

Wojciech KUCHARCZYK<sup>1</sup>

## WPLYW OSNOWY NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI WYTRZYMAŁOŚCIOWE SZKLANÝCH LAMINATÓW EPOKSYDOWÝCH

*W artykule przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości mechanicznych szklanych laminatów epoksydowych w aspekcie stosowanej osnowy. Opisano ilościowy i jakościowy wpływ żywicy epoksydowej sieciowanej różnymi, i o różnym udziale, utwardzaczami na wytrzymałość właściwą  $R_m/\gamma$  [ $\text{kPa} \cdot \text{m}^3/\text{N}$ ] i sztywność właściwą  $E/\gamma$  [ $\text{kPa} \cdot \text{m}^3/\text{N}$ ] kompozytów (gdzie  $\gamma$  jest ciężarem właściwym). Właściwości wytrzymałościowe obliczone zostały na podstawie pomiarów statycznej próby rozciągania. Do wykonania próbek użyto żywicy epoksydową Epidian 601 sieciowaną utwardzaczami IDA i PAC. Wzmocnieniem była tkanina szklana o gramaturze  $1008 \text{ g/m}^2$ .*

## THE EFFECT OF MATRIX TAPE-MATTER ON SELECTED STRENGTH PROPERTIES OF EPOXY-GLASS LAMINATES

*At the paper the research results of selected strength properties of epoxy-glass laminates were introduced in aspect of applied matrix tape-matter. The properties were characterized by the static tensile test. Effect of epoxy matrix and chosen hardeners on specific tensile strength  $R_m/\gamma$  [ $\text{kPa} \cdot \text{m}^3/\text{N}$ ] (where  $\gamma$  is specific weight) and specific tensile stiffness  $E/\gamma$  [ $\text{kPa} \cdot \text{m}^3/\text{N}$ ] of composites were defined during the researches. Epoxy resins Epidian 601 cured with hardeners IDA or PAC impregnated the glass fabrics about  $1008 \text{ g/m}^2$  superficial weight. Researches were realized with the use of static methods of experimental design.*

### 1. WSTĘP

Do najczęściej stosowanych materiałów kompozytowych możemy zaliczyć kompozyty na bazie żywic epoksydowych. Żywice epoksydowe to tworzywa syntetyczne otrzymane w wyniku polikondensacji epichlorohydryny lub dwuchlorohydryny gliceryny z fenolami dwuwodorotlenowymi. Występują jako lepkie ciecze lub kruche ciała stałe, które dopiero w procesie utwardzania przekształcają się w nierozpuszczalne i nietopliwe tworzywa. Cechą charakterystyczną żywic epoksydowych jest dobra przyczepność do wielu materiałów (najczęściej do metali), odporność na warunki atmosferyczne oraz substancje

---

<sup>1</sup> Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny, Instytut Budowy Maszyn; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29.  
tel: + 48 48 361-76-80, Fax: + 48 48 361-76-75, e-mail: wojciech.kucharczyk@pr.radom.pl

chemiczne, dobre właściwości elektroizolacyjne, mechaniczne oraz wytrzymałościowe. Żywice epoksydowe są doskonałymi spoiwami używanymi do wyrobu laminatów wzmocnionych włóknem szklanym. Utwardza się je na zimno lub na gorąco, poprzez dodanie odpowiedniego utwardzacza. W połączeniu żywicy z włóknem szklanym, dzięki doskonałej adhezji, otrzymuje się materiał konstrukcyjny dorównujący wytrzymałością metalom, a zarazem lżejszy i bardziej odporny na korozję.

Laminaty epoksydowe stanowią obszerną rodzinę materiałów konstrukcyjnych, z których wytwarzane są wyroby szeroko stosowane w wielu dziedzinach techniki i życia codziennego. Z kompozytów wykonywane są zarówno proste nadkola samochodowe, jak i skomplikowane karoserie bolidów *Formuły 1*, łodzie rybackie oraz lekkie i sztywne morskie łodzie wyścigowe, artykuły AGD, słupy ogłoszeniowe i korpusy oraz elementy rakiet balistycznych, wykładziny przeciwdławkowe, skrzynki na piasek, hełmy oraz kamizelki kuloodporne. Można z nich wytwarzać zarówno setki tysięcy sztuk przegród silnikowych do samochodów osobowych, jak i pojedyncze reaktory lub zbiorniki przeznaczone do bardzo agresywnych związków chemicznych.

Żywice epoksydowe wzmocniane włóknem szklanym stanowią tworzywo o strukturze najczęściej anizotropowej, a więc nie mogą być rozpatrywane jako klasyczne materiały konstrukcyjne. Z praktyki wiadomo, że często te same materiały różnią się właściwościami w zależności od kolejnych partii dostarczonego materiału lub producenta. Dodatkową trudnością w określeniu właściwości żywic jest ich bardzo duża zależność od stosowanej technologii wykonania, a szczególnie od rodzaju użytych utwardzaczy, rozcieńczalników czy pigmentów. Również ewentualne porównywanie własności kompozytów z innymi materiałami, np. metalami musi opierać się na cechach konkretnego materiału kompozytowego.

Jednym z podstawowych kryteriów oceny każdego laminatu konstrukcyjnego jest określenie jego wytrzymałości na rozciąganie  $R_m$ , modułu sztywności  $E$  oraz wytrzymałości  $R_m/\gamma$  [ $\text{kPa} \cdot \text{m}^3/\text{N}$ ] i sztywności  $E/\gamma$  [ $\text{kPa} \cdot \text{m}^3/\text{N}$ ] właściwych ( $\gamma$  – ciężar właściwy). Właściwości te zależą przede wszystkim od rodzaju zastosowanej żywicy, utwardzacza, wzmocnienia, a także od ich udziału procentowego. [1]

Celem pracy jest określenie ilościowego i jakościowego wpływu żywicy epoksydowej sieciowanej różnymi, i o różnym udziale, utwardzaczami na wybrane właściwości wytrzymałościowe (wytrzymałość właściwą  $R_m/\gamma$  oraz właściwy moduł *Younga*  $E/\gamma$ ) szklanych laminatów epoksydowych.

## 2. METODYKA BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH

### 2.1. Dobór komponentów

Badane laminaty epoksydowe wytworzono na bazie żywicy *Epidian 601* oraz środków sieciujących: modyfikowanej cykloalifatycznej poliaminy i poliaminoamidu (o nazwach handlowych odpowiednio utwardzacz *IDA* oraz utwardzacz *PAC*); produktów Zakładów Chemicznych Organika-Sarzyna S.A. w Nowej Sarzynie (tab. 1). Jako wzmocnienie posłużyła tkanina szklana rovingowa STR 104/1-125 o gramaturze  $1008 \text{ g/m}^2$ , wyprodukowana przez Tkaniny Techniczne S.A. w Pabianicach.

Żywica *Epidian 601* jest niskolepką, klarowną kompozycją żywicy epoksydowej i rozcieńczalnika aktywnego o barwie żółtosłomkowej. Stosowana jest do impregnacji, wytwarzania laminatów z włóknem szklanym, sporządzania kompozycji z wypełniaczami

o różnym rozdrobnieniu i powłok bezrozpuszczalnikowych. Jej utwardzanie przy użyciu niektórych utwardzaczy jest możliwe nawet w niskich temperaturach (od 5 °C). [2]

Utwardzacz *PAC* stosowanym jest głównie do modyfikacji i utwardzania małowiązanych żywic i kompozycji epoksydowych. Jest to niskoreaktywna, lepka ciecz, która może być używana z żywicami w szerokim zakresie wzajemnych stosunków wagowych (50 ÷ 100 ns). Żywotność kompozycji epoksydowej z utwardzaczem *PAC* wynosi kilka godzin a całkowite utwardzenie zachodzi w ciągu 4 ÷ 7 dni. Kompozycje bogatsze w *PAC* dają tworzywa bardziej elastyczne, odporniejsze na uderzenia lecz mniej twarde. [2]

Utwardzacz *IDA* jest niewrażliwy na wilgoć, stosowany głównie do mas posadzkowych, laminatów epoksydowo-szklanych na nośniku betonowym, drewnianym, stalowym. Dzięki niemu uzyskuje się powierzchnię o doskonałej gładkości i wysokim połysku. Utwardzanie z jego użyciem przebiega w temperaturze pokojowej. [2]

Tab. 1. Wybrane właściwości stosowanej żywicy epoksydowej i utwardzaczy [2]

Parametry jakościowe	Utwardzacz		
	<i>Epidian 601</i>	<i>IDA</i>	<i>PAC</i>
liczba epoksydowa [mol/100g]	0,50 ÷ 0,55	–	–
gęstość w temperaturze 20 °C [kg/m <sup>3</sup> ]	1,14 · 10 <sup>3</sup>	(1,00 ÷ 1,03) · 10 <sup>3</sup>	(1,15 ÷ 1,2) · 10 <sup>3</sup>
lepkość w temperaturze 25 °C [mPa·s]	700 ÷ 1 100	150 ÷ 300	(1 ÷ 4) · 10 <sup>4</sup>

## 2.2. Plan badań doświadczalnych

Liczba wykonywanych doświadczeń oraz ich składy fazowe zostały ustalone na podstawie przyjętego planu badań doświadczalnych, (tab. 2) [3, 4], czyli ortogonalnej macierzy pełnoczynnikowej I rzędu typu 2<sup>3</sup> z powtórzeniami. Trzema parametrami wejściowymi  $x_i$  o wartościach kodowych na dwu poziomach (dolnym –1 i górnym +1) były składniki kompozytu:

$x_1$  – rodzaj utwardzacza żywicy: *IDA* (–1) i *PAC* (+1);

$x_2$  – udział utwardzacza w masie osnowy kompozytu: 30% ≡ 43 ns (–1) i 40% ≡ 67 ns (+1);

$x_3$  – masowy udział osnowy kompozytu: 35% (–1) i 55% (+1).

Składowymi funkcji odpowiedzi  $y$  (parametrami wyjściowymi) były: średnia wytrzymałość właściwa  $R_m/\gamma$  [kPa · m<sup>3</sup>/N] (gdzie  $\gamma$  jest ciężarem właściwym) oraz średnia sztywność właściwa  $E/\gamma$  [kPa · m<sup>3</sup>/N] kompozytów – wartości obliczone na podstawie pomiarów statycznej próby rozciągania.

Rzeczywiste składy fazowe, wraz z ich zapisem kodowym, badanych laminatów epoksydowych zaprezentowano w tabeli 3.

Tab. 2. Pełnoczynnikowa macierz planowania I rzędu typu  $2^3$  z powtórzeniami [3, 4]

$j^*$	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1x_2x_3$	$y_j$
1	+	-	-	-	+	+	+	-	
2	+	+	-	-	-	-	+	+	
3	+	-	+	-	-	+	-	+	
4	+	+	+	-	+	-	-	-	
5	+	-	-	+	+	-	-	+	
6	+	+	-	+	-	+	-	-	
7	+	-	+	+	-	-	+	-	
8	+	+	+	+	+	+	+	+	
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{123}$	

\* wartość „ $j^*$ ” oznacza numer próby i jednocześnie numer kompozytu, którego skład fazowy określony jest układem zmiennych  $x_i$

Współczynniki regresji:  $b_1, b_2, b_3$  oraz interakcji:  $b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$  określają wpływ danej wielkości wejściowej (lub kilku wielkości, czyli interakcję) na  $\bar{y}$ , czyli wartość wyjściową według równania funkcji obiektu badań (1) [3, 4]:

$$\bar{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (1)$$

Wartości współczynników regresji oblicza się z relacji (2):

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^8 x_{ij} \cdot \bar{y}_j}{N} \quad i = 0, 1, 2, 3 \quad (2)$$

Analiza statystyczna otrzymanych wyników prowadzona jest w celu określenia progu istotności współczynników regresji  $b_i$  i oceny ich wpływu na wartość parametru wyjściowego  $\bar{y}$  według poniższych zależności [3, 4]. Wariancja (3) oraz błąd wyznaczenia współczynników regresji (4):

$$s(\bar{y}) = \sqrt{\frac{\sum d_j^2}{2N}} \quad (3) \quad s(b_i) = \sqrt{\frac{s^2(\bar{y})}{N}} \quad (4)$$

gdzie:  $d_j = \bar{y} - y_{jk}$  ( $\bar{y}$  – wartość średnia z  $k$  pomiarów;  $y_{jk}$  - wartość  $k$ -tego pomiaru w  $j$ -tym doświadczeniu;  $k = 1, 2$ ;  $N$  - liczba doświadczeń).

Sprawdza się warunek (5), skąd po przekształceniach otrzymuje się (6) i (7):

$$\frac{b_i \cdot \sqrt{N}}{s(\bar{y})} = t_{obl.} \quad (5) \quad b_i = \frac{2,306 \cdot s(\bar{y})}{\sqrt{N}} \quad (6)$$

$$b_{istot} \geq b_i = \frac{2,306}{\sqrt{8}} \cdot s(\bar{y}) = 0,8153 \cdot s(\bar{y}) \quad (7)$$

gdzie: dla rozkładu  $t$ -Studenta;  $t_{obl} \gg t_{tabl}$  ( $t_{tabl} = 2,306$  przy liczbie stopni swobody  $f = 8$  i prawdopodobieństwie  $P = 95\%$ ).

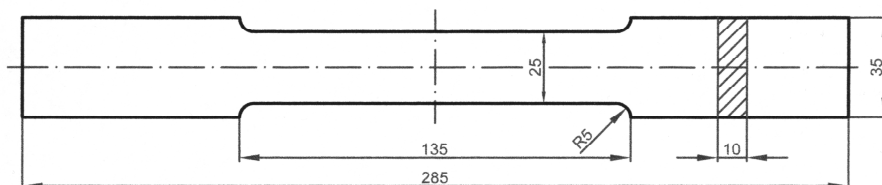
Przeprowadzona analiza statystyczna – dla przyjętego planu badań pierwszego rzędu – pozwala określić wpływ zmiany wartości poszczególnych zmiennych niezależnych na wartości wszystkich składowych funkcji odpowiedzi oraz daje możliwość określenia rodzaju tego wpływu. Analizując współczynniki regresji i ich znaki, można ocenić, dla jakich zmiennych niezależnych, z przyjętego przedziału badań, poszczególne wartości parametrów badawczych (zmiennych zależnych) maleją, rosną lub nie zmieniają swojej wartości. Informacja ta, w połączeniu z ograniczeniami technologicznymi regulującymi zarówno wielkość, jak i położenie przedziału zmienności zmiennych wejściowych, pozwala wskazać kierunek poszukiwań optymalnego składu fazowego badanej grupy laminatów epoksydowych pod kątem wysokich właściwości wytrzymałościowych.

Tab. 3. Zapis zmiennych kodowych i rzeczywiste składy fazowe kompozytów

Nr próby	Rodzaj utwardzacza osnowy ( $x_1$ )		Udział utwardzacza w masie osnowie ( $x_2$ )		Masowy udział osnowy kompozytu ( $x_3$ )	
1	–	IDA	–	30%	–	35%
2	+	PAC	–			
3	–	IDA	+	40%	–	
4	+	PAC	+			
5	–	IDA	–	30%	+	55%
6	+	PAC	–			
7	–	IDA	+	40%	+	
8	+	PAC	+			

### 2.3. Badania wytrzymałościowe

Próbki do przeprowadzenia statycznej próby rozciągania formowane były w metalowych, dzielonych, zamykanych formach z przesycaniem ręcznym warstw tkanin szklanych w *Instytucie Budowy Maszyn Politechniki Radomskiej*. Badania wytrzymałościowe wykonano na próbkach płaskich o grubości 10 mm (rys. 1). Kształt oraz pozostałe wymiary próbek, zostały dobrane według zaleceń normy ISO [5].



Rys. 1. Kształt i wymiary próbek stosowanych w statycznej próbie rozciągania [5]

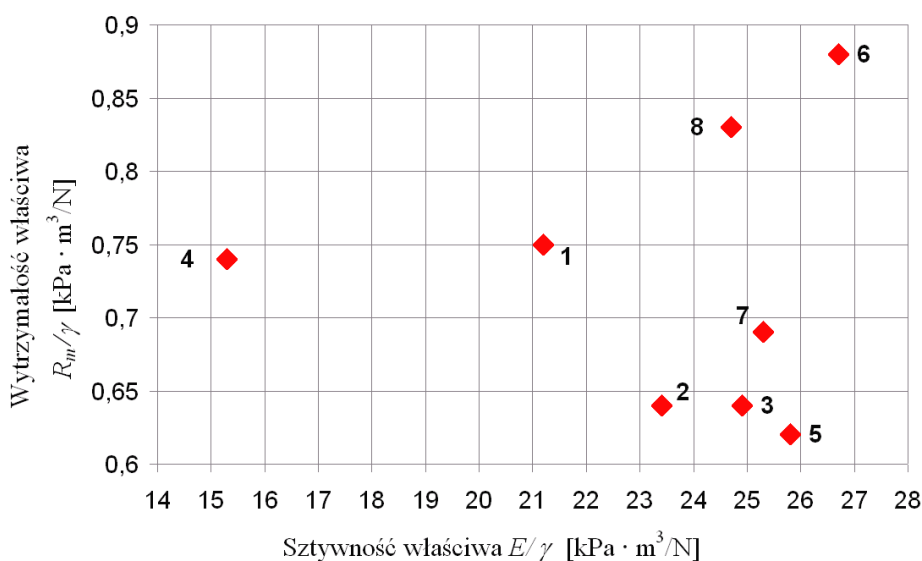
Styczna próba rozciągania próbek badawczych została wykonana w *Laboratorium Wytrzymałości Materiałów Wydziału Mechanicznego Politechniki Radomskiej*, w warunkach określonych w normach PN-EN 10002-1+AC1 oraz PN-EN ISO 527 na maszynie

wytrzymałościowej typu LFM 20-125 kN firmy *Walter+Baiag* z prędkością rozciągania 5 mm/min. Zerwania próbek następowały na odcinkach pomiarowym, co świadczy o jednorodności materiału i ograniczeniu wad technologicznych.

Wyniki obliczeń wartości składowych funkcji odpowiedzi przedstawiono w tabeli 4, a ich graficzną interpretację na rysunku 2.

Tab. 4. Parametry wytrzymałościowe i gęstość badanych kompozytów

Parametr	Numer próby							
	1	2	3	4	5	6	7	8
utwardzacz [%]	IDA	PAC	IDA	PAC	IDA	PAC	IDA	PAC
osnowa:	35%				55%			
	udział % (skład)	(E601+ 43 ns)			(E601+ 67 ns)			(E601+ 67 ns)
$R_m/\gamma$ [kPa · m <sup>3</sup> /N]	0,75	0,64	0,64	0,74	0,62	0,88	0,69	0,83
$E/\gamma$ [kPa · m <sup>3</sup> /N]	21,2	23,4	24,9	15,3	25,8	26,7	25,3	24,7
$\rho \cdot 10^3$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1,33	1,43	1,42	1,33	1,47	1,46	1,47	1,43



Rys. 2. Wyniki badań sztywności  $E/\gamma$  i wytrzymałości  $R_m/\gamma$  właściwych kompozytów

Poszukiwano takiego składu fazowego kompozytu, dla którego wytrzymałość właściwa  $R_m/\gamma$ , jak również właściwy moduł Younga  $E/\gamma$  przyjmują wartości największe. Warunki te spełnia próbka numer 6 o składzie fazowym: 30% (43 ns) utwardzacza PAC i 55% udziału osnowy w kompozycie (rys. 2). Należy jednak nadmienić, że wysoka wytrzymałość właściwa jest pożądana w każdym przypadku konstrukcyjnego zastosowania laminatów epoksydo-

wych, w odróżnieniu od wysokiej sztywności właściwej. W niektórych zastosowaniach poszukiwane są bowiem materiały kompozytowe na bazie włókien szklanych i żywic epoksydowych o mniejszej sztywności, ponieważ wówczas pod obciążeniem łatwiej ulegają odkształceni sprężystemu (np. w lotnictwie, gdzie strzałka ugięcia skrzydeł ma duże znaczenie eksploatacyjne).

### 3. ANALIZA STATYSTYCZNA WYNIKÓW BADAŃ

W oparciu o wyniki zawarte w tabeli 4 wykorzystując wzory (2), (3), (4) i (7) obliczono: współczynniki regresji, wariancję, błąd wyznaczania oraz poziom istotności współczynników regresji. Wyniki obliczeń zamieszczono w tabeli 6. Czcionką **pogrubioną** oznaczono wartości  $b_i$  – co prawda mniejsze od  $b_{istot}$  – ale obciążone błędem  $s(b_i)$ , który pozwala oszacować  $b_i$  jako statystycznie istotne. Puste miejsca w tabelach oznaczają, że dany współczynnik jest nieistotny z punktu widzenia analizy statystycznej i został pominięty.

Analiza wartości współczynników  $b_i$  oraz znaków występujących przed nimi umożliwia ocenę wpływu udziałów poszczególnych zmiennych niezależnych  $x_i$  na wartość danej wyjściowej (funkcji odpowiedzi).

Tab. 6. Obliczenia statystyczne współczynników równań składowych funkcji odpowiedzi

Funkcja odpowiedzi	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{123}$	$s(\bar{y})$	$s(b_i)$	$b_{istot}$
$R_m/\gamma$ [kPa · m <sup>3</sup> /N]	0,75	0,08	-0,03		<b>-0,02</b>	<b>0,02</b>	0,03		0,04	0,01	0,03
$E/\gamma$ [kPa · m <sup>3</sup> /N]	23,3			2,1	<b>-1,8</b>	<b>1,1</b>		<b>1,2</b>	2,5	0,9	2,0

Dla przyjętego zakresu zmienności zmiennych niezależnych największy wpływ na wytrzymałość właściwą ma zmienna  $x_1$  określająca rodzaj utwardzacza. Utwardzacz PAC zdecydowanie zwiększa wytrzymałość właściwą laminatu epoksydowego w przeciwieństwie do utwardzacza IDA. Istotny wpływ ma także zmienna  $x_{23}$ , oznaczająca masowe udziały: utwardzacza w osnowie i osnowy w kompozycie. Zwiększając udział utwardzacza i jednocześnie udział osnowy powoduje się wzrost wartości wytrzymałości właściwej, tym bardziej, jeśli utwardzaczem tym jest PAC (dodatni współczynnik). Mniej istotny wpływ ma zmienna  $x_2$ , która występuje ze znakiem „-”. Oznacza to, że wzrost zawartości wyłącznie utwardzacza wpływa niekorzystnie na wytrzymałość właściwą, powodując spadek jej wartości. Minimalny wpływ ma zmienna  $x_{13}$ , która oznacza, że wraz ze zwiększaniem udziału osnowy przy jednoczesnym zastosowaniu utwardzacza PAC dla jego niższych wartości zwiększa się wytrzymałość właściwa szklanych laminatów epoksydowych.

Największy wpływ na wartość właściwego modułu Younga (sztywność właściwą) ma zmienna  $x_3$ . Oznacza ona masowy udział osnowy w kompozycie. Wraz ze wzrostem jej zawartości zwiększa się wartość sztywności właściwej. Istotny wpływ ma zmienna  $x_{12}$ . Zwiększanie tylko zawartości utwardzacza PAC w osnowie (zmienna  $x_{12}$ ) wpływa niekorzystnie na wartość sztywności właściwej powodując jej spadek. Przeciwnie dzieje się ze zmienną  $x_{13}$ . Wzrost masowego udziału osnowy z jednoczesnym zastosowaniem mniejszej zawartości utwardzacza PAC powoduje wzrost wartości właściwego modułu Younga. Na

granicy istotności znajduje się zmienna  $x_{123}$ . Interakcja wszystkich zmiennych na górnym poziomie, czyli większa zawartość jednocześnie utwardzacza PAC w osnowie i osnowy w kompozycje powoduje zwiększenie sztywności właściwej.

#### 4. WNIOSKI

1. Z analizy statystycznej wynika, że największy wpływ na wytrzymałość właściwą kompozytu epoksydowego ma rodzaj zastosowanego utwardzacza. Próbki usieciowane utwardzaczem PAC odznaczają się lepszą wytrzymałością właściwą  $R_m/\gamma$  niż te z utwardzaczem IDA.
2. Wyższe wartości wytrzymałości właściwej  $R_m/\gamma$  uzyskuje się również w przypadku, gdy jednocześnie ze zwiększaniem udziału epoksydowej osnowy w kompozycje zwiększa się zawartość utwardzacza w osnowie ( $b_{23}$ ), a dla największych zawartości żywicy epoksydowej (55%) – gdy utwardzaczem tym jest wyłącznie PAC.
3. Na wartość modułu Younga (właściwego) największy wpływ ma masowy udział osnowy w kompozycje. Zwiększając zawartość osnowy z 35% do 55% uzyskujemy coraz większą sztywność właściwą  $E/\gamma$ .
4. Spadek wartości sztywności właściwej obserwuje się ze zwiększeniem udziału utwardzacza PAC ( $b_{12}$ ) dla średniej (45%) zawartości osnowy. Jednakże już dla wyższych zawartości osnowy (55%) zastosowanie utwardzacza PAC ( $b_{13}$ ) i jednocześnie zwiększenie jego udziału w osnowie ( $b_{123}$ ) powoduje wzrost sztywności właściwej  $E/\gamma$  kompozytu.
5. Jak wynika z analizy statystycznej ilość i rodzaj zastosowanego utwardzacza ma duży wpływ głównie na wytrzymałość właściwą  $R_m/\gamma$ . W przypadku sztywności właściwej  $E/\gamma$  mniej istotne jest, jakiego i w jakiej ilości użyto utwardzacza dla niskich zawartości pozostałych zmiennych. Istotny jest natomiast rodzaj użytego utwardzacza w połączeniu z jego dawkowaniem ( $b_{12}$ ) oraz rodzaj i ilość utwardzacza w połączeniu z wyższym udziałem osnowy ( $b_{13}$  i  $b_{123}$ ).
6. Duży wpływ na własności laminatów epoksydowych ma technologia wykonania próbek – głównie w aspekcie przesycania żywicą. Dla uzyskania lepszych właściwości wytrzymałościowych należałoby zastosować metody podciśnieniowe lub pompę próżniową. Pozwoliłoby to na efektywniejsze przesycenie tkaniny szklanej żywicą oraz usunięcie pęcherzy powietrza powstałych na skutek mieszania żywicy z utwardzaczem.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Boczkowska A., Kapuściński J., Lindemann Z., Witemberg-Perzyk D., Wojciechowski S.: *Kompozyty*, Warszawa, Wyd. Politechniki Warszawskiej 2000.
- [2] Materiały marketingowe Zakładów Chemicznych Organika-Sarzyna S.A. w Nowej Sarzynie, 2007.
- [3] Polański Z.: *Planowanie doświadczeń w technice*, Warszawa, PWN 1984.
- [4] Leszek W.: *Badania empiryczne. Wybrane zagadnienia metodyczne*. Radom, Wyd. ITE 1997.
- [5] PN-EN ISO 527-1:1998. *Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu. Zasady ogólne*.
- [6] Kucharczyk W., Mazurkiewicz A., Żurowski W.: *Nowoczesne materiały konstrukcyjne – wybrane zagadnienia*. Wyd. II, Radom, Wyd. Polit. Radomskiej 2010.