielkość produkcji kompozytów polimerowych będą miały przemiany, którym podlega przemysł samochodowy. Obecnie nacisk kładzie się na zmniejszenie emisji zanieczyszczeń, opracowanie silników nowej generacji, samochodów autonomicznych i elektrycznych oraz sposobów zbierania i przesyłania danych pojazdu. Przyczynia się to do restrukturyzacji całego przemysłu i wpływa na wybór stosowanych materiałów. W tym aspekcie ważne są zalety kompozytów polimerowych: mały ciężar (ważny niezależnie od rodzaju napędu pojazdu), duża trwałość, izolacyjność elektryczna, przezroczystość dla fal radiowych, możliwość integracji funkcji w jednej części i w jednym procesie technologicznym, korzystny stosunek właściwości do ceny, odporność na korozję, itp. Inny ważny obszar zastosowań kompozytów polimerowych stanowi rozwijające się lotnictwo, ze stale rosnącą liczbą przewożonych pasażerów i ładunków. Zwiększające się informatyzacja i digitalizacja w technice stwarzają również możliwości wykorzystania materiałów nieprzewodzących i nieekranujących, np. do produkcji anten lub fasad budynków.

RYNEK KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH Z UDZIAŁEM WŁÓKIEN WĘGLOWYCH

W roku 2017 światowe zapotrzebowanie na włókna węglowe wyniosło 70 500 t, o ok. 11% więcej niż w roku poprzednim, a w 2018 r. zapotrzebowanie na te włókna oszacowano na 78 500 t (tabela 4) [3]. W przeprowadzonych analizach ważnym wskaźnikiem jest nie tylko tonaż, ale i poziom zysków jakie daje produkcja. Od roku 2013 zyski z produkcji włókien węglowych rosły o ok. 11% rocznie i w roku 2018 wynosiły ok. 2,88 mld USD. Najwięksi producenci włókien węglowych to firma Toray (ok. 31% światowych zdolności produkcyjnych), firmy SGL Carbon i Mitsubishi Chemical Carbon Fiber and Composites oraz Teijin i Hexel. Światową produkcję skupia 10 firm, które mają ponad 87% światowych zdolności produkcyjnych. Prawie cała produkcja włókien węglowych jest wykorzystywana do wytwarzania kompozytów polimerowych (ok. 83%), pozostałe osnowy to osnowy ceramiczne (ok. 10%), metalowe (ok. 1%) i inne (ok. 6%) [3].

T a b e l a 3. Produkcja kompozytów polimerowych w Europie wg krajów [3]

T a b l e 3. Production of polymer composites in Europe, divided by countries [3]

	2015, kt	2018, kt
Niemcy	212	229
Hiszpania/Portugalia	156	167
Włochy	150	162
Wlk. Brytania/Irlandia	150	155
Francja	108	115
Belgia/Holandia/Luxemburg	44	46
Finlandia/Norwegia/Szwecja/Dania	39	40
Austria/Szwajcaria	18	19
Europa wschodnia ^{*)}	192	208
Łącznie	1069	1141

^{*)} Polska, Czechy, Węgry, Rumunia, Serbia, Chorwacja, Macedonia, Litwa, Łotwa, Słowacja i Słowenia.

T a b e l a 4. Światowa produkcja włókien węglowych i kompozytów z ich udziałem [3]

T a b l e 4. World production of carbon fibers and composites [3]

Rok	Produkcja włókien węglowych, kt	Produkcja kompozytów z włóknami węglowymi, kt
2010	33,0	51
2015	58,0	91
2018	78,5	128
2020 szacowana	98,0	160

Światowa produkcja kompozytów polimerowych wzmocnionych włóknami węglowymi (CFRP) od 2010 roku rośnie o ponad 12% rocznie i w roku 2018 wyniosła 128 kt (tabela 4) [3]. Tonażowo to niewiele w porównaniu z tonażem kompozytów wzmocnionych włóknami szklanymi, ale polimerowe kompozyty węglowe w 2018 wygenerowały prawie 16,5 mld USD zysku [3]. Najwięcej kompozytów z włóknami węglowymi zużywa się w Ameryce Północnej (z Meksykiem) 37% i w Europie 34%, co wynika z koncentracji firm zajmujących się końcowym montażem wytwarzanych części. Zużycie w roku 2018 kompozytów z udziałem włókien węglowych (wszystkie rodzaje osnowy) w rozmaitych dziedzinach techniki oraz osiągnięte w tym sektorze dochody zestawiono w tabeli 5. Dochody z lotnictwa i kosmonautyki to konsekwencja bardzo dużych wymagań jakościowych oraz kosztów certyfikacji i kwalifikacji materiałów i części. Największym odbiorcą kompozytów z włóknami węglowymi jest lotnictwo komercyjne. Nowe przepisy wymuszają wymianę starszych modeli samolotów i zmiany w aktualnie produkowanych samolotach i helikopterach. W sektorze elektrowni wiatrowych również będzie stale rosło zapotrzebowanie na kompozyty z włóknami węglowymi, co wiąże się z popytem na coraz większe łopaty rotorów elektrowni wiatrowych. Dla przykładu ulokowana w Polsce firma LM Wind Power zaczynała produkcję od łopat o długości 47,5 m, a w roku 2016 opracowała łopaty o długości 88,4 m. Obecnie jeden z największych światowych producentów rotorów – firma Vestas Wind Systems – przedstawia produkcję na nową generację rotorów z większym udziałem włókien węglowych.

T a b e l a 5. Zużycie kompozytów z włóknami węglowymi w różnych dziedzinach techniki w roku 2018 [3]

T a b l e 5. The consumption of composites reinforced with carbon fibres by application in 2018 [3]

Dziedzina techniki	Zużycie kt	Udział %	Dochód mld \$	Udział w dochodzie, %
Lotnictwo i kosmonautyka (w tym uzbrojenie)	55,31	36	12,91	56
Przemysł samochodowy	37,13	24	4,17	18
Elektrownie wiatrowe	20,88	13	1,91	8
Sport i wypoczynek	20,11	13	2,55	11
Budownictwo	7,74	5	0,46	2
Inne	13,54	9	1,15	5

Znaczną część zysków dochodu generuje sport i rekreacja. Kompozyty węglowe w tej branży zajmują ugruntowaną pozycję: w sportach masowych (golf, hokej, rowery, tenis, sporty zimowe) po sport wyczynowy i rozwiązania indywidualne (np. jachty).

Recykling kompozytów polimerowych z włóknami węglowymi

Duże ilości stosowanych włókien węglowych i kompozytów generują dużą masę odpadów, zarówno poprodukcyjnych, tylko w niewielkiej części poddawanych recyklingowi [4, 5], jak i poużytkowych, zazwyczaj składowanych. Do tego strumienia odpadów niedługo dołączą części zużyte, a wśród nich m.in. stale rosnąca liczba turbin wiatrowych, których obecnie jest ponad 130 tys. The European Composites Industry Association (EuCIA) szacuje, że masa dotychczas użytych do produkcji takich turbin materiałów kompozytowych sięga już 2,5 mln ton (przy obecnie wytwarzanej za ich pomocą energii na poziomie 14% uzyskiwanej w Unii Europejskiej w sektorze energii wiatrowej) i przewiduje, że w ciągu najbliższych pięciu lat co najmniej 12 tys. turbin trzeba będzie wymienić lub zmodernizować [6]. Stąd recykling turbin wiatrowych, jak najbardziej efektywny, staje się kluczowym zagadnieniem dla przemysłów chemicznego i materiałów kompozytowych. W związku z tą sytuacją rośnie zagrożenie niespełnienia unijnych wymagań dotyczących ilości materiałów poddawanych recyklingowi. Zależnie od technologii ilość odpadów włókien węglowych wynosi 30–40%, w skali światowej daje to obecnie ok. 24 kt, a prognozuje się, że w 2021 roku ilość odpadów włókien węglowych wyniesie 32 kt. Obecnie recyklingowi poddaje się mniej niż 1 kt [4, 5, 7]. Około 2/3 wszystkich odpadów włókien to odpady z produkcji, a 1/3 to włókna ze zużytych części [8].

Niestety nie wszystkie klasyczne metody recyklingu – recykling materiałowy, chemiczny i termiczny – mogą być stosowane w odniesieniu do włókien węglowych i wyrobów z ich udziałem. Najprostsze rozwiązanie, czyli spalanie z odzyskiwaniem energii, definitywnie wykluczono, ponieważ specjaliści niemieccy stwierdzili, że spalanie włókien węglowych w standardowych spalarniach odpadów może prowadzić do ich uszkodzenia [9].

Rosnące zapotrzebowanie na włókna węglowe jest jednak ograniczone przede wszystkim ich ceną. Stąd duże zainteresowanie recyklingiem materiałowym tych włókien. Niektórzy analitycy uważają, że włókna odzyskiwane na drodze recyklingu mogą być atrakcyjną alternatywą dla nowych włókien. Ideałem byłoby odzyskiwanie włókien węglowych bez utraty ich właściwości, np. z odpadów produkcyjnych powstających przy wycinaniu preform z tkanin lub tkanin z osnową termoplastyczną [4].

Ocenia się, że dobre systemowe rozwiązanie recyklingu opracowała i zastosowała firma ELG Carbon Fibre (Wielka Brytania). Specjaliści tej firmy twierdzą, że włókna węglowe z recyklingu zachowują 90% pierwotnych właściwości i są o 40% tańsze niż nowe włókna [5, 7]. Jednak w wypadku zastosowania wyłącznie włókien odzyskanych ciężar elementu rośnie o ok. 5%. Wykorzystanie włókien węglowych pochodzących z recyklingu w osnowie termoplastycznej umożliwia zachowanie właściwości włókien nowych, bez zmiany ciężaru detalu.

Firma ELG opracowała proces pirolizy w piecu, który może przetwarzać do 5 ton odpadów dziennie. W celu zapewnienia stałości właściwości włókien, przed procesem określa się rodzaj włókien i klasyfikuje je wg typu odpadów i właściwości mechanicznych. Puszyste, o różnej długości, odzyskane włókna dzieli się na włókna mielone o długości 80–100 μm – odpowiednie do powłok i tłoczyw, włókna cięte o długości 3–100 mm, odpowiednie do wzmocnienia termoplastów, i włókna o długości 60–90 mm przeznaczone do wyrobów o gramaturze 100–500 g/m^2 . Maty o szerokości do 2,7 m nadają się do wyrobu prepregów, SMC, do prasowania i wytwarzania półproduktów innymi technikami. ELG produkuje również maty hybrydowe, w których włókna węglowe są mieszane z włóknami termoplastycznymi, przeznaczone do szybkiego prasowania. Według deklaracji firmy ELG wyroby te nie zastępują nowych włókien węglowych, jest to produkt nowy, wymagający zastosowania innych procesów i innego projektowania. Firma prowadzi szkolenia dla potencjalnych klientów, stwarzając w ten sposób rynek dla nowego materiału [5]. Obecnie najważniejsi klienci to firmy Boeing i Mitsubishi.

Institut für Textiltechnik z Augsburga (Niemcy) w roku 2016 zbudował instalację pilotażową do wytwarzania włóknin z włókien odzyskiwanych z odpadów z produkcji kompozytów polimerowych. Linia produkcyjna pozwala na otrzymywanie detali metodą wtryskiwania i prasowania odzyskanych włókien z termoplastami. Planowano wykorzystanie tak otrzymanych materiałów w seryjnie produkowanych samochodach.

Włókniny wprawdzie mają wytrzymałość mechaniczną mniejszą niż tkaniny, ale ich wytwarzanie jest najszybszym i najtańszym sposobem ponownego użycia włókien krótkich [10].

Podobne rozwiązanie zaprezentowała firma SGL Carbon GmbH z Wiesbaden/Niemcy. Odpady wyrobów z włókien węglowych są przetwarzane we włókniny, które następnie służą do produkcji dachu samochodu

BMW i3 w wyniku przesycania ich żywicą metodą RTM. Istnieje możliwość zastosowania włóknin w blachach organicznych (z termoplastami) lub wyrobach SMC [11].

Firma ShockerPlast z Wirgini (USA) opracowała metodę odzyskiwania włókien węglowych z nieutwardzonych prepregów kompozytowych (osnowa duroplastyczna) na drodze solwolizy prowadzonej w sposób ciągły. Odzyskane włókna jednak są puszyste i najlepiej stosować je jako palety do osnow termoplastycznych. Opracowano materiał z 20–40% udziałem włókien nadający się do wtryskiwania i do drukowania 3D. Autorzy metody twierdzą, że odzyskane włókna wykazują wytrzymałość zbliżoną do wytrzymałości włókien nowych, a ich cena jest znacznie niższa. Z użyciem tego materiału pomyślnie przeprowadzono próby drukowania 3D [12].

Firma R&M International opracowała sposób otrzymywania płyt termoplastycznych wzmocnionych włóknami odzyskanymi metodą firmy ShockerPlast. Płyty te mogą być termoformowane i prasowane w wyroby [12].

Uniwersytet w Kaiserslautern (Niemcy) od roku 2015 prowadzi projekt InTeKS, którego celem jest opracowanie zastosowania odzyskiwanych włókien węglowych do wzmocnienia, dających się formować plastycznie, organicznych blach termoplastycznych [8]. Jednak ciągle włókna węglowe wykazują wydłużenie do zerwania rzędu 2% i nie pozwalają na uzyskanie płaskich blach organicznych o strukturze 3D. Prace projektowe zakładają, że włókna odzyskane ze zużytych bobin, odpowiednio pocięte i rozdzielone z rovingu, po spleceniu w przędzę z włóknami PA6 zostaną użyte do produkcji tkanin pozwalających na formowanie trójwymiarowych struktur organicznych blach termoplastycznych. W projekcie uczestniczy kilka firm z Europy [8].

Ten sam Instytut we współpracy ze wspomnianą firmą ELG Carbon Fibre i Honda R&D Europe opracował sposób wytwarzania z włókien odzyskanych na drodze pirolizy taśm wzmocniających do automatycznego układania w formach [13]. Kompozyty wytwarzano z wykorzystaniem technologii RTM i VARI (*Vacuum Assisted Resin Infusion*). Mimo braku preparacji włókien, ich małej długości (w porównaniu z długością włókien ciągłych) i niedoskonałej orientacji w taśmach udało się uzyskać kompozyty o wytrzymałości stanowiącej 38% i sztywności 68%, odpowiednich wartości oryginalnych kompozytów z włóknami długimi. Obecnie trwają prace nad poprawieniem orientacji włókien w taśmie i zwiększeniem skali produkcji [13].

RECYKLING KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH – ASPEKT LEGISLACYJNY UE

W dniu 14 czerwca 2018 r. w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej opublikowano cztery dyrektywy zmieniające dotychczasowe przepisy regulujące gospodarke odpadami. Dyrektywy te weszły w życie 4 lipca 2018 r., zobowiązują państwa członkowskie do ich wdrażania do przepisów krajowych. Zmiany dotyczyły dyrektyw o:

- odpadach,
- składowaniu odpadów,
- odpadach opakowaniowych,
- pojazdach wycofanych z eksploatacji,
- zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym,
- bateriach i akumulatorach oraz zużytych bateriach i akumulatorach.

Najważniejsze, wprowadzone Dyrektywą PE i Rady (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r., zmiany dyrektywy 2008/98/WE o odpadach to [14]:

- zmiana definicji bioodpadów (według zmienionej dyrektywy bioodpady mogą pochodzić również, m.in. z biur i hurtowni);

- wprowadzenie definicji m.in. odpadów komunalnych, innych niż niebezpieczne, budowlanych i rozbiórkowych;

- rozwinięcie i uzupełnienie przepisów odnośnie do systemu rozszerzonej odpowiedzialności producenta;

- dodanie zapisu dotyczącego procedury uznania przedmiotu lub substancji za produkt uboczny (zgodnie ze zmienioną dyrektywą Komisja Europejska lub poszczególne kraje należące do UE mogą wprowadzać kryteria odnośnie do stosowania warunków uznania przedmiotu lub substancji za produkt uboczny);

- wprowadzenie możliwości ustanawiania kryteriów dotyczących przeprowadzenia procedury utraty statusu odpadu.

Zgodnie ze zmienioną dyrektywą od 1 stycznia 2025 r. obowiązkiem selektywnej zbiórki mają być objęte również takie grupy odpadów komunalnych jak: odpady tekstyliów i odpady niebezpieczne.

Obligatoryjność segregacji od 31 grudnia 2023 r. wprowadzono także dla bioodpadów.

Ponadto w zmienionej dyrektywie o odpadach nakazano zwiększenie udziału odpadów komunalnych przygotowanych do ponownego użycia i recyklingu:

- do 55% mas. do 2025 r.,
- do 60% mas. do 2030 r.,
- do 65% mas. do 2035 r.

Dyrektywa PE i Rady (UE) 2018/850 z dnia 30 maja 2018 r., zmieniająca dyrektywę 1999/31/WE o składowaniu odpadów [15], wprowadza m.in. obowiązek zmniejszenia do roku 2035 ilości składowanych odpadów komunalnych do maksymalnie 10% całkowitej ilości wytwarzanych odpadów komunalnych oraz stworzenia skutecznego systemu kontroli jakości i możliwości śledzenia składowanych odpadów komunalnych.

Do najważniejszych zmian sformułowanych w dyrektywie PE i Rady (UE) 2018/852 z dnia 30 maja 2018 r., zmieniającej dyrektywę 94/62/WE o opakowaniach i odpadach opakowaniowych [16], zalicza się zwiększenie poziomu recyklingu odpadów opakowaniowych, do, odpowiednio:

- 65% mas. do 31 grudnia 2025 r.,
- 70% mas. do 31 grudnia 2030 r.

Docelowe poziomy recyklingu zwiększono także w odniesieniu do materiałów opakowaniowych, do 31

grudnia 2025 r. i 31 grudnia 2030 r. mają one wynosić, odpowiednio:

- 50 i 55% mas. tworzyw polimerowych,
- 25 i 30% mas. drewna,
- 70 i 80% mas. metali żelaznych,
- 50 i 60% mas. aluminium,
- 75 i 85% mas. papieru i tektury,
- 70 i 75% mas. szkła.

Natomiast zmiany w dyrektywie PE i Rady (UE) 2018/849 z dnia 30 maja 2018 r. [17] zmieniające dyrektywę: o pojazdach wycofanych z eksploatacji (dyrektywa 2000/53/WE z dnia 18 września 2000 r.), o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym [dyrektywa PE i Rady (UE) 2012/19/UE z dnia 4 lipca 2012 r.], a także o bateriach i akumulatorach oraz zużytych bateriach i akumulatorach [dyrektywa PE i Rady (UE) 2006/66/WE z dnia 6 września 2006 r.], odnoszą się przede wszystkim do zadań i możliwości ustanawiania przepisów pomagających w realizacji dyrektyw oraz mobilizacji do realizowania tzw. gospodarki o obiegu zamkniętym.

W dniu 5 września 2018 roku weszła w życie nowelizacja Ustawy o odpadach oraz niektórych innych ustaw z dnia 20 lipca 2018 roku (Dziennik Ustaw 2018 poz. 1592) [18]. Ustawa wprowadza restrykcyjne przepisy odnoszące się do magazynowania odpadów, związane z obowiązkiem monitorowania magazynów, zabezpieczenia roszczeń do całej powierzchni magazynów bez względu na ilość magazynowanych odpadów, jak również ogranicza powierzchnię wykorzystania magazynów w wyniku wprowadzonych ograniczeń przeciwpożarowych. Nowelizacja ww. ustawy, przedstawiona na 18 stronach, wprowadza istotne zmiany, takie jak:

- skrócenie maksymalnego, dopuszczalnego czasu magazynowania odpadów do okresu 1 roku (z wyłączeniem niezanieczyszczonej gleby lub ziemi pochodzącej z robót budowlanych, dla której czas magazynowania wynosi maksymalnie 3 lata);

- dopuszczenie do jednoczesnego magazynowania odpadów w ilości nieprzekraczającej połowy maksymalnej łącznej masy wszystkich rodzajów odpadów określonych w decyzji administracyjnej uprawniającej do zbierania i/lub przetwarzania odpadów;

- nałożenie obowiązku zapewnienia wizyjnego systemu kontroli miejsca magazynowania lub składowania odpadów (monitoringu), dotyczącego działalności w zakresie zbierania, przetwarzania i składowania odpadów;

- nałożenie obowiązku ustanowienia zabezpieczenia roszczeń.

Przedstawiciele Polskiego Związku Przetwórców Tworzyw Sztucznych (PZPTS) (od 2006 r. członka organizacji EuPC – Europejskiego Stowarzyszenia Przetwórców Tworzyw Sztucznych z siedzibą w Brukseli) na spotkaniu 5 lutego 2019 r. w Ministerstwie Środowiska zaproponowali zmiany [19] w ustawie o odpadach. Zwrócili uwagę na negatywne skutki wprowadzenia znowelizowanej ustawy. Konfederacja Lewiatan poparła stanowisko przetwórców sygnalizujących nadmierne obciążenia branży,

wpływające na zmniejszenie poziomu powtórnego wykorzystania odpadów tworzyw polimerowych w produkcji. Monitoring składowisk oraz zabezpieczenie roszczeń wydają się zasadne w odniesieniu do podmiotów zbierających odpady oraz czerpiących zyski z przyjęcia odpadów, natomiast w wypadku przetwórców nie mają uzasadnienia. Ustawodawca w regulacjach pominął kwestię wartości odpadów. Przetwórcy kupują odpady tworzyw polimerowych, a ich cena, wynikająca z projektu rozporządzenia do ustawy, jest wyższa niż kwota zabezpieczenia roszczeń w wysokości 400 zł za tonę. Przetwórcy nie mają powodu do niewłaściwego postępowania z odpadami, monitoring więc nie ma w tym wypadku zastosowania. Konfederacja Lewiatan, w uzgodnieniu z PZPTS, zaproponowała zwolnienie Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska (WIOŚ) z konieczności założenia planowanego monitoringu oraz wniesienia kaucji przez podmioty kupujące odpady za cenę wyższą niż kwota zabezpieczenia roszczeń. Zaproponowano także zapisy nakładające na podmioty korzystające z wyłączenia obowiązków składania oświadczeń rocznych z podaniem ceny średniorocznej, ponadto sankcje w wypadku naruszenia proponowanych regulacji. W dniu 5 kwietnia 2019 roku odbyło się spotkanie Ministra Środowiska, zainicjowane przez Ministra Przedsiębiorczości i Technologii, z udziałem przedstawicieli przemysłu chemicznego, przetwórców tworzyw polimerowych, przemysłu drzewnego, hutniczego oraz producentów energii. Spotkanie miało na celu określenie koniecznych zmian zapisów ustawy, utrudniających działalność przemysłu. PZPTS po raz kolejny proponował zwolnienie przetwórców tworzyw polimerowych z nowych obowiązków wynikających z nowelizacji ustawy, podnosząc kwestię wartości odpadów nabywanych przez nich w celu wykorzystania jako surowca do produkcji nowych wyrobów [19].

INNOWACYJNY RECYKLING PRZEMYSŁOWY

Firma Thornmann Recycling sp. z o.o., utworzona w 1998 roku jako pierwsza firma w Polsce zajmująca się recyklingiem ZSEE (zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny), uzyskała dwa patenty [20]:

- w 2015 roku patent nr 224690: „Sposób wytwarzania zwieńczeń wpustów i studzienek kanalizacyjnych do nawierzchni dla ruchu pieszego i kołowego oraz studzienek telekomunikacyjnych”, polegający na wytworzeniu wymienionych elementów z materiału kompozytowego odpornego na korozję i o korzystnych właściwościach wytrzymałościowych. Materiał kompozytowy składa się ze szkła odpadowego: kineskopowego i/lub butelkowego i/lub okiennego mieszanego z lepiszczem oraz jest wzmocniony prętami szklanymi i/lub pultruzyjnymi gładkimi i/lub pultruzyjnymi żebrowanymi i/lub pultruzyjnymi piaskowanymi. W celu uzyskania bardzo dobrych właściwości wytrzymałościowych elementy są poddawane obróbce cieplnej;

- w 2013 roku patent nr 221280: „Sposób wytwarzania galanterii drogowej i elementów małej architektury



Rys. 1. Poddawane recyklingowi zbiorniki nawijane [20]

Fig. 1. Recycling of wound tanks [20]

ogrodowej”, polegający na tym, że szkło poddaje się procesowi granulacji i przesiewania, po czym myje się oraz suszy, a następnie miesza z lepiszczem. Tak wytworzona mieszaninę umieszcza się w formie i pozostawia do zastygnięcia. Szkło stanowi 70–85% mieszaniny. Stosuje się szkło kineskopowe i opakowaniowe o różnej granulacji. Do mieszaniny szkła i lepiszcza dodaje się włókna. W formie umieszcza się zbrojenie. Jako lepiszcze stosuje się żywicę poliestrową, żywicę epoksydową lub żywicę poliamidową. Do mieszaniny szkła i lepiszcza dodaje się włókna węglowe, włókna szklane lub włókna z tworzyw polimerowych. Jako zbrojenie stosuje się siatkę metalową, maty z włókna szklanego, pręty metalowe, tworzywa polimerowe lub włókna węglowe. Do mieszaniny szkła i lepiszcza dodaje się barwniki. Po wyjęciu z formy element galanterii drogowej lub małej architektury ogrodowej pokrywa się warstwą zewnętrzną, na przykład farbą fluorescencyjną.

W firmie tej powstały ponadto 32 prototypy różnych elementów budowlanych inżynierii drogowej.

Utylizowane wyroby w tej firmie to głównie zbiorniki nawijane z włókna szklanego lub węglowego (rys. 1), łodzie i jachty, formy szkatułnicze (rys. 2), elementy samochodowe (wyposażenie wewnętrzne pojazdów, nadkola, deski rozdzielcze) (rys. 3), elementy szybowców, elementy pociągów i tramwajów, deski surfingowe, zbiorniki gazowe do samochodów osobowych i autobusów. Z uzyskanych recyklatów są wytwarzane przeważnie produkty, takie jak: pokrywy i pierścienie do kanalizacji, a także kratki



Rys. 2. Utylizowane wyroby – łodzie, formy szkatnicze [20]
 Fig. 2. Utilized products – boats, boatbuilding forms [20]



Rys. 3. Poddawane recyklingowi odpady elementów samochodowych z włóknami węglowymi [20]
 Fig. 3. Recycling of automotive wastes with carbon fibres [20]



Rys. 4. Wyroby firmy Thornmann Recycling sp. z o.o. – pokrywy studzienek kanalizacyjnych [20]
 Fig. 4. Products of Thornmann Recycling Co. – sewage manhole covers [20]



Rys. 5. Wyroby firmy Thornmann Recycling sp. z o.o. – słupki parkingowe, kratka ściekowa, pierścienie do kanalizacji [20]
 Fig. 5. Products of Thornmann Recycling Co. – parking posts, catch basin grate, rings of sewage system [20]



Rys. 6. Poddawane recyklingowi łopaty elektrowni wiatrowych [20]
 Fig. 6. Recycling of propeller blades from wind power plants [20]

ściekowe, słupki parkingowe (rys. 4, 5), skrzynki do gazu i hydranty. Firma poddaje recyklingowi także elementy elektrowni wiatrowych (śmigła wykonane z włókien węglowych lub szklanych). Przyjmuje też miękkie i zalaminowane odpady służące do ich produkcji. Wykonuje recykling starych/zużytych łopat wirników zarówno po wichurach, jak i uszkodzonych, z mikropęknięciami w strukturze materiałowej (rys. 6) [20]. Firma Thornmann Recycling sp. z o.o. utylizuje ok. 2000 t rocznie.

ZREDUKOWANA EMISJA CO₂ W PRODUKCJI CEMENTU W WYNIKU PONOWNEGO MIELENIA SPALANEGO KOMPOZYTU

Różne źródła od dawna, jako przykład utylizacji odpadów kompozytowych, podają ich przekazanie do cementowni. Możliwości tego sposobu wykorzystania

odpadów są mocno ograniczone przez techniczne i technologiczne wymogi związane z produkcją i jakością cementu/klinkieru. Przy czym uzyskiwane korzyści ekologiczne (redukcja emisji CO₂) są umiarkowane.

W wyniku ponownego mielenia kompozytu w procesie przetwórczym można znacznie ograniczyć emisję CO₂ w produkcji klinkieru. Zależnie od udziału mielonego kompozytu oraz właściwej dla danej cementowni technologii ograniczenie to może sięgać 16% (tabela 6).

Transportowanie zmielonego kompozytu od miejsca jego powstawania do pieca cementowego ma oczywisty, ale ograniczony wpływ na kalkulację emisji CO₂ w procesie wytwarzania klinkieru (tabela 7).

Jest możliwe uzyskanie znacznej redukcji emisji CO₂ w wyniku wykorzystania kompozytów wzmocnionych włóknami szklanymi: 0,9 kg CO₂ (1 kg kompozytu), 1,8 kg CO₂ (1 kg żywicy) [21].

T a b e l a 6. Redukcja emisji CO₂ wynikająca z zastosowania właściwej danej cementowni technologii mielenia kompozytu [21]

T a b l e 6. Reduction of CO₂ emissions as a result of composite grinding technology specific for cement plant [21]

Udział kompozytu, % mas.	25	50	75
Redukcja CO ₂ , % ^{*)}	5,3	10,3	16,0

^{*)} Wartość odniesiona do emisji CO₂ w procesie bez użycia paliw alternatywnych, bazującym na węglu jako paliwie.

^{*)} Value related to CO₂ emissions in the process without the use of alternative fuels, based on coal as fuel.

T a b e l a 7. Redukcja emisji CO₂ uwzględniająca transport zmielonego kompozytu [21]

T a b l e 7. Reduction of CO₂ emissions including the transport grinded composite [21]

Przebyta droga transportu, km	50	100	500	750	1000
Redukcja CO ₂ , % ^{*)}	0,4	0,5	1,5	2,1	2,7

^{*)} Wartość odniesiona do emisji CO₂ w procesie bez użycia paliw alternatywnych, bazującym na węglu jako paliwie.

^{*)} Value related to CO₂ emissions in the process without the use of alternative fuels, based on coal as fuel.

OGRANICZENIE IMPORTU Z CHIN NIEKTÓRYCH PRODUKTÓW Z WŁÓKIEN CIĄGLYCH SZKLANYCH

Komisja Europejska Rozporządzeniem wykonawczym nr 1379/2014 z dnia 16 grudnia 2014 roku nałożyła ostateczne cło antydumpingowe na przywóz wybranych produktów z włókien ciągłych szklanych (objętych kodami CN 70191100, ex. 70191200 i 70193100) pochodzących z Chińskiej Republiki Ludowej [22, 23]. Dotyczy to trzech podstawowych typów produktów z włókien ciągłych szklanych:

- nici cięte z włókien szklanych, o długości nieprzekraczającej 50 mm,

- niedoprzędę z włókien szklanych z wyłączeniem niedoprzędów z włókien szklanych, impregnowanych i powlekanych i których straty podczas prażenia wynoszą więcej niż 3% (zgodnie z normą ISO 1887),

- maty z włókien ciągłych szklanych (z wyłączeniem mat z waty szklanej).

Produkty objęte ww. postępowaniem są surowcem stosowanym najczęściej do wzmacniania żywic termoplastycznych i termoutwardzalnych w przemyśle materiałów kompozytowych. Materiały kompozytowe wzmocnione włóknem ciągłym szklanym są wykorzystywane w wielu gałęziach przemysłu, takich jak: przemysł samochodowy, elektryczny/elektroniczny, produkcja śmigieł silników wiatrowych, budownictwo, produkcja rur i zbiorników, towarów konsumpcyjnych,

przemysł lotniczy, obronność, itd. Na podstawie wyników dochodzenia UE stwierdzono, że wszystkie wspomniane trzy typy produktu objętego postępowaniem mają takie same podstawowe właściwości fizyczne, chemiczne i użytkowe i zasadniczo wykorzystuje się je do tych samych celów.

REGULACJE PRAWNE DOTYCZĄCE STYRENU

Styren Regulacją nr 605/2014 z dnia 6 czerwca 2014 r. sklasyfikowano jako toksyczny, kategorii 2 w warunkach ponownego wykorzystania w produkcji oraz toksyczny, kategorii 1 w kontekście jego oddziaływania na określone organy człowieka [24].

Europejską regulację prawną, odnoszącą się do wszystkich etapów życia produktów FRP, stanowi Rozporządzenie PE i Rady (UE) 1907/2006/WE w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowania ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) [25]. Rozporządzenie REACH dotyczy wytwarzania, wprowadzania do obrotu i użytkowania substancji w postaci własnej, zawartych w preparatach lub wyrobach oraz wprowadzania do obrotu preparatów. Rozporządzenie REACH weszło w życie w 2007 roku i ma na celu poprawienie poprzednio obowiązujących ram legislacyjnych odnoszących się do chemikaliów w Unii Europejskiej (UE). Rozporządzenie nakłada większą odpowiedzialność na przemysł w zakresie zagrożeń, jakie substancje chemiczne mogą stanowić dla zdrowia człowieka i środowiska. Zgodnie z rozporządzeniem wszystkie niewyłączone substancje wyprodukowane lub wwiezione przez firmę na terytorium UE w ilości 1 tony lub więcej rocznie, muszą zostać zarejestrowane przez Europejską Agencję ds. Substancji Chemicznych (ECHA).

Europejskie ustawodawstwo dotyczące poliestrów odnosi się do cyklu życia produktu kompozytowego. Najważniejszym monomerem nienasyconych żywic poliestrowych (UP) jest łatwopalny styren i dlatego sklasyfikowano je jako towary niebezpieczne, wymagające odpowiednich środków ostrożności obejmujących transport, składowanie i użytkowanie. Rozporządzenie REACH UE nakłada na producentów styrenu i dalszych użytkowników obowiązek zapewnienia bezpiecznego miejsca pracy ze styrenem. Opracowano arkusze informacyjne, w których wymienia się szczegółowo zalecenia dotyczące bezpiecznego obchodzenia się z żywicami UP oraz powiązаныmi wyrobami, takimi jak: żelkoty, estry winylowe, pasty wiążące [26].

LITERATURA

- [1] Błędzki A.K., Gorący K., Urbaniak M.: *Polimery* **2012**, 57, 620.
<http://dx.doi.org/10.14314/polimery.2012.620>
- [2] *JEC Composite Magazin* **2019**, March, nr 127.
- [3] Witten E., Mathes V., Sauer M., Kuhnel M.: "Composite Market Report 2018", AVK 2018.

- [4] <https://www.kunststoffe.de/news/vermishtes/artikel/textil-kompetenz-gebuendelt-2098385.html> (data dostępu 14.05.2019).
- [5] <https://www.kunststoffe.de/produkte/uebersicht/beitrag/vlies-aus-recyclen-carbonfasern-zurueck-in-den-produktionsprozess-663594.html> (data dostępu 14.05.2019).
- [6] <https://www.compositesworld.com/news/joint-project-to-advance-wind-turbine-blade-recycling> (data dostępu 15.07.2019).
- [7] <https://www.kunststoffe.de/news/vermishtes/artikel/die-wirtschaftliche-alternative-2965210.html?search.highlight=CFK-Bauteile%20erfolgreich%20recyclen> (data dostępu 14.05.2019).
- [8] <https://www.compositesworld.com/blog/post/sustainable-inline-recycling-of-carbon-fiber> (data dostępu 14.05.2019).
- [9] *Recycling Magazine* 2018, 03, 33.
- [10] <https://www.compositesworld.com/blog/post/building-confidence-in-recycled-carbon-fiber> (data dostępu 14.05.2019).
- [11] <https://www.compositesworld.com/articles/recycled-carbon-fiber-comparing-cost-and-properties> (data dostępu 14.05.2019).
- [12] Goergen Ch., Baz S., Mitschang P. i in.: *Kunststoffe International* 2016, 5, 25.
- [13] Ausheyks L., Baz S., Dinkelman A. i in.: *Kunststoffe International* 2018, 5, 44.
- [14] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów, Dziennik Urzędowy UE, nr L 150 z dn. 14.06.2018 r.
- [15] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/850 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 1999/31/WE w sprawie składowania odpadów, Dziennik Urzędowy UE, nr L 150 z dn. 14.06.2018 r.
- [16] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/852 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 94/62/WE w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych, Dziennik Urzędowy UE, nr L 150 z dn. 14.06.2018 r.
- [17] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/849 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2000/53/WE w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji, 2006/66/WE w sprawie baterii i akumulatorów oraz zużytych baterii i akumulatorów i 2012/19/UE w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego, Dziennik Urzędowy UE, nr L 150 z dn. 14.06.2018 r.
- [18] Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej 2018, poz. 1592 z dn. 20 lipca 2018 r. o zmianie ustawy o odpadach oraz niektórych innych ustaw.
- [19] Polski Związek Przetwórców Tworzyw Sztucznych, <https://pzpts.pl> (data dostępu 12.05.2019).
- [20] <http://thornmann.com.pl/recykling-kompozytow/automotive/> (data dostępu 17.05.2019).
- [21] EuCIA: Composites recycling made easy, <https://eucia.eu/about-composites/sustainability> (data dostępu 20.05.2019).
- [22] EuCIA: Trade defence measures against Chinese glass fibre manufactures, <https://eucia.eu> (data dostępu 12.05.2019).
- [23] Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) Nr 1379/2014 z dnia 16 grudnia 2014 r. nakładające ostateczne cło wyrównawcze na przywóz niektórych produktów z włókien ciągłych szklanych pochodzących z Chińskiej Republiki Ludowej i zmieniające rozporządzenie wykonawcze Rady (UE) nr 248/2011 nakładające ostateczne cło antydumpingowe na przywóz niektórych produktów z włókien ciągłych szklanych pochodzących z Chińskiej Republiki Ludowej, Dziennik Urzędowy UE, nr L 367 z dn. 23.12.2014 r.
- [24] EuCIA: New classification for formaldehyde and styrene: make sure that your classification, label and safety data sheet (SDS) are correct, <https://eucia.eu> (data dostępu 12.05.2019).
- [25] Rozporządzenie (WE) Nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) i utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, Dziennik Urzędowy UE, nr L 136 z dn. 29.05.2007 r.
- [26] The European UP/VE Resin Association: Safe Handling Guides, <http://www.upresins.org/safe-handling-guides/> (data dostępu 12.05.2019).

Otrzymano 23 V 2019 r.