

Martyna ROSZOWSKA, Marcin KOSTRZEWA  
Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu,  
Katedra Materiałów Organicznych  
e-mail: m.kostrzewa@uthrad.pl

## Właściwości wytrzymałościowe nanokompozytów o osnowie żywicy epoksydowej modyfikowanej termoplastami

**Streszczenie:** *Celem pracy było wytworzenie nanokompozytów z osnową typu semi-IPN utworzoną z żywicy epoksydowej (Epidian 5), tworzywa termoplastycznego (PVC lub ABS), nanonapełniacza Cloisite 30B i utwardzono trietylenotetraaminą (Z1). Praca była realizowana w dwóch etapach. Najpierw przygotowywano i testowano serię kompozycji zawierającej 2,5-10% wag. PVC lub ABS. Na podstawie wyników wybrano kompozycje 2,5% ABS i 7,5% PVC i dodano do nich nanonapełniacz Cloisite 30B w ilości od 1-3%. Nanokompozyty otrzymano poprzez zdypergowanie nanocząstek w postaci dyspersji przy zastosowaniu homogenizacji mechanicznej i ultradźwiękowej. Oznaczono właściwości wytrzymałościowe takie jak: udarność, współczynnik krytycznej intensywności naprężeń (Kc) oraz odporność na trójpunktowe zginanie wraz z modulem sprężystości przy zginaniu.*

**Słowa kluczowe:** *nanokompozyty, osnowa IPN, żywica epoksydowa, termoplast, właściwości mechaniczne*

### MECHANICAL PROPERTIES OF NANOCOMPOSITES BASED ON EPOXY RESIN MATRIX MODIFIED WITH THERMOPLASTIC POLYMERS

**Abstract:** *This article describes the preparation of nanocomposites with semi IPN matrix based on epoxy resin/thermoplastic polymer system. As a nanofiller organomodified montmorillonite – Cloisite 30B was dispersed. The work was realized in two steps. First a series of composition containing 2,5 -10 % w/w of PVC or ABS was prepared and tested to chose the amount of polymeric modifier for nanocomposite. Based on the results the amount of 2,5% ABS and 7,5% of PVC was chosen to obtain nanocomposites containing 1-3 % of Cloisite 30B. For components dispergation mechanical and ultrasonic homogenization was treated. All obtained composites were tested for mechanical properties determination.*

**Keywords:** *nanocomposites, IPN matrix, epoxy resin, thermoplastic polymer, mechanical properties*

## 1. WPROWADZENIE

Materiały kompozytowe na bazie zmodyfikowanej żywicy epoksydowej są wciąż tematem intensywnych badań. Modyfikacja żywicy polegająca na wprowadzaniu innego polimeru jako modyfikatora jest bardzo interesująca z uwagi na możliwość otrzymania nowego materiału, którego właściwości mogą być w pewnym zakresie regulowane przez udział wagi jak i typ użytego dodatku.

W niniejszej pracy przeprowadzono badania nad układem żywica epoksydowa-polimer

termoplastyczny. Typowe termoplasty nie reagują z żywicami epoksydowym. Najczęściej stosuje się kompozycje, w których do żywicy epoksydowej dodaje się niewielką ilość polimeru termoplastycznego w celu uplastycznienia. W takich układach nie ma wiązań chemicznych między komponentami. Układy takie mogą tworzyć przenikające się sieci polimerowe - semi-IPN [1].

Wzajemnie przenikające się sieci polimerowe mogą być również wykorzystane do otrzymywania nanokompozytów jako osnowy polimerowe. W pracy Lee i współtwórców [2] badano wpływ

montmorylonitu na właściwości mechaniczne i morfologię nanokompozytu żywicy epoksydowej modyfikowanej kauczukiem butadienowo – akrylonitrylowym o łańcuchach zakończonych grupami karboksylowymi (ATBN). Dowiedziano, że montmorylonit jest dobrze dyspergowany w nanokompozycie wzmocnionym ATBN. Utwardzacz przyczynia się do interkalacji montmorylonitu, pozwalając na utratę uporządkowanej struktury warstwowej kompozytu.

Kolejnym przykładem są badania własne autora pracy [3], gdzie przeprowadzono badania na bazie żywicy epoksydowej zmodyfikowanej liniowym poliuretanem. Tak zmodyfikowana żywica może być zastosowana jako faza ciągła w mikro- i nanokompozytach polimerowych. Do modyfikacji żywicy epoksydowej zostały wybrane poliuretany, które z żywicą epoksydową oprócz fizycznego splątania łańcuchów polimerowych mogą reagować, tworząc wzajemnie przenikające się sieci polimerowe z wiązaniami międzysieciowymi, tzw. szczepione IPN. Epoksydy i poliuretany można sieciować w obecności tego samego związku sieciującego bądź z wykorzystaniem dwóch odmiennych środków sieciujących. Najprostszym sposobem do otrzymania IPN jest reakcja grup izocyjanianowych poliuretanu z grupami hydroksylowymi żywicy epoksydowej. W przypadku modyfikacji żywic epoksydowych poliuretanami, właściwości produktu końcowego zależą w dużym stopniu od właściwości poliuretanu, a konkretniej od substratów użytych do jego syntezy. Im dłuższy łańcuch polioliu użytego do syntezy, tym większa jest ilość segmentów elastycznych w poliuretanie. Jednocześnie ze wzrostem długości segmentów giętkich obserwuje się wzrost elastyczności i wydłużenia przy zerwaniu. Następuje jednak spadek twardości, modułu sprężystości oraz wytrzymałości na ścieranie w stosunku do czystej żywicy epoksydowej.

W publikacjach zespołu z Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu [4] można znaleźć informacje o zastosowaniu montmorylonitu jako nanonapełniacza w epoksydowo-uretanowych szczepionych IPN na bazie izo-

cyjanianów. Napełniacz został zdyspergowany w żywicy epoksydowej metodą ultradźwięków i całościowo przereagowano z prepolimerem uretanowym. Najlepsze właściwości mechaniczne i optymalną temperaturę zeszklenia stwierdzono przy zawartości 3% nanonapełniacza. Polepszenie właściwości mechanicznych i termicznych nanokompozytu tłumaczy się istnieniem synergizmu między jego składnikami. Nie stwierdzono natomiast wpływu modyfikatora na strukturę chemiczną powstałego IPN, wskazując jednak na duże polepszenie właściwości mechanicznych i wodoodporności kompozytu [4].

W literaturze występuje bardzo mało informacji na temat nanokompozytów na bazie żywicy epoksydowej z osnową typu IPN zawierającą polimery termoplastyczne. Celem pracy Barral-Losada [5] była analiza wpływu modyfikatora termoplastycznego na kinetykę degradacji przy użyciu techniki termogravimetrycznej. Do tego celu użyto żywicy epoksydowej i kopolimer akrylonitrylo-butadienowo-styrenowy ABS. Przygotowano mieszaninę żywicy z 0%, 5%, 10% i 15% zawartością ABS. W pracy określono wpływ termoplastu na właściwości mechaniczne otrzymanego kompozytu. Zbadano naprężenie i wydłużenie przy zerwaniu, moduł Younga i wytrzymałość w różnych temperaturach, okazało się że najlepsze właściwości wykazywała próbka z 10% zawartością ABS.

Z kolei wprowadzenie polichloroku winylu do żywicy epoksydowej w postaci plastizolu było tematem badań zespołu z Uniwersytetu w Alicante [6]. Zaobserwowano małą stabilność cieplną plastizolu, w związku z tym wystąpił również spadek odporności termicznej otrzymanego produktu. Zbadane właściwości mechaniczne wykazały, że wraz ze wzrostem zawartości modyfikatora wystąpił spadek wytrzymałości na rozciąganie. Dodanie modyfikatora doprowadziło do zmniejszenia modułu Younga.

Na podstawie przeglądu literatury można stwierdzić, że dodatek termoplastu może poprawiać właściwości mechaniczne polimerów. Natomiast wprowadzenie do osnowy polimerowej nanododatku ma na celu nadanie kompozy-

tom odpowiednich właściwości mechanicznych. Zmniejszając wymiary ziaren napełniacza możliwe jest osiągnięcie dużo lepszych właściwości fizycznych i mechanicznych osnowy polimerowej. Kompozyty polimerowe z napełniaczami o cząstkach nanometrycznych wyróżniają się bowiem większą stabilnością termiczną, wytrzymałością na ściskanie i rozciąganie, lepszą odpornością na ścieranie, mniejszą przepuszczalnością gazów oraz dobrymi właściwościami ślizgowymi pozwalającymi na zastosowanie ich jako elementy bezsmarowe w częściach maszyn. Dodanie 2-3% masowych nanonapełniacza odpowiada 30-50% mikronapełniacza. Natomiast większa ilość tego typu napełniaczy powoduje wzrost kosztów produkcji oraz wzrost kruchości i lepkości tworzywa [7,8].

W niniejszej pracy podjęto próbę wytworzenia nanokompozytu z osnową zbudowaną z układu żywica epoksydowa/termoplast. Do modyfikacji zastosowano polichlorek winylu (PVC) i kopolimer akrylonitryl-butadien-styren (ABS), natomiast jako nanonapełniacz zastosowano modyfikowany montmorylonit (Cloisite 30B).

## 2. MATERIAŁY UŻYTE W BADANIACH

Do otrzymania nanokompozytów jako osnowę polimerową wybrano handlową żywicę epoksydową Epidian 5 (Organika Sarzyna), którą zmodyfikowano tworzywem termoplastycznym (PVC lub ABS) i nanonapełniaczem Cloisite 30B.

Pracę zrealizowano w dwóch etapach. W pierwszym przygotowano dwie serie kompozycji zawierających układ żywica epoksydowa/PVC oraz żywica epoksydowa/ABS. Na podstawie obliczeń określono ilość polimerów termoplastycznych, które były dodawane do żywicy epoksydowej, aby uzyskać stężenie od 2,5% wag. do 10% wag. Po utwardzeniu kompozycje zostały poddane badaniom wytrzymałościowym w celu określenia optymalnego stężenia PVC i ABS w żywicy epoksydowej.

W drugim etapie na podstawie otrzymanych rezultatów wybrano skład kompozycji żywica epoksydowa/termoplast do przygotowania na-

nokompozytów zawierających jako nanonapełniacz bentonit zmodyfikowany IV-rzędową solą amoniową w stężeniu 1%, 2% i 3% wag.

Do przygotowania nanokompozytu z PVC użyto sproszkowany termoplast, ftalan dibutyli, stearynian Ca i nanonapełniacz Cloisite 30B. Całość ucierano w młynku do uzyskania konsystencji pasty. Do żywicy epoksydowej Epidian 5, dodano pastę PVC i poddano zdyspergowaniu na mieszadle mechanicznym (Heidolph Diax 600) przez 30 min i na mieszadle ultradźwiękowym (Hielscher UP200H) przez 10 min. Natomiast nanokompozyt z ABS przygotowano poprzez rozpuszczenie granulki termoplastu w acetonie i wymieszanie z nanonapełniaczem, a następnie połączono z żywicą epoksydową na mieszadle mechanicznym (Heidolph Diax 600) przez 30 min i na mieszadle ultradźwiękowym (Hielscher UP200H) przez 10 min. Kompozyty zawierające termoplasty były utwardzane w temperaturze pokojowej przy użyciu trietylenotetraaminy (Utwardzacz Z-1) oraz dotwardzane przez 3 godz. w 80°C.

## 3. OPIS BADAŃ

Otrzymane kompozyty poddano badaniom wytrzymałościowym w celu określenia zależności pomiędzy składem kompozytu, zawartością modyfikatorów a ich właściwościami mechanicznymi. Odporność na propagację pęknięcia określono przez pomiar udarności wg. metody Charpy'ego (aparatury Zwick 5012) wg. normy PN-EN ISO 179 w temperaturze pokojowej. Użyto próbek o wymiarach 80mm x 10mm x 4mm z karbem o głębokości 1mm. Badanie przeprowadzono na młocie o energii 2J i rozstawie podpór 60 mm. Krytyczny współczynnik intensywności naprężeń  $K_{IC}$  oznaczono podczas trójpunktowego zginania. W przypadku oznaczania  $K_{IC}$  zastosowano identyczne wymiary próbek jak dla udarności.

Określono również odporność na zginanie wyrażone w postaci naprężenia i odkształcenia przy zniszczeniu, modułu i energii do zniszcze-

nia. Badanie wytrzymałości na zginanie trójpunktowe wykonano na aparacie Zwick Z010 wg normy PN-EN ISO 178 (temperatura pokojowa, prędkości 5 mm/min, beleczki 80mm x 10mm x 4mm, rozstaw podpór 60mm).

Rezultaty badań podano w postaci średnich arytmetycznych z 5 pomiarów dla każdego typu kompozytu.

#### 4. WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

W tabeli 1 zestawiono porównanie właściwości wytrzymałościowych kompozytów zawierających termoplasty.

moplastyczny wybrano kompozycje o składzie EP+7,5% PVC oraz EP+2,5% ABS jako osnowy semi-IPN do przygotowania nanokompozytów w których jako nanonapełniacz zastosowano glinokrzemian warstwowy – Cloisite 30B.

W tym etapie przygotowano serie nanokompozytów zawierających od 1 do 3% wag. nanonapełniacza Cloisite 30B zdyspergowanych w osnowie żywicy epoksydowej zawierającej wybrane termoplasty (PVC lub ABS).

Na początku określono wpływ zastosowanej modyfikacji składu na odporność na pękanie. W tym celu przeprowadzono badania udarności i oznaczono również krytyczny

Tab. 1. Wybrane właściwości mechaniczne żywicy epoksydowej zmodyfikowanej PVC i ABS

Tab. 1. Selected mechanical properties of epoxy resin modified with PVC and ABS

Symbol kompozycji	Udarność kJ/m <sup>2</sup>	K <sub>C</sub> MPa m <sup>1/2</sup>	Napężenie przy zniszczeniu MPa	Odkształcenie przy zniszczeniu %	Moduł zginania GPa
EP	0,9	1,2	58,7	2,4	2,3
EP2,5%PVC	1,3	1,4	66,3	2,5	2,7
EP5%PVC	1,4	1,2	62,0	2,7	2,4
EP7,5%PVC	1,7	1,8	68,6	2,7	2,7
EP10%PVC	1,2	1,6	57,5	2,7	2,1
EP2,5%ABS	2,5	2,2	62,3	2,5	2,6
EP5%ABS	2,1	2,2	53,6	2,6	2,3
EP7,5%ABS	1,5	2,2	60,4	3,5	2,0
EP10%ABS	1,3	1,6	35,6	3,2	1,5

Na podstawie otrzymanych wyników badań, zestawionych w tabeli, można stwierdzić, że najlepsze właściwości wytrzymałościowe wykazała próbka EP+7,5%PVC która zawierała 7,5% wag. PVC w postaci pasty zdyspergowanej w żywicy epoksydowej. Natomiast dla kompozycji zawierających układ żywica epoksydowa/ABS stwierdzono, że najlepsze właściwości wytrzymałościowe wykazała kompozycja z 2,5%-ową zawartością terpolimeru ABS.

Podsumowując ten etap pracy, na podstawie otrzymanych wyników badań nad układami semi-IPN żywica epoksydowa polimer ter-

współczynnik intensywności naprężeń K<sub>C</sub>. Na wykresach (Rys. 1 i 2) przedstawiono średnie wartości udarności jakie uzyskano podczas badań próbek EP z PVC i ABS oraz nanonapełniacza Cloisite 30B.

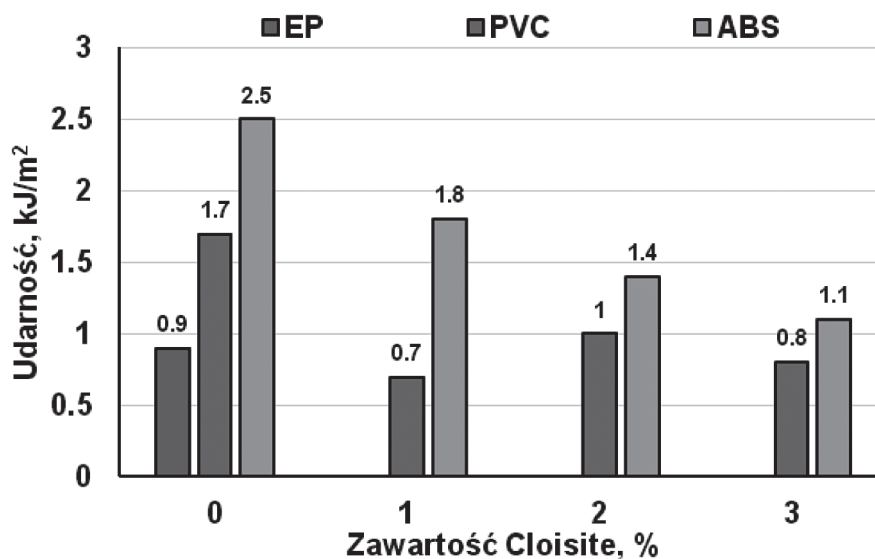
Wprowadzenie nanonapełniacza Cloisite 30B nie wpłynęło na poprawę udarności badanych próbek. Dla obu nanokompozytów można zauważyć, że najlepszą udarnością charakteryzują się próbki kompozytów bez nanonapełniacza. Dodatkowo widoczne jest, że wraz ze wzrostem ilości Cloisite 30B w nanokompozytach udarność maleje. Może to być spowodowane również wy-

stępowaniem aglomeratów na skutek złego zdypergowania nanododatku, które działają jako punkty koncentracji naprężeń.

Następnie oznaczono wartości krytycznego współczynnika intensywności naprężeń  $K_c$ . Na wykresie poniżej przedstawiono porównanie średnich wartości uzyskanych podczas tego badania dla nanokompozytów z osnową semi-IPN z PVC lub ABS.

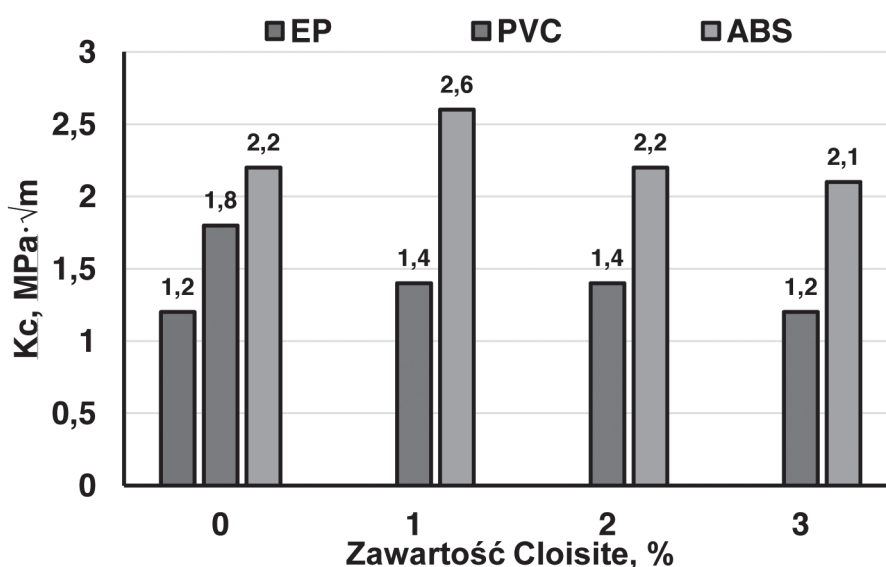
Z danych przedstawionych na wykresie (Rys. 2) wynika, że w przypadku kompozytów EP z PVC dodatek nanonapełniacza nie poprawił odporności materiału na propagację pęknięcia. Dodatkowo możemy zauważyć, że im większa zawartość Cloisite 30B w kompozycie tym odporność na pęknięcie przy niskiej prędkości deformacji maleje.

Dla kompozycji EP z ABS najlepsze właściwości otrzymano dla nanokompozytu z zawar-



Rys. 1. Porównanie wyników udarności

Fig. 1. Comparison of impact strength values



Rys. 2. Porównanie wyników badania  $K_c$

Fig. 2. Comparison of  $K_c$  values



tością 1% Cloisite. W tym przypadku, tak samo jak dla EP z PVC, zwiększenie ilości nanonapełniacza pogarsza odporność na propagację pęknięcia tego typu materiału. Warto zauważyć, że wszystkie wartości dla kompozycji EP z ABS są wyższe o ponad dwa razy niż otrzymane dla czystej żywicy epoksydowej.

Następnie otrzymane nanokompozyty poddano badaniu odporności na trójpunktowe zginanie. Rezultaty badań odporności obu rodzajów nanokompozytów przedstawiono w tabeli 2.

Po przeanalizowaniu danych dotyczących nanokompozytów EP z PVC wynika, że dodatek nanonapełniacza nie poprawił wartości modułu przy zginaniu w porównaniu z kompozycją semi-IPN bez montmorylonitu. Moduł wraz ze wzrostem ilości Cloisite30B w próbkach stopniowo maleje. Maksymalną wartość 2,7 GPa osiągnięto dla kompozytów semi-IPN bez nanoglinki.

W przypadku nanokompozytów EP z ABS wszystkie wartości modułu są większe niż wartości dla kompozytów bez montmorylonitu.

**Tab. 2. Odporność na zginanie nanokompozytów z osnową IPN**

**Tab. 2. Flexural strength of nanocomposites with IPN matrix**

Symbol kompozycji	Naprężenie przy zniszczeniu MPa	Odształcenie przy zniszczeniu %	Moduł zginania GPa
EP	58,7	2,4	2,3
EP7,5%PVC	68,6	2,7	2,7
EP7,5%PVC1%Cloisite	42,3	1,8	2,5
EP7,5%PVC2%Cloisite	35,7	1,5	2,5
EP7,5%PVC3%Cloisite	32,7	1,4	2,3
EP2,5%ABS	59,4	2,5	2,5
EP2,5%ABS1%Cloisite	76,8	2,7	3,1
EP2,5%ABS2%Cloisite	73,2	2,5	3,1
EP2,5%ABS3%Cloisite	62,3	1,9	3,4

Na podstawie danych przedstawionych w tabeli 2 widać, że w przypadku nanokompozytów EP z PVC dodatek montmorylonitu wyraźnie pogarsza odporność na trójpunktowe zginanie. Naprężenia i odkształcenia przy zniszczeniu dla próbek z dodatkiem nanonapełniacza są gorsze nawet od czystej żywicy. Poprawę wartości uzyskano tylko w przypadku kompozycji bez nanododatku.

W przypadku próbek z ABS maksymalną wartość odkształcenia i naprężenia przy zerwaniu osiągnęła próbka z 1% wag. Cloisite30B. Naprężenie przy zniszczeniu wzrosło o 30%, a odkształcenie o ponad 10 % w stosunku do czystej żywicy. Dla nanokompozytów z 2% i 3% wag montmorylonitu wartości naprężenia i odkształcenia są już niższe i wraz ze zwiększeniem zawartości nanonapełniacza maleją.

Moduł wraz ze wzrostem nanonapełniacza stopniowo rośnie, jego najwyższą wartość 3,4 GPa uzyskano dla nanokompozytu z 3% wag. Cloisite 30B.

Na podstawie wyników przedstawionych w tabeli 2 wynika, że praktycznie wszystkie nanokompozyty uzyskały wyższy moduł sprężystości w stosunku do czystej żywicy epoksydowej. Świadczy to o wzroście sztywności materiału spowodowanego przez nanonapełniacz.

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że dodatek nanonapełniacza może poprawić właściwości wytrzymałościowe, ale tylko przy niewielkim jego stężeniu tzn. w granicach 1% wag.

Analiza wyników badań udarności nanokompozytów pozwala stwierdzić, że wraz ze wzrostem zawartości nanonapełniacza materiały stały się bardziej kruche i łamliwe. Oznacza to, że dodatek większej ilości Cloisite 30B nie powoduje wzmocnienia kompozytu. Jest to widoczne zarówno w przypadku zastosowania PVC jak i ABS jako modyfikatora osnowy epoksydowej. Podobne wnioski można sformułować na podstawie wyników badań odporności na propagację pęknięcia. W przypadku próbek zawierających PVC dodatek Cloisite 30B nie spowodował wzrostu wartości Kc w porównaniu do próbek żywicy epoksydowej bez modyfikatorów. Tylko dla kompozytu zawierającego 2,5% wag. ABS i 1% wag. Cloisite 30B odnotowano znaczący wzrost wartości Kc o blisko 20% w porównaniu do żywicy zmodyfikowanej tylko termopolimerem.

Wyniki badań wytrzymałości na 3-punktowe zginanie wykazują, że w przypadku nanokompozytów zawierających osnowe zmodyfikowaną PVC i Cloisite 30B nie poprawia odporności na zginanie w porównaniu do kompozytu nie zawierającego nanododatku. W przypadku kompozytów zawierających ABS najlepszymi właściwościami charakteryzował się nanokompozyt zawierający 1% wag. nanonapełniacza. Energia zerwania jest o prawie 30% większa, a wartości naprężenia przy zniszczeniu są o ponad 15 MPa wyższe w porównaniu do wartości oznaczonych dla niemodyfikowanej żywicy epoksydowej. Nanokompozyt ten wykazał również największe odkształcenie przy zniszczeniu spośród otrzymanych materiałów kompozytowych.

Podsumowując, najlepsze właściwości wytrzymałościowe wykazał nanokompozyt zawierający 2,5% wag. oraz 1% wag. Cloisite 30B. Natomiast modyfikacja przy zastosowaniu PVC w postaci pasty i jednocześnie glinokrzemianu warstwowego nie pozwoliła na uzyskanie materiału o lepszych właściwościach wytrzymałościowych. W przypadku zastosowania PVC tylko kompozyty bez nanonapełniacza wykazywały nieznacznie lepsze właściwości wytrzymałościowe w porównaniu do utwardzonej żywicy epoksydowej. Brak poprawy odporności mechanicznej nano-

kompozytów może być spowodowany nieodpowiednim poziomem zdyspergowania nanopłytek glinokrzemianowych i otrzymaniu struktury mikrokompozytowej w której cząstki napełniacza pełniły rolę miejsc koncentracji naprężeń osłabiających otrzymany materiał.

Dalsze prace nad tego typu kompozytami powinny być związane z zastosowaniem innych metod wprowadzania nanonapełniacza i sporządzania kompozycji polimerowych oraz ukierunkowane i powiązane z badaniami zależności pomiędzy strukturą, a właściwościami otrzymanych nanokompozytów.

## BIBLIOGRAFIA

1. Barton J., Niemczyk A., Czaja K. i inni. *Kompozyty, biokompozyty i nanokompozyty polimerowe. Otrzymywanie, skład, właściwości i kierunki zastosowań*. Chemik 2014, vol. 68, nr 4, s. 280-287.
2. Lee H.B., Kim H.G., Yoon K.B., i inni. *Preparation and Properties of a Carboxyl-Terminated Butadiene Acrylonitrile Toughened Epoxy/Montmorillonite Nanocomposite*, Journal of Applied Polymer Science 2009, vol. 113, nr 2, s. 685-692.
3. Kostrzeva M., Bakar M., Pawelec Z. i inni. *Właściwości mechaniczne mieszanin polimerowych o przenikających się sieciach przestrzennych*. Tribologia 2011, nr 5, s. 89-100.
4. Białkowska A., Dziubek, M., Giska J. i inni. *Bezizocyjanianowe polioksibutylenouretany kondensacyjne jako potencjalne modyfikatory materiałów epoksydowych*. Przetwórstwo Tworzyw 2015, vol. 21, nr 4 (166), s. 308-313.
5. Barral L., Cano J., López J. i inni. *Kinetic studies of the effect of ABS on the curing of an epoxy/cycloaliphatic amine resin*. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics 2000, vol. 38, nr 3, s. 351-361.
6. Lopez J., Gisbert S., Ferrandiz S. i inni. *Modification of epoxy resins by the addition of PVC plastisols*. Journal of Applied Polymer Science 1998, vol. 67, nr 10, s. 1769-1777.
7. Anžlovar A., Žigon M., *Semi-Interpenetrating Polymer Networks with Varying Mass Ratios of Functional Urethane and Methacrylate Prepolymers*. Acta Chimica Slovenica 2005, nr 52, s. 230-237.
8. Cassidy E.F., Frisch H.L., Xiao H.X., i inni. *Two-component interpenetrating polymer networks (IPN's) from polyurethane and epoxies*. Journal of Elastomers and Plastics 1984, nr 16, s.84-92.

Data wpłynięcia artykułu do redakcji: 08-09-2017

Data akceptacji publikacji do druku: 01-11-2017