

Wojciech JURCZAK¹
Mariola JASTRZĘBSKA²

TECHNOLOGIA UTYLIZACJI OKRĘTOWYCH NIEMETALICZNYCH MATERIAŁÓW KONSTRUKCYJNYCH

STRESZCZENIE

Wycyfywanie z eksploatacji jednostek pływających, szczególnie tych, których kadłub i nadbudówkę wykonano z laminatu poliestrowo-szklanego jest trudnym procesem a jego niewłaściwy przebieg może stanowić zagrożenie dla środowiska naturalnego. Należy więc opracować technologię utylizację tego typu jednostek pływających zgodnie z obowiązującymi, europejskimi przepisami o ochronie środowiska. W pracy przedstawiono zagadnienia związane z problemem recyklingu jednostek pływających wykonanych z laminatów poliestrowo-szklanych. Recykling materiałowy jako alternatywa dla odzysku energii daje możliwość zagospodarowania recyklatu przy tworzeniu nowych materiałów bądź zastosowania w inżynierii drogowej

Słowa kluczowe: recykling, jednostki pływające, laminat poliestrowo-szklany

WSTĘP

W ostatnich latach zauważalny staje się wzrost zastosowań laminatów wzmacnianych włóknem szklanym, jako materiałów konstrukcyjnych w różnych dziedzinach przemysłu: okrętownictwie (np. kadłuby jednostek, nadbudówki), szkutnictwie, kolejnictwie i motoryzacji (np. elementy karoserii i wyposażenia wnętrza, dachy wagonów, cysterny), lotnictwie (np. kadłuby samolotów, zbiorniki paliwowe, zakończenia dziobów i stateczników), budownictwie (np. płyty, ścianki działowe), przemyśle chemicznym, spożywczym i naftowym (np. zbiorniki, kadzie reakcyjne) oraz przemyśle maszynowym.

W latach 1982-1990 dla potrzeb Marynarki Wojennej wykonano 17 trałowców (projekt 207), przeznaczonych do poszukiwania i niszczenia min, o kadłubach wykonanych z materiałów kompozytowych (żywic

¹ Wojciech JURCZAK, kmdr dr inż., Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni, Wydział Mechaniczno-Elektryczny.

² Mariola JASTRZĘBSKA, dr inż., Akademia Morska w Gdyni.

poliestrowych zbrojonych włóknem szklanym). Jednostki te posiadają wymiary 38,5×7,2×3,8 m, a masa pustego okrętu wynosi 203 t. Konstrukcja kadłuba, pokładówki i masztu trałowców jest wykonana w całości z laminatu poliestrowo-szklanego, formowanego bezciśnieniowo w temperaturze ok. 20°C, na bazie żywic nienasyconych, ortoftalowych, chemoutwardzalnych. Po utwardzeniu konstrukcja była wygrzewana w celu uzyskania pełnych własności fizykochemicznych. Grubość kompozytów poliestrowych wynosi od 20-50 mm w zależności od konstrukcji kadłuba okrętu.

Jednak największy udział tonowy laminatów w budownictwie okrętowym to nie okręty, ale jachty i łodzie sportowe. W Polsce pod koniec 2004 roku zarejestrowanych było 845 podmiotów gospodarczych zajmujących się produkcją oraz naprawą jachtów (głównie wykonanych z laminatów poliestrowo-szklanych), które eksportowały w 2005 roku 17370 sztuk jachtów, łodzi i kajaków o wartości 533111,9 tysięcy złotych (a w 2006 eksportowano 14567 sztuk) [1]. Według szacunku PRS dziś pływa po morzu 300 jachtów pod polską banderą (z czego ponad 150 jachtów jest wyprodukowanych z laminatów poliestrowo-szklanych), natomiast po polskim śródlądziu ponad 60 tys. jachtów.

W związku z tak dużą produkcją wyrobów z poliestrów wzmocnionych włóknami szklanymi (przyczepy, łodzie, armatura sanitarna) w Polsce w zakładach produkujących powstaje corocznie około 2000 ton odpadów poprodukcyjnych. Ocenia się też, że ilość odpadów użytkowych tego typu przekracza 20 000 ton.

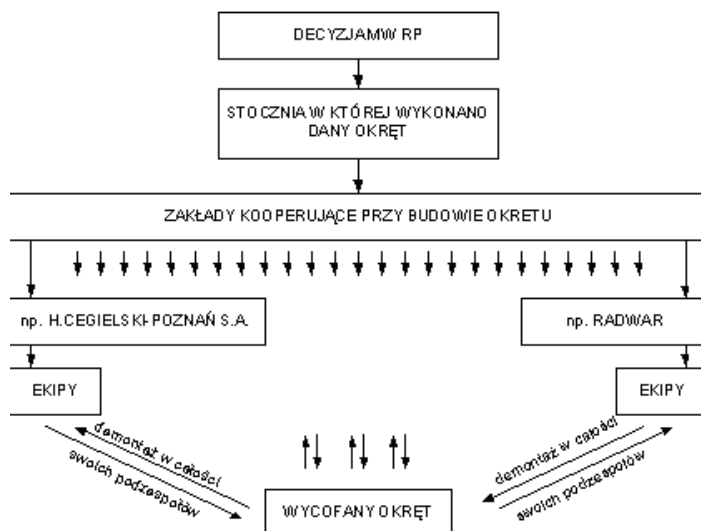
Masowa produkcja i popularność wyrobów laminatów wzmocnionych włóknami generuje problem odpadów z tych tworzyw. Ich zalety produkcyjne (głównie wytrzymałość oraz odporność na warunki środowiskowe) stają się poważną wadą podczas prób ich utylizacji. Zakłady wykonujące wyroby z laminatów wytwarzają odpady powstałe podczas cyklu produkcyjnego (ścinki, kawałki płyt itp.) a także gotowe produkty posiadające wady i nienadające się do użytkowania. Ponadto odpadami uciążliwymi są też gotowe konstrukcje i elementy wykonane z laminatów, które po zakończeniu cyklu użytkowania w formie niezmienionej trafiają na składowiska. W dużym stopniu wpływają one na zwiększenie powierzchni potrzebnej na składowanie odpadów stałych oraz koszty składowania, a jako materiały trudno degradowalne stają się problemem na dziesiątki lat. W związku z obecnością w odpadach laminatów poliestrowo-szklanych ponad 30% organicznych związków takich jak żywica poliestrowa, zabronione jest składowanie odpadów poliestrowo-szklanych na wysypisku śmieci zgodnie z dyrektywą (Directive 2008/98/EC).

Z tych powodów temat recyklingu kompozytów poliestrowych (laminatów poliestrowo-szklanych) jest tematem aktualnym w kontekście "zagospodarowania" w przyszłości wycofywanych z eksploatacji jednostek pływających. Nadal w Polsce nie ma firm zajmujących się bezpieczną utylizacją odpadów poliestrowo-szklanych.

PROPONOWANA OGÓLNA KONCEPCJA WYCOFYWANIA Z EKSPLOATACJI JEDNOSTEK PŁYWAJĄCYCH NA PRZYKŁDZIE OKRĘTÓW

Główne założenia tej koncepcji polega to na tym, że ostatni użytkownik, armator (właściciel) złomowanej jednostki pływającej (w przypadku okrętów jest to Marynarka Wojenna RP) przez właściwe służby techniczne informuje stocznię, w której tą jednostkę zbudowano o terminie likwidacji (złomowania) (rys.1). Właściwy dział stoczni na podstawie posiadanej dokumentacji technicznej tego okrętu przygotowują plan demontażu. Następnie kieruje informację do firm kooperujących przy budowie okrętu podając dane o terminie, miejscu i odpadach (ilość, jakość) odpowiednio to specyfikacji produkcji tych przedsiębiorstw.

W nakazanym terminie i miejscu specjalnie przygotowane ekipy demontują „swoje” urządzenia (np. elementy łączności okrętowej jak anteny, sonary itp.), po czym dostarczają te poużytkowe odpady do zakładów gdzie ma nastąpić ich właściwe zagospodarowanie. Zaletą tego algorytmu recyklingu jest: likwidacja tych odpadów z wykorzystaniem specjalistów i najnowszych istniejących obecnie technologii (w miejscu produkcji), gromadzenie jednorodnych odpadów w określonych miejscach kraju.



Rys.1. Proponowany system recyklingu dla okrętów

Zgodnie z przyjętą w maju w 2009 roku w Hong Kong Międzynarodową Konwencją (wejdzie w życie po 24 miesiącach od podpisania, przez co najmniej 15 państw) w sprawie bezpiecznego i ekologicznego recyklingu statków wymagane będą następujące elementy kontroli procesu recyklingu statków:

- Plan Złomowania Statku (tworzony przez stocznnię złomową w celu określenia, w jaki sposób każdy statek będzie poddawany recyklingowi, zależnie od jego szczegółowych danych i jego inwentarza).
 - Międzynarodowe Świadectwo Gotowości do Recyklingu (wydane dla statku po jego końcowym przeglądzie weryfikującym spełnienie przez daną jednostkę wymogów Planu Złomowania).
- Upoważnienie Stoczni do Recyklingu (wydawane przez organa państwowe zgodnie z wymaganiami Konwencji)
- Zaświadczenie o Ukończeniu Recyklingu Statku (wydawane przez stocznnię złomową i informujące o zakończeniu procesu recyklingu konkretnego statku odpowiednie władze państwowe i Administrację Państwa bandery statku).

W związku z koniecznością opracowania planu złomowania okrętów wykonanych z laminatów poliestrowo-szklanych w pracy przedstawiono schemat recyklingu materiałowego oraz odzysku energii odpadów poliestrowo-szklanych pochodzących z likwidowanych trałowców oraz jachtów.

Etapy procesu likwidacji okrętów oraz innych jednostek pływających wykonanych z poliestrów wzmacnianych włóknem szklanym obejmują:

- usunięcie toksycznych pozostałości np. paliwa
- podział na metalowe i niemetalowe części
- oddzielenie metalowych części
- zmniejszenie rozmiarów odpadów poliestrowo-szklanych
- cięcie, rozdrabnianie, mieleni
- recykling (surowcowy, termiczny, materiałowy).

Do cięcia kadłubów z laminatów poliestrowo-szklanych lżejszych niż 10 t można użyć automatycznych, stacjonarnych stanowisk z piłami. Do cięcia stosuje się też rozdrabniacze, w których stosy dysków z nacięciami i z przekładkami dystansowanymi, pozwalającymi na zazębianie się dysków, tną i rozdzierają tworzywo. Młyny nożowe i granulatory, które tną za pomocą noży umieszczonych na obwodzie rotora, są bardziej wydajne niż inne rozdrabniacze.

ZAGOSPODAROWANIE ODPADÓW POLIESTROWO-SZKLANYCH

W celu przetwórstwa odpadów laminatów poliestrowo-szklanych wykorzystywane są trzy metody recyklingu:

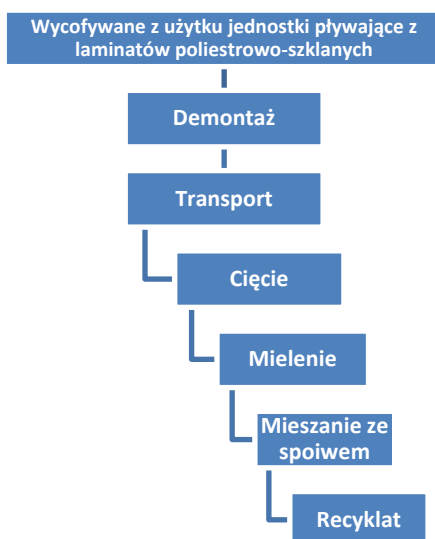
- recykling surowcowy, tj. degradacja makrocząsteczek na frakcje o mniejszej masie cząsteczkowej, np. metodą hydrolizy, alkoholizy, uwodornienia czy pirolizy, które mogą być ponownie użyte, jako monomery lub surowce do wytwarzania innych lub takich samych produktów chemicznych;
- odzysk energii podczas spalania,
- recykling materiałowy, tj. ponowne, bezpośrednie przetwarzanie odpadów bez stosowania procesów chemicznych, z uzyskaniem materiału stanowiącego pełnowartościowy surowiec do dalszego przetwarzania.

Metoda recyklingu surowcowego odpadów poliestrowo-szklanych została opracowana w Instytucie Chemii Przemysłowej w Warszawie przez Ewę Kowalską, Zbigniewa Wielgosza i Tadeusza Bartczaka w 2000 roku [2]. Metoda ta polegająca na działaniu chlorkiem metylenu i uzyskaniu odpadów mogących stanowić cenny surowiec do produkcji tworzyw innego typu. Niestety metoda ta nie jest jeszcze stosowana na skalę przemysłową, chociaż zbudowana została w 2001 roku w Warszawie przez Spółkę „OK-Team” instalacja badawcza o wydajności 50t/rok. Mimo, że analiza ekonomiczna produktów ekstrakcyjnej utylizacji laminatów poliestrowo-szklanych wskazała na opłacalność ich użytkowania to brak ciągłej dostawy odpadów doprowadziło do zamknięcia tej instalacji. Z tego powodu lepszym rozwiązaniem problemu zagospodarowania odpadów poliestrowo-szklanych jest recykling materiałowy oraz odzysk energii. Obecnie zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju konieczne jest rozpatrywanie zagospodarowania zasobów odpadów (też odpadów laminatów poliestrowo-szklanych) w aspekcie wpływu na środowisko. Omówiono metodę recyklingu materiałowego oraz metodę odzyskiem energii z odpadów poliestrowo-szklanych.

RECYKLING MATERIAŁOWY

Laminaty poliestrowo-szklane są zbudowane z włókien szklanych, spoiwa poliestrowego oraz innych dodatków. Należy pamiętać, że gdy odpady zawierają substancje niebezpieczne nie mogą być przetwarzane w kolejnych procesach recyklingu materiałowego, ponieważ zwiększają ryzyko skażenia

środowiska. Jednocześnie często odpady laminatów poliestrowo-szklanych pokryte są farbami. Jeżeli farby te nie są mieszalne z żywicami poliestrowymi należy laminaty poddać dodatkowym procesom np. piaskowaniu. Po oddzieleniu części metalowych i kabli odpady laminatów są cięte i rozdrabniane na części o wymiarach 0,5 m i mielone na strzepy o wymiarach 0,05-0,2 m. Trzeba pamiętać, że laminaty poliestrowo-szklane są kruche, więc podczas rozdrabniania wytwarza się duża ilość pyłów. Wprowadzanie cyklonów do zbierania pyłów podniesie koszty recyklingu materiałowego odpadów. Rysunek 2 przedstawia etapy recyklingu materiałowego odpadów poliestrowo-szklanych.



Rys. 2. Schemat recyklingu materiałowego odpadów poliestrowo-szklanych.

Ocenę wpływu na środowisko etapów recyklingu materiałowego przedstawia tabela 1.

Tabela 1.
Ocena wpływu na środowisko recyklingu materiałowego odpadów poliestrowych wzmocnianych włóknem szklanym [4]

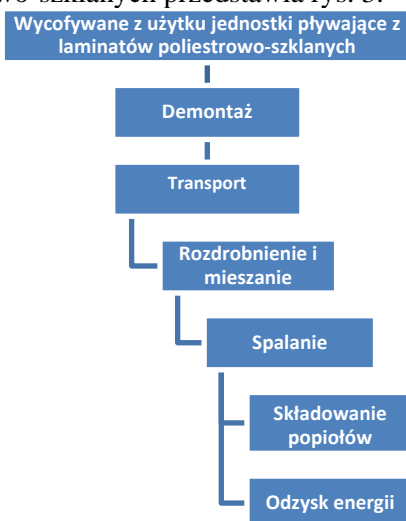
1 kg odpadów poliestrowo-szklanych	CO ₂ [kg]	NO _x [kg]	SO _x [kg]	Efekt środowiskowy [ELU]
Demontaż				
Transport 200 km	0,37	0,004	0,0001	0,6367

Rozdrabnianie	0,03	0,0002		0,0099
Mielenie	0,0415	0,0001	0,0002	0,012
Mieszanie ze spoiwem	0,26	0,0009	0,0018	0,228
Recyklat	0,7015	0,0052	0,0021	0,8866

Podczas materiałowego recyklingu kadłubów trałowców, jak i jachtów uzyskuje się recyklat poliestrowo-szklany, który może, jako napelniacz być dodawany do materiałów polimerowych oraz polimerobetonów. W raporcie CTO [3] z 2001 roku przedstawiono kilka technologii wykorzystania recyklatu poliestrowo-szklanego.

ODZYSK ENERGII

Zaproponowane etapy procesu odzysku energii podczas spalania odpadów poliestrowo-szklanych przedstawia rys. 3.



Rys 3. Schemat odzysku energii w czasie spalania odpadów poliestrowo-szklanych

Zarówno dla recyklingu materiałowego jak i dla odzysku energii pierwsze trzy etapy (demontaż, transport i rozdrobnienie) są takie same. Jedynie w przypadku recyklingu materiałowego konieczne jest także cięcie przed rozdrobnieniem. Cięcie dużych kadłubów na części o rozmiarze 0,5 m trwa około 15 minut. W czasie rozdrobnienia określono ilość pyłów.

Ocena wpływu na środowisko etapów odzysku energii podczas spalania odpadów poliestrowych wzmacnianych włóknem szklanym przedstawia tabela 2.

Tabela 2.

Ocena wpływu na środowisko etapów odzysku energii podczas spalania odpadów poliestrowych wzmocnianych włóknem szklanym [4]

1 kg odpadów poliestrowo-szklanych	CO ₂ [kg]	NO _x [kg]	SO _x [kg]	Efekt środowiskowy [ELU]
Demontaż				
Transport 200km	0,37	0,004	0,0001	0,6367
Rozdrabnianie	0,03	0,0002		0,0099
Mieszanie				
Spalanie	1,68	0,0007	0,0002	0,18
Składowanie popiołów				0,0001
Suma	2,08	0,0049	0,0003	0,8267
Zastąpiony węgiel	2,54	0,0046	0,0385	0,4512
Suma/ zastąpiony węgiel				1,83
Zastąpione odpady budowlane	0.0113	0.0019	0	0.0072
Suma/ zastąpione odpady budowlane				114.82

Odzysk energii w czasie spalania odpadów poliestrowo-szklanych powoduje większy efekt środowiskowy niż spalanie węgla czy odpadów budowlanych. Spalanie odpadów laminatów będzie bardziej kosztowne.

Wartość opałową odpadów poliestrowo-szklanych oraz porównanej ilości alternatywnych paliw: węglem lub odpadami budowlanymi (głównie drewnem) przedstawia Tabela 3.

Tabela 3.

Wartość opałowa odpadów poliestrowo-szklanych, węgla oraz odpadów budowlanych [4]

Material	Wartość opałowa [MJ/kg]	Ilość zastąpięnego węgla [kg/kg]	Ilość zastąpięnych odpadów budowlanych [kg/kg]
Węgiel	27,2		
Odpady budowlane	16,8		
Odpady poliestrowo-szklane	21,0	0,77	1,25

Oszacowano emisję CO₂, NO_x oraz SO_x podczas spalania 1 kg odpadów poliestrowo-szklanych i oceniono ich wpływa na środowisko przyjmując, że:

1 kg CO₂ odpowiada 0,108 ELU

1 kg NO_x odpowiada 2,13 ELU

1 kg SO_x odpowiada 3,27 ELU (Tabela 4).

Tabela 4.

Zestawienie szacunkowe gazów emitowanych podczas spalania 1 kg odpadów poliestrowych wzmacnianych włóknem szklanym

C [%]	CO ₂ [kg]	N [%]	NO _x [kg]	S [%]	SO _x [kg]	ELU/kg
45,8	1,679	0,2	0,0007	0,01	0,0002	0,18

Podczas spalania 1 kg odpadów poliestrowo-szklanych powstaje 31,6% popiołu a składowanie tego popiołu na wysypisku odpowiada 1.00E-4 ELU.

WNIOSKI

Obecnie odpady laminatów poliestrowo-szklanych trafiają na wysypisko.

W Polsce koszt wprowadzania 1 kg odpadów na wysypisko wynosi 15,39 złotych. Aby ułatwić opracowanie planu złomowania jednostek pływających wykonanych z laminatów poliestrowo-szklanych w pracy przedstawiono etapy oraz ich wpływ na środowisko naturalne metody

materiałowego recyklingu oraz odzysku energii odpadów laminatów. Efekt środowiskowy metody recyklingu materiałowego odpadów poliestrowo-szklanych jest porównywalny z efektem środowiskowym metody odzysku energii w czasie spalania odpadów poliestrowo-szklanych.

LITERATURA

1. http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/PUBL_obroty_towarowe_2005_eksport.xls,http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/PUBL_eksport_2006.xls]
2. Kowalska E., Wielgosz Z., Bartczak T., *Utylizacja odpadów laminatów poliestrowo-szklanych*, „Polimery”, 47, 2, 2002, 110-116.
3. Raport Techniczny nr RO-01/T-60, *Ocena możliwości recyklingu wyrobów z laminatów poliestrowo-szklanych*. Etap I.CTO Gdańsk 2001
4. Steen B., CPM, *Systematic Approach to Environmental Priority Strategies in Product Development (EPS)*, Version 2000 – Models and data on the default method; Report 1999:5

TECHNOLOGY OF UTILIZATION OF SHIPS NON-METALLIC CONSTRUCTION MATERIALS

ABSTRACT

The process of vessel's demolitions, especially those, which hull and superstructure are made of glass reinforced polyester, is a complex venture and can cause environmental treat. According to European environmental protection regulations it is necessary to develop a technology of utilization of these kind of vessels. The paper presents the issues connected with the problem of recycling of the vessels made from glass reinforced polyester. Recycling of these materials can be an alternative yielding energy recovery or providing new materials of potential application in road engineering.