

Mariola JASTRZĘBSKA¹⁾, Wojciech JURCZAK²⁾

¹⁾ Akademia Morska w Gdyni, Wydział Przedsiębiorczości i Towaroznawstwa; e-mail: mariola@am.gdynia.pl

²⁾ Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni, Wydział Mechaniczno-Elektryczny

Pianki poliuretanowe z odpadami poliestrowo-szklanymi

Streszczenie. W pracy zastosowano odpady poliestrowo-szklane, pochodzące z produkcji jachtów, do wytworzenia sztywnych pianek poliuretanowych. Zbadano wybrane właściwości mechaniczne i termoizolacyjne otrzymanych pianek z recyklatem. Użycie odpadów poliestrowo-szklanych do usztywnień pokładów jachtów pozwoli częściowo zagospodarować je bezpośrednio w miejscu ich powstawania.

POLYURETHANE FOAMS WITH GLASS – POLYESTER WASTE

Summary. In this work glass reinforced polyester waste from yacht production was used to rigid polyurethane foams. The mechanical and thermal insulation properties of polyurethane foams with recycle were determined. Using glass-polyester waste to deck's stiffeners of yachts can partially manage them directly in manufacture place.

1. WPROWADZENIE

Przemysł jachtowy jest ważnym segmentem polskiej gospodarki. Tworzy go ponad 900 przedsiębiorstw, zatrudniających ponad 13 tys. osób, które budują rocznie ok. 15-17 tys. jachtów. Największe firmy w Polsce produkujące jednostki pływające z laminatów poliestrowo-szklanych to: Sunreef Yachts (katamarany), Galeon (łódzie motorowe), Delphia Yachts (łódzie żaglowe) i Ostróda Yachts (jachty). W zakładach tych powstaje corocznie około 2 tys. ton poprodukcyjnych odpadów poliestrowo-szklanych. W 2013 roku tylko jedna firma z okolic Trójmiasta, produkująca jachty, wytworzyła 50 ton odpadów. Powstające podczas produkcji jachtów odpady poliestrowo-szklane najlepiej zagospodarować tam gdzie powstają. Czasem do usztywnienia pokładu jachtów z laminatu używa się sztywnych pianek poliuretanowych, stąd powstał pomysł dodania do nich rozdrobnionych odpadów poliestrowo-szklanych. Pozwoli to zagospodarować odpady bezpośrednio w miejscu powstania, bez kosztów transportu i składowania.

Pianki poliuretanowe mają szerokie zastosowanie nie tylko jako izolacje, ale też w tapicerstwie, opakowaniach, oraz jako boje. Zaliczane są do grupy najlepszych z dostępnych na rynku materiałów termoizolacyjnych, osiągając sprzedaż tylko w USA około 2 biliony kilogramów. Sztywna pianka poliuretanowa o grubości 1,6 cm izoluje tak samo jak ściana betonowa o grubości 134 cm. Do produkcji metra sześciennego sztywnej pianki poliuretanowej do izolacji dachu potrzeba zaledwie 70 litrów ropy naftowej. Sztywne pianki poliuretanowe charakteryzują się wysokim stopniem usieciowania, niską gęstością pozorną oraz porowatą strukturą. Niska gęstość pianek, pozwala na zmniejszenie ciężaru i kosztu wyrobu, oraz poprawia komfort i szybkość rozładunku, transportu i montażu.

Przeprowadza się często modyfikacje pianek poliuretanowych w dwóch kierunkach, pierwszy w celu wzmocnienia np. nanododatkami np. montmorylonitem lub w kierunku szybszej degradacji w środowisku. Cao i współpracownicy [1] zastosowali 5% wag. montmorylonitu do pianek poliuretanowych i zaobserwowali zwiększenie

ilość porów przy równoczesnym zmniejszeniu ich rozmiaru, co wpłynęło na poprawę wytrzymałości na ściskanie. Inni naukowcy wzmocniali pianki poliuretanowe nanocząsteczkami SiC i TiO₂ [2] uzyskując wzrost o 50-70% wytrzymałości na zginanie i sztywności w porównaniu do czystych pianek. Zastosowanie włókien szklanych oraz nanocząstek do pianek poliuretanowych wpłynęło na wzrost modułu o 4-26% w kierunku wzrostu pianek, ale moduł w kierunku poprzecznym spadł o 40% w stosunku do czystych pianek. Te rozbieżne tendencje zostały wyjaśnione zwiększeniem anizotropii komórek pianek, dla których opracowano model mechaniczny, potwierdzony badaniami mikroskopowymi [3]. We Francji naukowcy badali wpływ wielkości ziaren węgla wapnia oraz krzemionki, zastosowanych jako wzmocnienie, na właściwości mechaniczne sztywnych pianek poliuretanowych [4]. Na Politechnice Krakowskiej pracownicy zastosowali odpady polistyrenu w produkcji spienionych tworzyw poliuretanowych [5]. Zaobserwowali dla pianek z odpadami wzrost współczynnika przewodzenia ciepła wraz ze wzrostem ilości odpadów oraz wzrost wytrzymałości na ściskanie. Naukowcy z Kanady zastosowali pulpę drzewną do sztywnych pianek poliuretanowych [6]. Wprowadzanie pulpy nie wpłynęło znacząco na właściwości mechaniczne, ale w czasie ściskania nastąpiło zmniejszenie odkształcenia nawet do 6% w porównaniu dla próby bez pulpy, która uległa 7,5% odkształceniu. Dodanie pulpy spowodowało niewielką obniżkę odporności na temperaturę, co pozwoli na szybszą degradację materiału. Podobnie Silva [7] wprowadził włókna ligninocelulozowe do sztywnych pianek poliuretanowych i zaobserwował na ich powierzchni rozrost grzybnicy po 60 dniach inkubacji grzybów w wilgotny środowisku, natomiast na piance bez włókien rozrost nie wystąpił.

W pracy zastosowano odpady poliestrowo-szklane do pianek poliuretanowych. Zbadano wytrzymałość na ściskanie, gęstość i właściwości termoizolacyjne pianek z i bez odpadów. Celem przeprowadzonych badań było zagospodarowanie odpadów poliestrowo-szklanych, bez zbędnych nakładów finansowych, najlepiej w miejscu ich wytwarzania do produkcji pianek poliuretanowych o akceptowalnych własnościach mechanicznych i użytkowych.

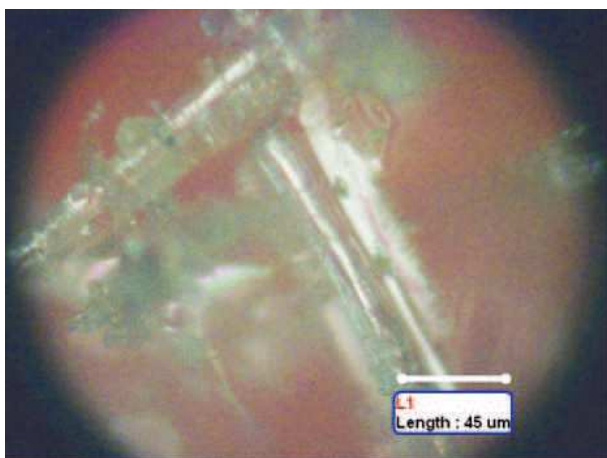
2. MATERIAŁ DO BADAŃ

Materiałem do badań były pianki poliuretanowe bez i z recyklatem poliestrowo-szklanym. Recyklat poliestrowo-szklany, o granulacji poniżej 7,0 mm, jest materiałem niejednorodnym i stanowił mieszaninę pojedynczych włókien szklanych, cząstek żywicy poliestrowej oraz aglomeratów cząstek z pozlepianych żywicą wiązek włókien szklanych. Do otrzymania pianek poliuretanowych bez recyklatu zastosowano polioli Rokopol T i diizocyanian 4,4'-metylenodifenylu w stosunku 1:2, natomiast pianki z recyklatem w stosunku 0,25:1:2 (recyklat, polioli, diizocyanian). Do obu pianek użyto katalizatora NN-dimetylocykloheksaminy.

Próbki pianek były w postaci walca o średnicy 78 mm i wysokości 29 mm (Rys.1). Przygotowane pianki zawierały 7,7 % wag. recyklatu poliestrowo-szklanego, który jest wyraźnie widoczny na zdjęciu mikroskopowym (Rys.2).



Rys. 1. Pianki poliuretanowe z odpadami poliestrowo-szklanymi



Rys. 2. Zdjęcie z mikroskopu optycznego pianki poliuretanowej z odpadem poliestrowo-szklanym

3. METODYKA BADAŃ

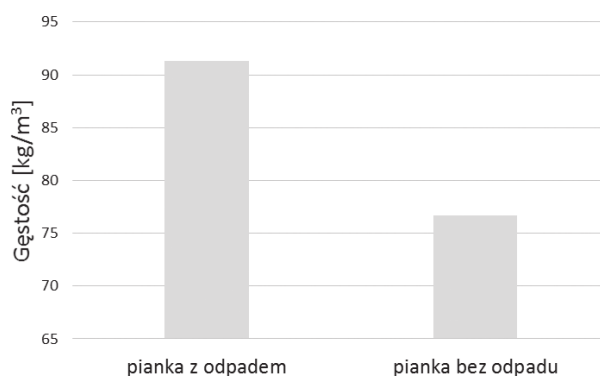
Gęstość pozorna (kg/m^3) pianek poliuretanowych z i bez odpadu poliestrowo-szklanego oceniono wg normy PN-80/C-89035 (ISO 845).

Badania wytrzymałości na ściskanie pianek wykonano zgodnie z normami PN-EN 826:1998 (ISO 844), obliczając naprężenie ściskające w kierunku wzrostu pianek przy 10-procentowym odkształceniu względnym próbek. Do badań wykorzystano maszynę wytrzymałościową firmy Material Testing System, o maksymalnej sile 100 kN. Pomiar przeprowadzono w temperaturze 23°C.

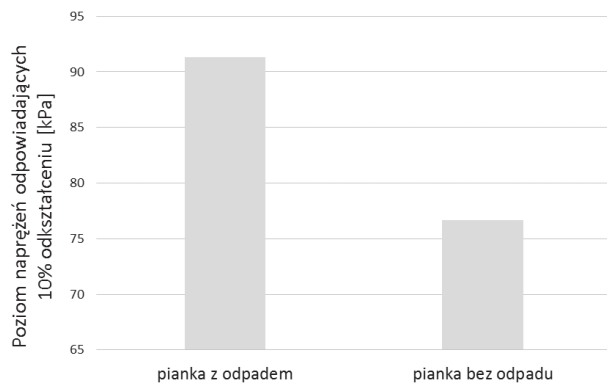
Pomiary termowizyjne oraz badanie różnicy temperatur na obu powierzchniach pianek z recyklatem i bez wykonano z wykorzystaniem specjalnie skonstruowanego w Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni na potrzeby układu pomiarowego, Podczas badań źródłem ciepła była nagrzewnica o zakresie temperatur 50–650°C i mocy 2000 W. Temperaturę mierzono wewnątrz ogrzewanej komory, tuż przy powierzchni badanej próbki, sondą punktową oraz temperatury w dwóch punktach w środkowej warstwie i temperatury w trzech punktach po drugiej stronie próbki. Dla przeciwdziałania konwekcji i rozpraszaniu strumienia ciepła, promiennik i przestrzeń między próbką a grzejnikiem osłonięto izolacją termiczną. Jako podstawę do porównań właściwości cieplnych obu materiałów przyjęto wartości temperatury po obu stronach badanego materiału oraz ich różnicę dla danej wartości strumienia ciepła. Do wstępnej identyfikacji zmian właściwości cieplnych pianek poliuretanowych po dodaniu recyklatu poliestrowo-szklanego wykorzystano dodatkowo kamerę termowizyjną serii Agema 900, wyposażoną w detektor InSb, nagrzewane źródłem ciepła o temp. 100°C.

4. WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Gęstość pozorna pianek poliuretanowych modyfikowanych odpadami poliestrowo-szklanymi zwiększa się w stosunku do pianek bez odpadu (Rys.3). Wzrost gęstości pianek z recyklatem wynika z większej gęstości recyklatu poliestrowo-szklanego, będącej wypadkową gę-



Rys. 3. Gęstość pianek poliuretanowych bez i z odpadem poliestrowo-szklanym



Rys. 4. Poziom naprężenie odpowiadających 10% odkształceniu pianek poliuretanowych bez i z odpadem poliestrowo-szklanym

Zbliżone jest rozkład temperatur na powierzchni ściany wykonanej z pianki poliuretanowej z recyklatem poliestrowo-szklanym oraz na powierzchni ścianki uzyskanej z czystej pianki poliuretanowej, co potwierdzają obrazy z kamery termowizyjnej w doświadczeniu wykorzystującym jak źródło ciepła nagrzewnicę o temp. 100°C. Kolorowy obraz uzyskany dla pianki z recyklatem jest zbliżony do obrazu czystej pianki (Rys. 5). Obrazy ujawniły jednak miejsca powstałych defektów w postaci nieciągłości materiału wynikających z obecności recyklatu (Rys. 5b).

Otrzymane pianki z recyklatem poliestrowo-szklanym charakteryzowały się wyższą redukcją temperatury na grubości ścianki materiału (średnie $\Delta T = 174,7^\circ\text{C}$) w porównaniu do czystych pianek (średnie $\Delta T = 155,2^\circ\text{C}$) (Tab. 1). Na wyjściu uzyskano wyższe temperatury dla

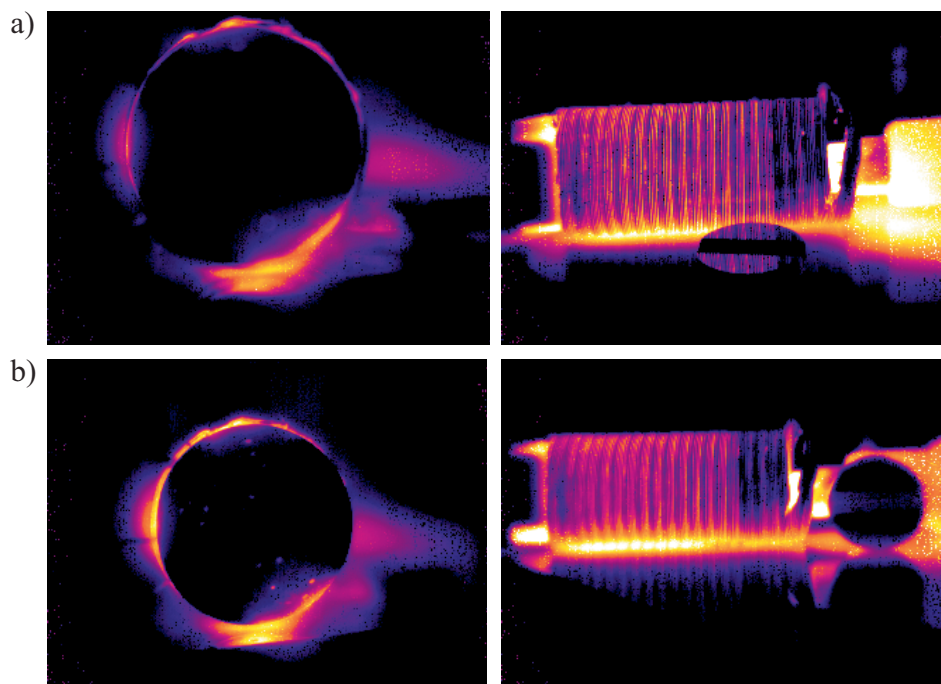
Tab. 1. Pomiar temperatur nagrzewanych pianek poliuretanowych bez i z odpadami poliestrowo-szklanymi

Opis próbki	Temperatura – stopnie Celsjusza					
	Powierzchnia wejścia	W połowie grubości			Powierzchnia wyjścia	
	termopara 1	termopara 2	termopara 3	termopara 4	termopara 5	termopara 6
pianka z odpadem	210,7	93,1	104,3	37,9	30,9	37,1
pianka bez odpadów	211,1	109,2	112,2	52,7	52,9	62,1

tości włókna szklanego 2540 kg/m³ oraz żywicy poliestrowej 1230 kg/m³.

Poziom naprężenie odpowiadający 10% odkształceniu pianek poliuretanowych z odpadami poliestrowo-szklanymi jest o 28% wyższa od wytrzymałości pianek bez odpadów (Rys. 4).

czystych pianek od zarejestrowanej temperatury w przypadku pianki z recyklatem, mimo występujących nieciągłości materiału. Dodatek odpadów poliestrowo-szklanych mógł spowodować zwiększenie porowatości pianek poliuretanowych, co wpłynęło na zwiększenie izolacyjności cieplnej tego materiału.



Rys. 5. Obrazy z kamery termowizyjnej dla pianek poliuretanowych: a) bez odpadów b) z odpadami poliestrowo-szklanymi

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone wstępnie badania zastosowania odpadów poliestrowo-szklanych do pianek poliuretanowych wykazały, że takie materiały cechują się lepszą izolacyjnością i wyższym poziomem naprężeń odpowiadających 10% odkształceniu w porównaniu do czystych pianek poliuretanowych.

Zastosowanie recyklatu poliestrowo-szklanego jako napełniacza do pianek poliuretanowych przyniesie korzyści ekonomiczne i ekologiczne. Otrzymane pianki sztywne mogą być wykorzystywane do uszczelnień w przemyśle jachtowym i w budownictwie. Pianki poliuretanowe z rozdrobnionymi odpadami poliestrowo-szklanymi dzięki proekologicznym działaniom Unii Europejskiej oraz zainteresowaniu ze strony przedsiębiorstw i naukowców mają szansę na znalezienie zastosowania we współczesnym rynku materiałów.

LITERATURA

- [1] Cao X., Lee J., Widya T., Macasko C., *Polyurethane/clay nanocomposites foams: processing structure and properties*, Polymer 2005, 46, 775-783
- [2] Mahfuz H., Rangari V. K., Islam M.S., Jeelani S., *Fabrication, synthesis and mechanical characterization of nanoparticles infused polyurethane foams*, Composites: Part 2004, 35, 453-460
- [3] Hamilton A.R., Thomsen O.T., Madaleno L.A.O., Jensen L.R., Rauhe J.C.M., Pyrz R., *Evaluation of the anisotropic mechanical properties of reinforced polyurethane foams*, Composites Science and Technology 2013, 87, 210-217
- [4] Saint-Michel F., Chazeau L., Cavaille J.-Y., *Mechanical properties of high density polyurethane foams: II Effect of the filler size*, Composites Science and Technology 2006, 66, 2709-2718
- [5] Pielechowski J., Prociak A., Michałowski S., Bogdał D., *Możliwości wykorzystania odpadów wybranych polimerów w produkcji spienionych tworzyw poliuretanowych*, Polimery 2010, 55, 10, 757-763
- [6] Gu R., Sain M.M., Konar S.K., *A feasibility study of polyurethane composite foam with added hardwood pulp*, Industrial Crops and Products 2013, 42, 273-279
- [7] Silva M.C., Takahashi J.A., Chaussy D., Belgacem M.N., Silva G.G., *Composites of rigid polyurethane foam and cellulose fiber residue*, Journal of Applied Polymer Science 2010, 117, 6, 3665-3672