

Monika Rutecka¹, Mateusz Kozioł², Jerzy Myalski³

Politechnika Śląska, Katedra Technologii Stopów Metali i Kompozytów, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

WPLYW WYPEŁNIACZA Z RECYKLATU POLIESTROWO-SZKLANEGO NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE LAMINATÓW

Celem badań była ocena możliwości wykorzystania recyklatu poliestrowo-szklanego jako wypełniacza osnowy polimerowej materiałów kompozytowych, będąca jednocześnie metodą utylizacji tych odpadów. Praca ta jest kontynuacją badań dotyczących wpływu wypełniacza z recyklatu na właściwości wytrzymałościowe materiałów kompozytowych z osnową epoksydową. Odpady kompozytów poliestrowo-szklanych rozdrobniono do wielkości cząstek poniżej 0,3 mm. Recyklat stanowił frakcję proszkową i był mieszaniną cząstek żywicy poliestrowej, drobnych włókien szklanych oraz aglomeratów cząstek kompozytu. Rozdrobnione odpady dodano do żywicy stanowiącej osnowę laminatów. Wykonano laminaty składające się z 10 warstw tkaniny szklanej, o gramaturze 380 g/m² i żywicy poliestrowej Estromal 14.LM-01, do których dodano 4, 10 lub 20% wag. rozdrobnionych odpadów (rys. rys. 1, 2). Dla porównania wykonano 10-warstwowy laminat bez dodatku recyklatu. W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości mechanicznych wykonanych laminatów. Wyznaczono wartości wytrzymałości na zginanie, modułu zginania, udarności, wytrzymałości na ścinanie oraz wytrzymałości na rozciąganie (rys. rys. 3-6, 8). Przeprowadzone badania wykazały, że wykorzystanie recyklatu jako wypełniacza nie powoduje znacznych zmian badanych właściwości. Wykazano, że na wartości tych właściwości praktycznie nie ma wpływu zawartość recyklatu. Niekorzystny wpływ większej ilości recyklatu można stwierdzić jedynie w przypadku wytrzymałości na rozciąganie. Optymalne wyniki zarówno pod względem właściwości wytrzymałościowych, jak i ilości użytej żywicy osiągnął laminat z dodatkiem 4% recyklatu. Dodanie rozdrobnionych odpadów powyżej 4% wag. powoduje konieczność stosowania większej ilości mieszaniny żywicy poliestrowej i recyklatu do przesylenia kompozytu, co zwiększa koszt wyrobu. Praca ta, będąca kontynuacją prac związanych z recyklingiem laminatów poliestrowo-szklanych, pozwoliła na porównanie wyników badań dla dwóch typów zastosowanych osnow (tab. 1). Na podstawie badań można stwierdzić, iż korzystniejsze jest wykorzystywanie jako osnowy żywicy, która jest również jednym ze składników recyklatu, gdyż w tym przypadku wypełniacz praktycznie nie ma wpływu na zmianę właściwości mechanicznych. Wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że recyklat poliestrowo-szklany o małej granulacji można wykorzystać jako wypełniacz osnowy polimerowej do produkcji mniej odpowiedzialnych elementów kompozytowych.

Słowa kluczowe: recykling materiałowy, kompozyty z osnową polimerową, recyklat poliestrowo-szklany

INFLUENCE OF POLYESTER-GLASS FIBER RECYCLATE FILLER ON MECHANICAL PROPERTIES OF LAMINATES

The purpose of this project was to estimate the possibility of using polyester-glass fiber recycle as a filler of polymer matrix in composites. This work is a continuation of researches concerning influence of recycle on mechanical properties on composites with epoxy as a matrix. Using the recycle as a filler would be also one of the way of polymer composites utilization. The composites wastes were grinded to size below 0.3 mm. Recycle obtained after grinding was a powder fraction and was a mixture of cured polyester resin particles, glass fibers and agglomerates of composites particles. The polyester-glass fiber recycle was added to the resin, which was used as a matrix in laminates. Ten layers laminates consisted of polyester resin Estromal 14.LM-01 and glass fabric, with addition of 4, 10 and 20%wt. of recycle were made (Figs. 1, 2). A ten layers laminate with no addition of recycle was made as a comparable material (standard sample). The results of the mechanical properties of the laminates with the recycle have been presented (Figs. 3-6, 8). The values of bending strength, flexural modulus, impact strength, shear strength and tensile strength for the laminates were evaluated and compared with analogical properties appointed for standard sample. The results of investigation have shown that using of polymer composites wastes as a filler, do not lead to serious loss of the measured properties. It has been shown that content of the recycle practically do not have influence on studied mechanical properties. Disadvantageous influence of greater volume of recycle has been found only for tensile strength. The optimal properties were achieved for the laminate with addition of 4%wt. of recycle. Addition of recycle over 4%wt. require using more mixture of recycle and resin to impregnate the laminates, what significantly rise product's cost. This paper is a continuation of previous work concerning polyester-glass fiber laminates utilization, therefore it allows to compare mechanical properties of laminates with two different types of matrix (Table 1). It has been proved that it is much favourable using resin which is one of recycle components, since in this case the filler do not practically have influence studied properties. In conclusion, the results of the investigations allow to affirm, that the polymer composites waste of small granulation can be used as a filler in production of new composites, being also one of the way of duroplasts utilization.

Keywords: material recycling, polymer composites, polyester-glass fiber recycle

^{1,2} mgr inż., ³ dr inż.

WSTĘP

Ostatnie czterdzieści lat na rynku materiałów to bardzo duży wzrost udziału kompozytów polimerowych. Ale ostatnie lata to nie tylko szybki rozwój kompozytów polimerowych, ale również czas wzrostu świadomości ekologicznej. Obecnie bardziej niż kiedykolwiek producenci muszą zwrócić swoją uwagę na powstające odpady i opracowywać strategie związane z ich utylizacją. Zgodnie z obowiązującym prawem, każdy producent jest odpowiedzialny za odpady, zarówno produkcyjne, jak i odpady powstające po eksploatacji wyrobu [1]. Dlatego problem recyklingu musi być uwzględniony już w fazie projektowania produktu. W tym przypadku należy kierować się podstawowymi zasadami zdefiniowanymi już w ubiegłym stuleciu, a więc „design - for - recycling”, „design - for - dismantling” [2, 3].

Utylizacja odpadów kompozytów polimerowych jest wciąż problemem. Dotyczy to zwłaszcza kompozytów o osnowie duroplastycznej. Podstawową różnicą między recyklingiem termoplastów i kompozytów na osnowie duroplastycznej jest nietopliwość tych drugich oraz duża zawartość wypełniaczy mineralnych. Istnieje kilka sposobów utylizacji tego rodzaju materiałów. Najkorzystniejszy wydaje się być jednak recykling materiałowy. Odpowiednio dobrany sposób rozdrabniania materiału kompozytowego pozwala na odzyskanie włókien zbrojących oraz części rozdrobionej żywicy, które mogą być dodane do nowych kompozycji termoplastycznych lub duroplastycznych, zastępując część napelniaczy włóknistych lub proszkowych [5]. Wykorzystanie rozdrobionych odpadów kompozytowych jako materiału wypełniającego jest tematem wielu prac [4-6, 7-9, 11, 12]. Podstawowe problemy to dobór sposobu rozdrabniania, dzięki któremu możliwe jest oddzielenie włókien od żywicy, oraz wprowadzenie recyklatu do żywicy, tak aby nie wpływał on niekorzystnie na jej podstawowe właściwości. Dużo uwagi placówki badawcze poświęcają znalezieniu innych sposobów odzyskania włókna zbrojącego [4, 10, 13].

Niniejsza praca jest kontynuacją badań związanych z utylizacją włóknistych kompozytów polimerowych. We wcześniejszych badaniach zajmowano się laminatami żywica epoksydowa-włókno szklane z dodatkiem recyklatu poliestrowo-szklanego, uzyskując dobre właściwości mechaniczne. Jednak ze względu na specyfikę recyklatu, który składał się z cząstek żywicy poliestrowej, drobnych włókien szklanych oraz aglomeratów kompozytu żywica poliestrowa-włókno szklane, zdecydowano się na wykonanie laminatów o budowie przedstawionej w poprzedniej pracy, lecz jako osnowę kompozytu wykorzystano tym razem żywicę poliestrową. Badania miały na celu określenie wpływu recyklatu poliestrowo-szklanego, o małej granulacji, wykorzystanego jako napelniacz polimerowej osnowy, na właściwości mechaniczne laminatów poliestrowo-szklanych. Równocześnie,

będąc kontynuacją pracy z ubiegłego roku, pozwoliły na porównanie właściwości laminatów z dodatkiem recyklatu o dwóch różnych typach osnowy: żywicy epoksydowej i poliestrowej.

MATERIAŁ DO BADAŃ

Przygotowanie recyklatu

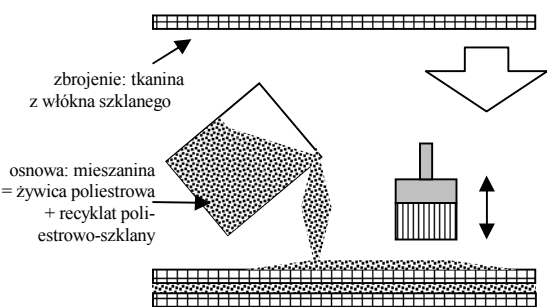
Do badań zostały użyte materiały odpadowe powstałe w trakcie produkcji konstrukcji kompozytowych wytwarzanych przez firmę „WENTECH” w Imielinie. Wykorzystane odpady do badań to: odpady poprodukcyjne, wadliwe i uszkodzone wyroby, zużyte wyroby kompozytowe. Osnową w tych kompozytach była żywica poliestrowa Estromal 14.LM-01, a zbrojeniem - mata lub tkanina z włókna szklanego. Udział objętościowy zbrojenia wynosił ok. 30%. Pozyskanie odpadów bezpośrednio od producenta umożliwia pominięcie procedury związanej z identyfikacją materiałów, co znacznie ułatwia przetwarzanie.

Do rozdrabniania użyto młynka krzyżowo-bijakowego SK 100 firmy Retch. Ważnym czynnikiem jest odpowiednia redukcja wielkości odpadów, aby w przypadku wykorzystania recyklatu jako wypełniacza łatwo było go wprowadzić do nowej osnowy. Recyklat poliestrowo-szklany był materiałem niejednorodnym, stanowiącym mieszaninę cząstek żywicy poliestrowej, bardzo drobnych włókien szklanych lub też aglomeratów cząstek kompozytu. Analiza sitowa wykazała, że recyklat stanowił frakcję proszkową o wielkości cząstek poniżej 0,3 mm.

Przygotowanie próbek do badań

Wykonano laminaty składające się z 10 warstw tkaniny szklanej o gramaturze 380 g/m², w których osnową była żywica poliestrowa Estromal 14.LM-01. Do żywicy wprowadzono 4, 10 lub 20% wag. recyklatu. Jako materiał porównawczy wykonano laminat składający się z 10 warstw tkaniny szklanej o gramaturze 380 g/m² przesyconej żywicą poliestrową Estromal 14.LM-01 bez dodatku recyklatu.

Pierwszym etapem wykonania próbek laminatów było wymieszanie żywicy poliestrowej z przyspieszaczem kobaltowym i inicjatorem (wodorotlenek metyloetyloketonu). Kolejnym krokiem było wprowadzenie do żywicy recyklatu, odpowiednio w ilości 4, 10 lub 20% wag. Składniki mieszano bardzo powoli, aby nie dopuścić do powstawania pęcherzy w mieszaninie, która była dalej wykorzystana jako osnowa w wykonanych laminatach. Proces wytwarzania laminatów polegał na przesycaaniu, otrzymaną wcześniej mieszaniną recyklatu i żywicy, kolejnych warstw tkaniny szklanej metodą la-

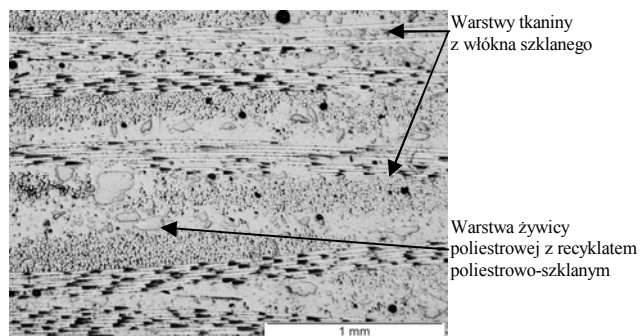


minowania kontaktowego. Proces ten był prowadzony w sposób przedstawiony na rysunku 1.

Rys. 1. Sposób wykonania laminatów z dodatkiem recyklatu jako wypełniacza osnowy

Fig. 1. The way of production of laminates with addition of recycilate as a matrix filler

Na warstwę tkaniny nanoszono żywicę z napelniaczem i rozprowadzano pędzlem do momentu uzyskania przesylenia tkaniny żywicą osnowy. W trakcie wykonywania laminatów można było zauważyć, że recyklat pozostawał na powierzchni tkaniny. Struktura laminatu z dodatkiem 20% wag. rozdrobnionych odpadów, przed-



stawiona na rysunku 2, wykazuje obecność cząstek recyklatu w obszarach pomiędzy warstwami zbrojącej.

Rys. 2. Przekrój laminatu z dodatkiem 20% wag. recyklatu

Fig. 2. Cross-section of laminate with addition of 20%wt. of recycilate

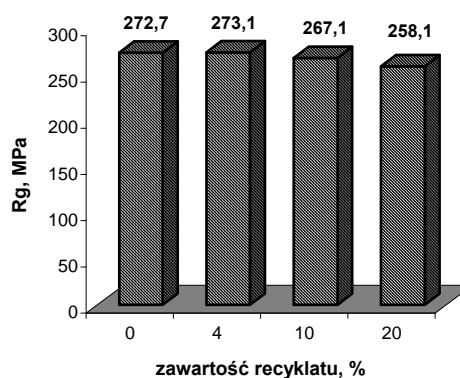
Próbki były starzone w temperaturze otoczenia przez okres dwóch miesięcy, a następnie wykorzystane do badań właściwości mechanicznych, takich jak zginanie, uderność, ścinanie międzywarstwowe oraz rozciąganie.

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH

W celu określenia wpływu recyklatu poliestrowo-szklanego na właściwości mechaniczne laminatów przeprowadzono badania wytrzymałości na zginanie, rozciąganie, ścinanie międzywarstwowe oraz uderności. Próby wytrzymałości na ścinanie, zginanie oraz rozciąganie przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej typu INSTRON 4468, natomiast badanie uderności

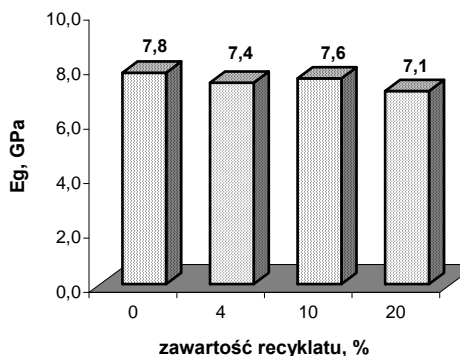
wykonano za pomocą młota wahadłowego (metoda Charpy'ego) o energii uderzenia 15 J.

Analizując wyniki otrzymane podczas przeprowadzonych prób wytrzymałościowych, widać, że dodanie recyklatu poliestrowo-szklanego nie powoduje znacznego spadku badanych właściwości podczas zginania statycznego i dynamicznego. Na uwagę zasługuje fakt, że zawartość recyklatu poliestrowo-szklanego praktycznie nie ma wpływu na badane właściwości. Spadek wytrzymałości na zginanie sięga zaledwie 3% (rys. 3). Większe różnice można zaobserwować w przypadku modułu zginania, a sięgają one 4,5% dla laminatów z dodatkiem 20% recyklatu (rys. 4).



Rys. 3. Zależność wytrzymałości na zginanie laminatów od zawartości recyklatu

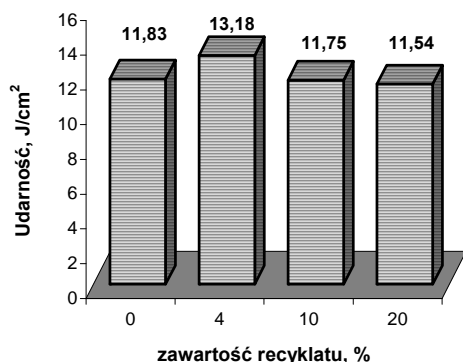
Fig. 3. Effect of content of recycilate on bending strength of laminates



Rys. 4. Zależność modułu zginania laminatów od zawartości recyklatu

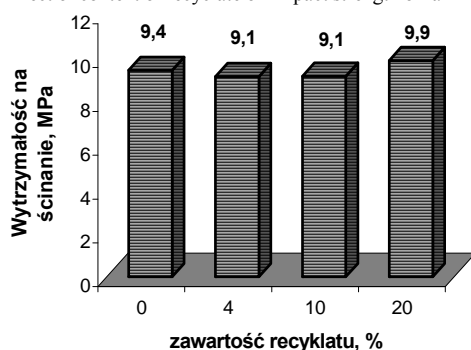
Fig. 4. Effect of content of recycilate on flexural modulus of laminates

Próba uderności podobnie jak próba zginania statycznego wykazała, że dodanie wypełniacza w postaci recyklatu poliestrowo-szklanego nie powoduje obniżenia badanej wielkości (rys. 5). Wartość uderności utrzymuje się na podobnym poziomie dla wszystkich próbek.



Rys. 5. Zależność udarności laminatów od zawartości recyklatu

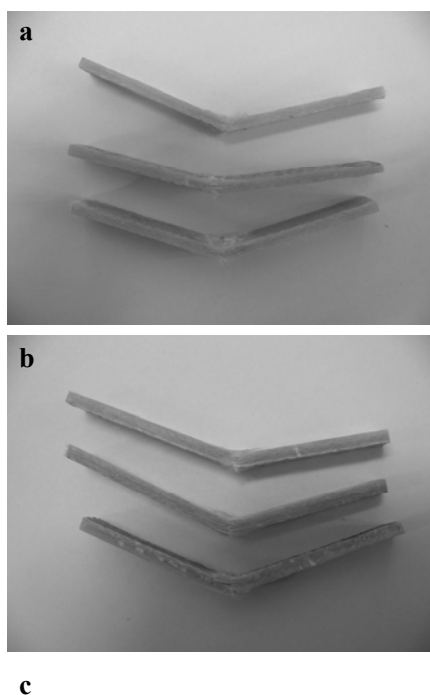
Fig. 5. Effect of content of recycilate on impact strength of laminates



Rys. 6. Zależność naprężenia ścinającego laminatów od zawartości recyklatu

Fig. 6. Effect of content of recycilate on shear strength of laminates

Zmienia się jednak mechanizm zniszczenia próbek (rys. 7). W przypadku małej zawartości recyklatu próbki nie uległy zniszczeniu rozłącznemu. Dopiero przy udziale 20% wag. nastąpiła całkowita dekohezja związana z dużym udziałem powierzchni rozdziału osnowa-recyklat oraz większej objętości pomiędzy warstwami tkaniny.

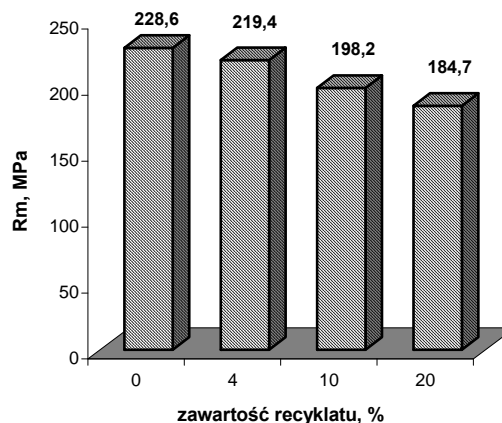


Rys. 7. Próbkilaminatów po próbie udarności: a) bez dodatku recyklatu, b) z dodatkiem 10% wag. recyklatu, c) z dodatkiem 20% wag. recyklatu

Fig. 7. Laminates specimens after impact test: a) without recycilate, b) with addition of 10%wt. of recycilate, c) with addition of 20%wt. of recycilate

Obok prób zginania oraz udarności przeprowadzono badanie wytrzymałości na ścinanie międzywarstwowe przy rozciąganiu próbek z naciętymi karami, która jest jedną z podstawowych prób do oceny właściwości laminatów. Jak widać na rysunku 6, wprowadzenie recyklatu praktycznie nie spowodowało większych różnic w wytrzymałości na ścinanie. Można zauważyć wzrost (o ok. 4,5%) wytrzymałości na ścinanie dla laminatów z dodatkiem 20% wag. recyklatu. Przyczyną wzrostu może być fakt, że wprowadzenie recyklatu w tak dużej ilości spowodowało zwiększenie grubości warstwy ulegającej ścinaniu, znajdującej się pomiędzy warstwami tkaniny (rys. 2). Recyklat może stanowić pewnego rodzaju zbrojenie, podwyższając wytrzymałość warstwy żywicy między tkaninami.

W przypadku wytrzymałości na rozciąganie, w przeciwieństwie do pozostałych prób wytrzymałościowych, stwierdzono, że wraz ze wzrostem zawartości recyklatu następuje spadek wytrzymałości na rozciąganie o ok. 4, 13 i 19% odpowiednio dla 4, 10 i 20% wag. wypełniacza, w porównaniu do laminatu bez dodatku (rys. 8).



Rys. 8. Zależność wytrzymałości na rozciąganie laminatów od zawartości recyklatu

Fig. 8. Effect of content of recycilate on tensile strength of laminates

Obniżenie wytrzymałości na rozciąganie może być związane ze zmniejszaniem się ilości żywicy, która służyła do przesycania tkanin szklanych. Osnową użytą do

wykonania laminatów była mieszanina recyklatu i żywicy. Już na etapie mieszania składników część żywicy posłużyła do przesylenia recyklatu. Zatem wraz ze wzrostem udziału rozdrobnionych odpadów w mieszaninie osnowy pozostawało mniej żywicy do nasycenia tkanin szklanych. Jest to jeden z minusów wykorzystania rozdrobnionych odpadów kompozytowych jako wypełniacza. Żywica, stanowiąca osnowę, służy nie tylko do przesylenia tkaniny szklanej będącej zbrojeniem laminatu, ale również do nasycenia wypełniacza, jakim jest recyklat. Należy zaznaczyć, że recyklat poliestrowo-szklany „chłonie” więcej żywicy aniżeli tradycyjne zbrojenie, ponieważ materiał odpadów ma większą powierzchnię właściwą. Podczas przeprowadzenia badań określono, że do przesylenia 10 warstw tkaniny szklanej należało użyć o 20% więcej mieszaniny recyklatu i żywicy poliestrowej w przypadku zawartości recyklatu 10% wag. oraz o ok. 40% więcej dla 20% wag. zawartości rozdrobnionych odpadów w porównaniu do laminatów z dodatkiem 4% wag. Jednocześnie w przypadku laminatów z dodatkiem 4% wag. można było zaobserwować, że recyklat tworzył z żywicą jednorodną kompozycję. Przy tak małym udziale nie napotkano również trudności technologicznych związanych z przesyleniem tkaniny szklanej w przeciwieństwie do wyższych udziałów, gdzie pojawiły się problemy w dokładnym nasyceniu zbrojenia.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania były kontynuacją pracy z poprzedniego roku. Zasadniczą różnicą było użycie innego rodzaju polimeru jako osnowy w laminatach. W poprzednich badaniach jako osnowę wykorzystano żywicę epoksydową [12]. W niniejszej pracy zdecydowano się jednak na zastosowanie jako osnowy żywicy poliestrowej, która była również jednym ze składników recyklatu.

Badania potwierdziły korzystniejszy wpływ żywicy

poliestrowej na zmianę właściwości mechanicznych ze zwiększaniem udziału recyklatu. Zmiana właściwości związana z udziałem recyklatu była bardziej widoczna w przypadku laminatów o osnowie z żywicy epoksydowej. Może to wynikać z podobieństwa materiałów między osnową a recyklatem. W przypadku laminatów żywica epoksydowa-włókno szklane uzyskano wyniki zadowalające. Jednak można było zaobserwować wyraźny spadek właściwości wytrzymałościowych wraz ze wzrostem udziału recyklatu. Natomiast badania laminatów żywica poliestrowa-włókno szklane wykazały, że udział recyklatu poliestrowo-szklanego praktycznie nie ma wpływu na badane właściwości mechaniczne. Niekorzystny wpływ większej ilości wypełniacza można stwierdzić jedynie w przypadku wytrzymałości na rozciąganie.

Można zatem wnioskować, że pomiędzy osnową a recyklatem można uzyskać lepsze połączenie, stosując żywicę, będącą również jednym ze składników recyklatu. Zatem w przypadku gdy znany jest skład osnowy recyklatu, można wykorzystać w konstrukcji nowych elementów zawierających recyklaty ten sam gatunek osnowy. Tabela 1 zawiera wyniki badanych właściwości mechanicznych dla obu typów laminatów oraz procentową zmianę właściwości w zależności od udziału recyklatu w stosunku do laminatów porównawczych (bez dodatku recyklatu).

Porównując wyniki dla laminatów o osnowie z żywicy poliestrowej i epoksydowej, widać, że poziom uzyskanych wartości właściwości mechanicznych zależy od rodzaju zastosowanej osnowy. Laminaty z osnową z żywicy epoksydowej, będącej materiałem o wyższych charakterystykach wytrzymałościowych w porównaniu z żywicą poliestrową, uzyskały ogólnie wyższy poziom wytrzymałości.

Analizując wyniki właściwości mechanicznych laminatów żywica poliestrowa-włókno szklane, widać, że wprowadzenie rozdrobnionych odpadów w małych ilościach może mieć korzystny wpływ. Optymalne wyniki

TABELA 1. Wyniki badań właściwości mechanicznych laminatów o osnowie żywicy poliestrowej i epoksydowej z dodatkiem recyklatu poliestrowo-szklanego

TABLE 1. Results of mechanical properties of polyester-glass fiber and epoxy-glass fiber laminates with addition of polyester-glass fiber recylcate

Rodzaj materiału	Laminaty żywica poliestrowa-włókno szklane				Laminaty żywica epoksydowa-włókno szklane				
	Udział recyklatu % wag.	0	4	10	20	0	4	10	20
Rodzaj próby									
Wytrzymałość na zginanie, MPa	276	279 (+1%)	272 (-1,4%)	267 (-3,3%)	419	401 (-4,3%)	393 (-6,2%)	349 (-16,7%)	
Moduł przy zginaniu, GPa	7,67	7,65 (-0,3%)	7,74 (+0,9%)	7,32 (-4,5%)	11,3	10,8 (-4,4%)	10,3 (-8,8%)	9,6 (-15%)	
Udarność, kJ/m ²	118	132 (+11%)	118 (0)	115 (-2,5%)	210	201 (-4,3%)	198 (-5,7%)	170 (-19%)	
Wytrzymałość na ścinanie, MPa	9,4	9,1 (-3,2%)	9,1 (-3,2%)	9,9 (+5,3%)	9,6	9,9 (+3,1%)	9,7 (+1%)	9,8 (+2%)	

zarówno pod względem właściwości wytrzymałościowych, jak i ilości użytej żywicy osiągnął laminat zawierający 4% recyklatu. Dodanie rozdrobnionych odpadów powyżej 4% wag. powoduje konieczność stosowania większej ilości mieszaniny żywicy poliestrowej i recyklatu do przesylenia kompozytu, co zwiększa koszt wyrobu.

Wprowadzając różnego rodzaju wypełniacze do laminatów, takie jak: krzemionka koloidalna czy krótkie włókna szklane, można świadomie kształtować ich właściwości fizyczne i mechaniczne. Wykorzystywanie takich wypełniaczy może również obniżyć koszty produkcji. Jednocześnie należy zawsze mieć na uwadze możliwości recyklingu końcowego wyrobu. Na podstawie powyższych zasad można stwierdzić, że wykorzystanie recyklatu poliestrowo-szklanego jako wypełniacza w laminatach jest dobrym rozwiązaniem. Nie tylko może obniżyć koszty produkcji, ale jest również propozycją sposobu utylizacji odpadów kompozytów polimerowych. Należy jednak pamiętać, że jest bardzo trudne lub prawie niemożliwe uzyskanie z odpadów materiału o równych lub korzystniejszych właściwościach użytkowych.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że laminaty poliestrowo-szklane, w których jako wypełniacz polimerowej osnowy wykorzystano recyklat składający się z tych samych komponentów co badany materiał, mogą być z powodzeniem zastosowane do wytwarzania mniej odpowiedzialnych elementów konstrukcyjnych, takich jak: obudowy, makiety, osłony itp.

Badania sfinansowane z projektu badawczego KBN 3T08E03426.

LITERATURA

- [1] Władarz M., *Gospodarka odpadami*, Warszawa 2003.
- [2] Bellman K., Khare A., *Technovation* 1999, 19, 721-734.
- [3] Błędzki A.K., Orth P., Tappe P., Rink M., Pawlaczyk K., *Polimery* 1999, 44, 4, 275-281.
- [4] Kowalska E., Wielgosz Z., Bartczak T., *Polimery* 2002, 2, 110-116.
- [5] Błędzki A.K., *Recykling materiałów polimerowych*, WNT, Warszawa 1997.
- [6] Myalski J., Śleziona J., VII Seminarium Naukowe, Katowice 1999, 377-382.
- [7] Hyla I., Myalski J., *Polimery* 1998, 10, 630-636.
- [8] Nowaczek W., *Polimery* 1999, 11-12, 758-764.
- [9] Pełka J., Kowalska E., *Polimery* 2001, 3, 201.
- [10] Pickering S.J., Kelly R.M., Kennerley J.R., Rudd C.D., Fenwick, N.J., *Composites Science and Technology* 2000, 60, 509-523.
- [11] Buggy M., Farragher L., Madden W., *Journal of Materials Processing Technology* 1995, 55, 448-456.
- [12] Rutecka M., Koziół M., Myalski J., *Kompozyty (Composites)* 2005, 5, 2, 68-73.
- [13] Kennerley J.R., Pickering S.J., Kelly R.M., Rudd C.D., Fenwick N.J., *Composites Part A* 1998, 29A, 829-845.

Recenzent
Ludomir Ślusarski