



Modyfikacja włókien aramidowych stosowanych jako faza wzmacniająca w materiałach kompozytowych o osnowie polimerowej

D. Mysakowicz^a, A.J. Nowak^b

^a Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny
email: mysakowicz@poczta.fm

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie
email: agnieszka.j.nowak@polsl.pl

Streszczenie: W pracy omówiono wpływ modyfikacji włókien aramidowych na działanie sił adhezyjnych materiału kompozytowego o osnowie lateksowej. Próbkę wykonano metodami laboratoryjnymi przy użyciu dostępnych materiałów i urządzeń. Materiał kompozytowy o jednolitej fazie wzmacniającej i osnowie zróżnicowano poprzez wprowadzenie preparacji w postaci działania ultradźwięków i emulsji: Fibrosil W i P300.

Abstract: The paper discusses the impact of preparing aramid fibres with proadhesive agents on increasing the strength properties of composite material with latex matrix. The samples were produced with laboratory methods using available materials and devices. The composite material of homogenous strengthening phase and matrix was differentiated by introducing preparations in the form of ultrasounds and the chemical substances: Fibrosil W and P300.

Słowa kluczowe: materiał kompozytowy, włókna aramidowe, własności wytrzymałościowe

1. WPROWADZENIE

W świecie ciągle rozwijających się technologii nie łatwo jest znaleźć dział gospodarki który nie dążyłby do zwiększania swoich możliwości. Najlepszym tego przykładem jest inżynieria materiałowa, która bardzo często dostarcza ludzkości materiały będące lepszą – korzystniejszą alternatywą dla tych używanych dotychczas. Grupą materiałów, która od kilku dziesięcioleci odnotowuje systematyczny wzrost zainteresowania, są materiały kompozytowe o osnowie polimerowej wzmacnianymi włóknami. Dzięki bardzo zróżnicowanym własnościom, zdolnością do łączenia z różnymi komponentami, materiały te znajdują nowe zastosowanie przede wszystkim w przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym a także w świecie sportu zawodowego. Z materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej wzmacnianych włóknami

wykonuje się zarówno elementy lekkie takie jak karoserie samochodów rajdowych jak i odporne na działanie dużych naprężeń zewnętrznych np. poszycia skrzydeł samolotów [1-4].

2. BADANIA WŁASNE

Celem pracy było zbadanie wpływu preparacji włókien aramidowych zastosowanych jako faza wzmacniająca materiału kompozytowego o osnowie lateksowej.

Badania obejmowały:

- badania wytrzymałościowe:
 - metoda trójpunktowego zginania,
- badania metalograficzne:
 - skaningowe,
 - stereoskopowe,
- statystyczną analizę wyników badań.

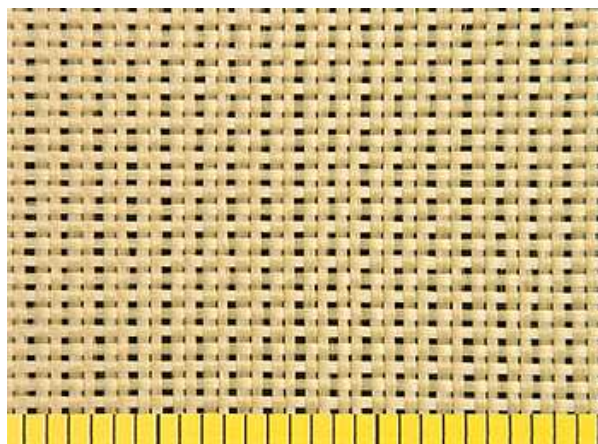
Próbki materiału kompozytowego wykonano metodą ręcznego formowania. Osnowę kompozytu stanowiła wodna zawiesina polimerowa Vinamul 6044 (Holandia). Podstawowe własności fizykochemiczne dostarczone przez producenta zestawiono w tablicy 1. Tkaninę aramidową (rys. 1) o gramaturze 61 g/m^2 dostarczyła firma Havel Composites Pl Sp. z o.o. (Polska), jej własności przedstawiono w tablicy 2.

Do preparacji tkaniny wykorzystano dwa preparaty P300 i Fibrosil W (Polska), które wykorzystuje się kolejno do preparowania produktów papierowych i preparacji tkanin w przemyśle dzianinowym, charakterystyczne cechy zestawiono w tablicy 3 i 4, a także przeprowadzono modyfikację tkaniny aramidowej ultradźwiękami w czasie 1,5 i 3 godz., której parametry zestawiono w tablicy 5.

Tablica 1. Własności fizykochemiczne substancji Vinamul6044

Table 1. The physical and chemical properties of the Vinamul6044

WŁASNOŚCI	
postać	ciecz
barwa	biały
zapach	słodki
temperatura topnienia, °C	0
temperatura wrzenia, °C	100
ciśnienie pary, GPa	23,99



Rysunek 1. Tkanina aramidowa o gramaturze 61 g/cm²

Figure 1. Aramid fabric with basic weight 61 g/m²

Tablica 2. Typowe własności tkaniny aramidowej

Table 2. Typical properties of aramid fabric

WŁASNOŚCI	
średnica włókna, μm	10÷13
gęstość, g/cm ³	1,4
wytrzymałość na rozciąganie, MPa	3500
moduł Younga E, GPa	70÷130
wydłużenie przy zerwaniu, %	4÷2,7

Tablica 3. Dane techniczne preparatu P300

Table 3. Technical information of the substance P300

WŁASNOŚCI	
wygląd	bezbarwna ciecz
lepkość, cP	ok. 300
rozcieńczanie	gotowy do użycia po dodaniu katalizatora
temperatura sieciowania, °C	150÷1700
czas sieciowania, s	od 10 s zależnie od grubości warstwy

Tablica 4. Dane techniczne preparatu Fibrosil W

Table 4. Technical information of the substance Fibrosil W

WŁASNOŚCI	
gęstość w 20°C, gm/cm ³	0,99÷1,01
zawartość części nielotnych, %	38÷42
pH	4÷5
zawartość czynnego wodoru, %	0,3÷0,38
temperatura sieciowania, °C	140÷160
czas sieciowania, s	240÷360

Tablica 5. Parametry przeprowadzania modyfikacji tkaniny aramidowej

Table 5. The parameters of aramid fabric carrying modified

PREPARACJA			
Własność	Ultradźwięki		Fibrosil W
temperatura preparacji, °C	20		160
czas preparacji	1,5 godz.	3 godz.	30, s

2.1. Metodyka badań

Badania wytrzymałościowe przeprowadzono celem określenia wpływu stosowanej preparacji włókien na adhezję z osnową polimerową. Badanie wykonano metodą trójpunkto-

wego zginania przy użyciu maszyny firmy ZWICK zgodnie z normą PN-EN ISO 14125, która określa niezbędne charakterystyki do prawidłowego przeprowadzenia badania. Przyjęte parametry zamieszczono w tablicy 6. Trójpunktowe zginanie umożliwia odczytanie takich wartości jak: wytrzymałość na zginanie R_g , granicę proporcjonalności przy zginaniu, R_{Hg} , granicę sprężystości przy zginaniu R_{spg} oraz wartość umownej granicy plastyczności przy zginaniu $R_{g0,2}$. Za pomocą oprogramowania sterującego maszyną otrzymano dwie wartości umożliwiające porównanie występującej adhezji:

- wytrzymałość na zginanie (σ_{fm} , MPa),
- naprężenie zginające przy zniszczeniu (σ_{fb} , MPa).

Tablica 6. Parametry przyjęte do przeprowadzenia próby trójpunktowego zginania

Table 6. The parameters adopted to attempt three-point bending

Parametr	Wartość
siła wstępna, MPa	0,1
prędkość siły wstępnej, m/s	50
prędkość badania, m/s	50
próg wyłączenia siły, %	80
maksymalne odkształcenie, %	15

Badania mikroskopowe stereoskopowe przeprowadzono wykorzystując mikroskop ZEISS SteREO Discovery.V12. Badanie miało na celu obserwację przełomu po przeprowadzeniu testu wytrzymałościowego (trójpunktowego zginania) na próbkach materiału kompozytowego o osnowie lateksowej.

Badanie na mikroskopie elektronowym skaningowym przeprowadzono celem, obserwacji zmian zachodzących w strukturze tkaniny aramidowej po zastosowaniu modyfikacji ultradźwiękami. Do tego celu wykorzystano mikroskop elektronowy skaningowy SUPRA 35 firmy Zeiss. Pojedyncze włókna poddano oczyszczeniu przy pomocy ultradźwięków w ośrodku alkoholu 80%, a następnie napyłano warstwą przewodzącą w postaci złota.

Statystyczna analiza wyników badań opierała się na porównaniu otrzymanych wyników przy pomocy testu studenta. Test ten umożliwia porównanie dwóch grup wyników. W zawiązku z czym jako bazę porównawczą wykorzystano próbki materiału kompozytowego z fazą wzmacniającą bez impregnacji.

3. WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Wyniki badań wytrzymałościowych zostały zestawione w tablicy 7. Statystyczne opracowanie wyników zestawiono w tablicy 8. Natomiast uśrednione wyniki próby trójpunktowego zginania zostały zestawione na wykresie (rys. 2), na którym wyznaczono również odchylenie standardowe dla poszczególnych prób. Reprezentatywne wykresy obrazujące wpływ siły na odkształcenie plastyczne w próbie trójpunktowego zginania dla wszystkich modyfikacji włókna przedstawiono na rysunku 3.

Brak wyznaczonych przez program operacyjny maszyny wytrzymałościowej wartości wytrzymałości na zginanie dla P300, spowodowany może być minimalną adhezją osnowy

z włóknem aramidowym. W wyniku czego obciążenie zostaje przenoszone tylko przez górną warstwę osnowy lateksowej.

Tablica 7. Wyniki przeprowadzonej próby zginania dla kompozytu o osnowie lateksowej

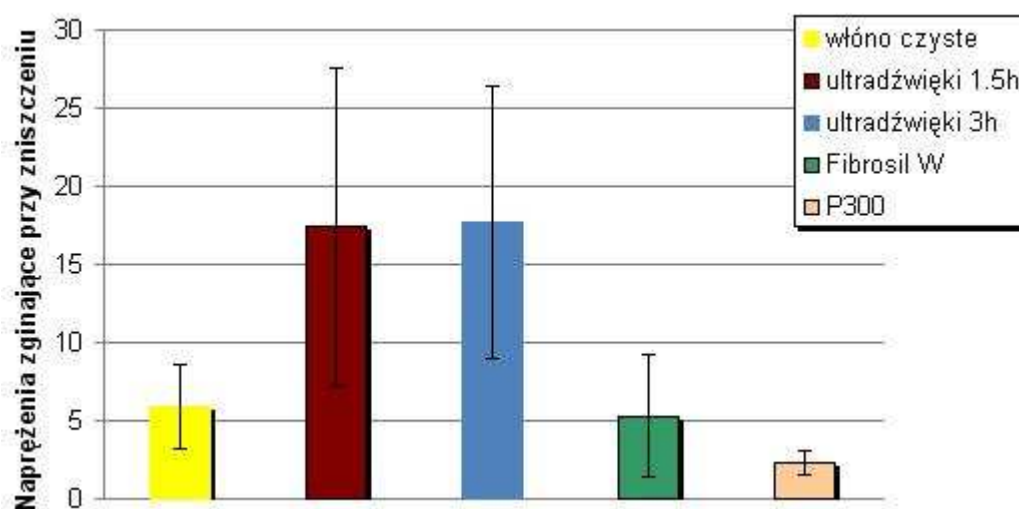
Table 7. The results of the bending test for a latex composite material

Lp.	Próba kontrolna		1,5 godz.		3 godz.		Fibrosil W		P300	
	σ_{fm} , MPa	σ_{fb} , MPa	σ_{fm} , MPa	σ_{fb} , MPa	σ_{fm} , MPa	σ_{fb} , MPa	σ_{fm} , MPa	σ_{fb} , MPa	σ_{fm} , MPa	σ_{fb} , MPa
1.	18,4	10,4	38,6	10,8	31,2	30,5	19,4	-	-	3,3
2.	23,6	4,72	30,2	8,23	15,1	12,3	27,7	26,6	-	2,0
3.	21,1	6,48	33,4	33	22,7	10,7	26,9	-	-	1,8
4.	21,5	4,29	25,2	12,9	25,1	11,9	32,8	-	-	1,5
5.	18	3,74	39,5	22	23	23	25,5	-	-	2,8

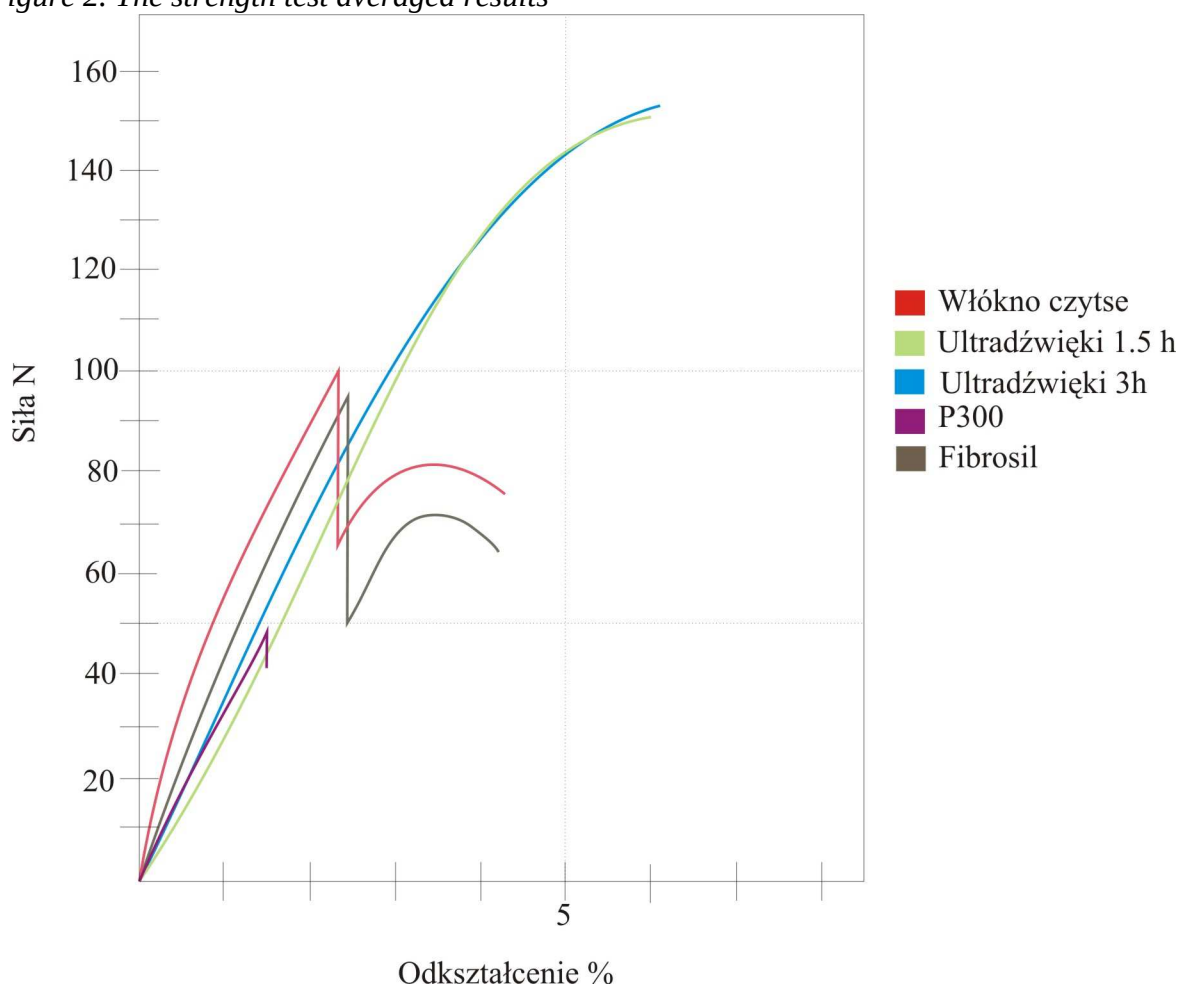
Tablica 8. Statystyczne opracowanie wyników

Table 8. The results with the statistical treatment

	Próba kontrolna	1,5 godz.	3 godz.	Fibrosil W	P300
średnia	5,926	17,386	17,68	5,32	2,28
błąd pomiaru	3,65	13,7	11,76	1,6	1,01
odchylenie standardowe	2,7	10,15	8,71	3,89	0,74
wariancja	7,301	103,104	75,932	141,512	0,557
istotność testu	-	0,001	0,002	0,456	0,019



Rysunek 2. Uśrednione wyniki badania wytrzymałościowego
 Figure 2. The strength test averaged results



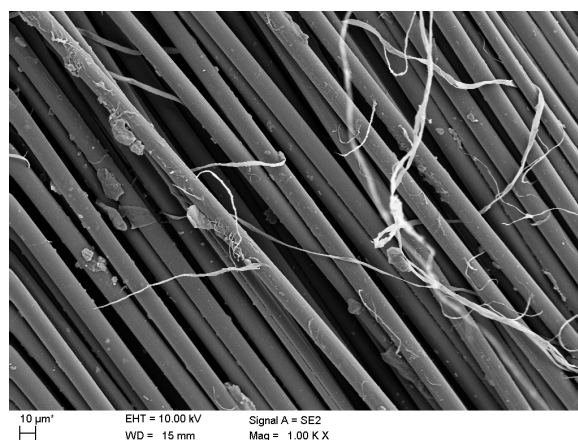
Rysunek 3. Zestawienie reprezentatywnych wykresów naprężeń podczas badania
 Figure 3. The strength test representative diagrams

Na rysunku 3 zaobserwować można wpływ działającej siły na odkształcenie plastyczne materiału poddanego badaniu trójpunktowego zginania. Próbkki modyfikowane ultradźwiękami cechują się większą wytrzymałością mechaniczną niż próbki kontrolne, przy wartości siły działającej ok. 150 N dochodzi do zerwania próbki. W przypadku preparacji P300 obserwuje się zniszczenie próby ale nie jej przełamanie wywołane znikomą adhezją włókien z osnową lateksową (osnowa jak i tkanina aramidowa pracują jako dwa odrębne materiały, a nie jako jeden spójny). W przypadku preparacji Fibrosil W, nie obserwuje się znaczących zmian własności wytrzymałościowych materiału kompozytowego.

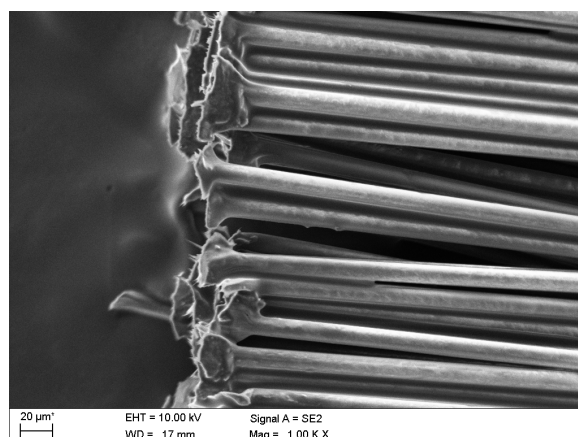
Zdjęcia wykonane za pomocą mikroskopu elektronowego skaningowego, przedstawiają zmiany zachodzące w ułożeniu włókien aramidowych po zastosowaniu preparacji ultradźwiękami. Należy tu zwrócić uwagę na wyraźne oczyszczenie powierzchni włókien (rys. 4 i 5).

Na podstawie obserwacji mikroskopowych stereoskopowych przełomów próbek zaobserwować można było miejsca pęknięć i ich propagację w głąb osnowy, a także zerwane włókna

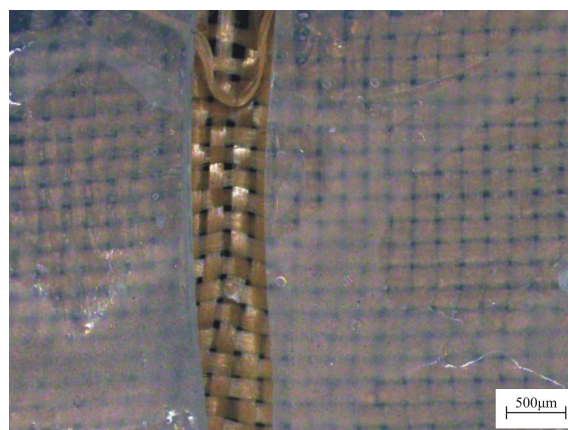
aramidowe (próbki po modyfikacji ultradźwiękami). Wyniki obserwacji przedstawiono na rysunkach 6÷10.



Rysunek 4. Obraz włókien aramidowych przed modyfikacją ultradźwiękami
Figure 4. Aramid fibres before ultrasound preparation

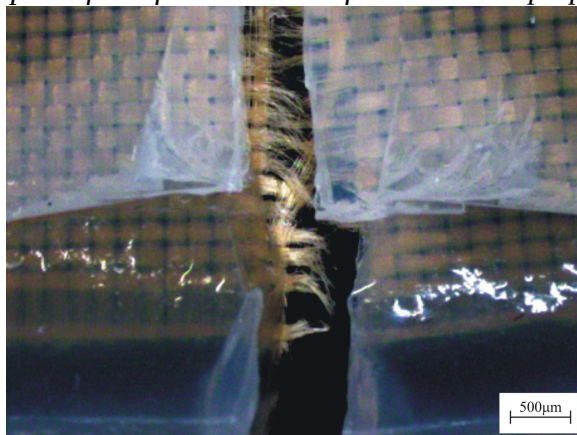


Rysunek 5. Obraz włókien aramidowych po modyfikacji ultradźwiękami
Figure 5. Aramid fibres after ultrasound preparation



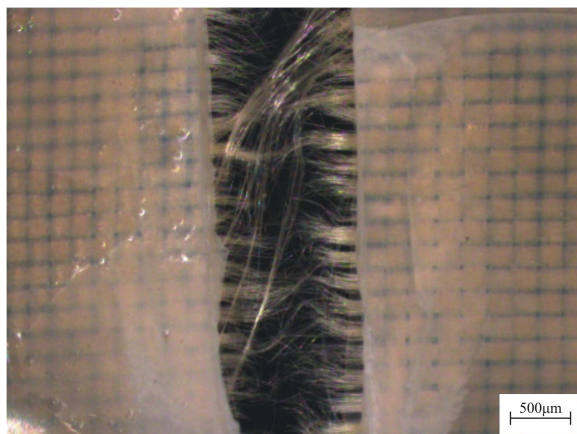
Rysunek 6. Obraz próbki wzmacnianej tkaniną aramidową bez modyfikacji

Figure 6. The image samples of reinforced aramid fabric without preparation



Rysunek 7. Obraz próbki wzmacnianej tkaniną aramidową po modyfikacji ultradźwiękami (1,5 godz.)

Figure 7. The image samples of reinforced aramid fabric after ultrasound preparation (1.5 h)

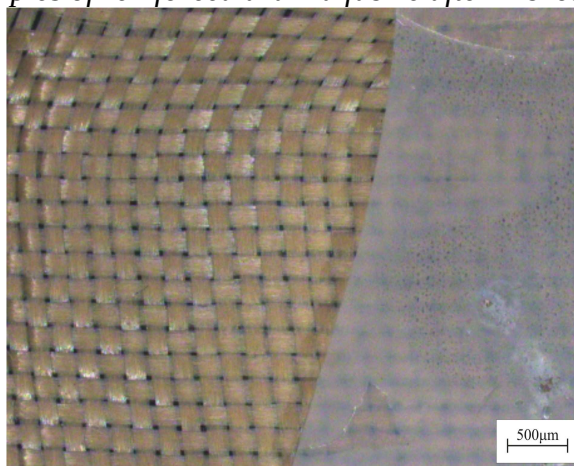


Rysunek 8. Obraz próbki wzmacnianej tkaniną aramidową po modyfikacji ultradźwiękami (3 godz.)

Figure 8. The image samples of reinforced aramid fabric after ultrasound preparation (3 h)



Rysunek 9. Obraz próbki wzmacnianej tkaniną aramidową po modyfikacji Fibrosilem W
Figure 9. The image samples of reinforced aramid fabric after Fibrosil W preparation



Rysunek 10. Obraz próbki wzmacnianej tkaniną aramidową po modyfikacji P300
Figure 10. The image samples of reinforced aramid fabric after P300 preparation

Wyznaczone w badaniu różnice pomiędzy próbkami kontrolnymi, a próbkami zbrojonymi tkaninami aramidowymi po preparacji wykazały, że istotne różnice statystyczne występują przy półtoragodzinnej i trzygodzinnej modyfikacji ultradźwiękami. Wyznaczona istotność dla tych prób wynosi kolejno 0,007 i 0,002. Różnice między próbkami kontrolnymi, a próbkami modyfikowanymi P300 i Fibrosil W, okazały się nie istotne statystycznie, ich wartość to kolejno 0,456 i 0,018.

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wytrzymałościowe pozwoliły określić wzrost wytrzymałości na zginanie przy zastosowaniu modyfikacji włókien w postaci działania ultradźwięków w czasie 1,5 godz., przy znikomym poprawieniu własności w czasie 3 godz. względem półtoragodzinnnej preparacji. Średnie wartości wytrzymałości na zginanie dla tych materiałów wynoszą kolejno 17,386 MPa i 17,680 MPa przy uśrednionym wyniku dla materiału kontrolnego 5,926 MPa, co stanowi wzrost własności mechanicznych o blisko 300%. Wpływ preparacji P300 i Fibrosil spowodował minimalne zmiany własności wytrzymałościowych. Uśrednione

wyniki próby trójpunktowego zginania wynoszą odpowiednio 5,320 MPa dla Fibrosil W i 2,280 MPa dla P300.

Badania na mikroskopie stereoskopowym umożliwiły obserwację przełomów po trójpunktowym zginaniu próbek z materiału kompozytowego. Możliwe było również określenie miejsc rozwarstwienia materiału oraz propagacji pęknięć osnowy. Badania przeprowadzone przy pomocy mikroskopu elektronowego skaningowego pozwoliły zaobserwować zmiany zachodzące w ułożeniu włókien aramidowych po przeprowadzeniu preparacji ultradźwiękami. Badania mikroskopowe w znaczący sposób przyczyniły się do określenia wpływu modyfikacji włókien aramidowych na adhezję z lateksem.

Stosowanie włókien aramidowych na wzmocnienie kompozytów polimerowych wykorzystywanych w motoryzacji wymaga wielu badań zapewniających optymalny dobór składowych materiałów kompozytowych zwiększających komfort i bezpieczeństwo użytkowania. Na podstawie opracowanych wyników zaleca się przeprowadzanie kolejnych testów mających na celu uaktywnienie powierzchni włókna aramidowego do innych związków w szczególności intensywnie rozwijających się materiałów polimerowych.

LITERATURA

1. L.A. Dobrzański, Podstawy nauki o materiałach, WNT, Gliwice-Warszawa, 2006.
2. L.A. Dobrzański, A. Pusz, A.J. Nowak, M. Górniak, The preparation of aramid fibres in silicone based composite materials, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 45/2 (2011) 125-131.
3. A. Baczkowska, Kompozyty, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2003.
4. A.L. Wilczyński, Polimery kompozytowe włókniste. Własności, struktura, projektowanie, WNT, Warszawa, 1996.