

METODYKA WYZNACZANIA WYNIKÓW ODSTAJĄCYCH DLA TESTÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH KOMPOZYTÓW

ROBERT JAŚKIEWICZ, ANNA STEPNIOWSKA

Centrum Technologii Kompozytowych, Instytut Lotnictwa, Al. Krakowska 110/114, 02-256 Warszawa
robert.jaskiewicz@ilot.edu.pl, anna.stepniowska@ilot.edu.pl

Streszczenie

W niniejszej artykule przedstawiono metodykę wyznaczania wartości odstających dla testów wytrzymałościowych próbek kompozytowych. Wykonano przegląd literatury stosowanych metod postępowania z wynikami odstającymi, a także przeanalizowano możliwe przyczyny ich występowania w przypadku testowania materiałów kompozytowych. Badania przeprowadzono na wynikach dwóch serii próbek: jednej z badania rozciągania i jednej z testu ścinania, różniących się dodatkowo wielkością próby. W pracy zweryfikowano rozrzut wartości analizowanych podczas prób ściskania i ścinania. Do wskazania rezultatów odstających użyto metody MNR (metoda maksymalnej znormalizowanej reszty, (Maximum Normed Residual). Dla każdej z prób wyliczono współczynnik MNR i porównano go z wartością krytyczną CV (Critical Value), odpowiadającą wielkości próby danej serii próbek. Po przeprowadzonej analizie wskazano wyniki odstające i proces postępowania z nimi.

Słowa kluczowe: Maximum Normed Residual, MNR, wartości odstające, badania kompozytów

1. WPROWADZENIE

Do najczęstszych metod wytrzymałościowych, stosowanych w badaniach materiałów kompozytów zaliczają się próby rozciągania, ściskania oraz ścinania. Na ich podstawie określone są najważniejsze współczynniki wytrzymałościowe, tj. moduł Younga i współczynnik Poisson'a. Uzyskiwane wyniki należy przeanalizować pod kątem występowania odstających (*outliers*). Pierwszej oceny można dokonać poprzez wizualną ocenę otrzymanych wartości zestawionych na wykresie. Kolejną oceną są analizy statystyczne wyników. W przypadku wykrycia wyniku odstającego, niezależnie od metody jej wykrycia, należy zidentyfikować przyczynę jej wystąpienia. Dla materiałów kompozytowych najczęściej są to:

1. Materiał, lub jego składnik niezgodny ze specyfikacją;
2. Jeden lub więcej parametrów przygotowania próbki był niezgodny z wymaganiami;
3. Wymiary próbki lub jej orientacja podczas testu była niezgodna z wymaganiami;
4. Maszyna testowa była niepoprawnie przygotowana lub niesprawna;
5. Parametry testu (np. prędkość, temperatura) nie mieściły w wymaganym zakresie;
6. Uszkodzenie mechaniczne próbki;
7. Niewłaściwe zniszczenie (odpadnięcie nakładek, pęknięcie próbki w szczękach itp.);
8. Nieprawidłowe kondycjonowanie próbki;

9. Próbką nieprawidłowa zamontowana w maszynie wytrzymałościowej;
 10. Nieprawidłowa obróbka danych [2].

Lista przyczyn nie jest zamknięta, jednak niezależnie od powodu, po wykryciu wyniku odstającego należy wykonać działania korygujące bądź badanie dodatkowej serii próbek [1÷4]. W przypadku braku możliwości określenia występowania wyników odstających należy rozpocząć proces ich oceny. Jego przebieg został szczegółowy opisany w rozdziale "Dispositioning of Outlier Data" w pozycji Composite Materials Handbook Departamentu Obrony.

2. METODA MNR

Do analizy wyników badań wytrzymałościowych materiałów kompozytowych pod kątem występowania odstających zaleca się stosowanie metody MNR [2]. Jeśli występuje możliwość pogrupowania wyników próby na podgrupy, to należy dążyć do dzielenia prób na możliwie najmniejsze. Dla każdego pomiaru z próby n -pomiarowej, zgodnie z równaniem (1) obliczany jest współczynnik MNR .

$$MNR = \max_i \frac{|x_i - \bar{x}|}{s} \quad (1)$$

gdzie: $i = 1, 2, 3, \dots, n$, x_i – wynik pomiaru, \bar{x} – wartość średnia z próby, s – odchylenie standardowe.

Warunkiem uznania wyniku za odstający wg metody MNR, jest uzyskanie współczynnika MNR o wartości wyższej od wartości krytycznej CV , odpowiadającej liczbie wyników w danej próbie. Wartość krytyczna CV obliczana jest ze wzoru (2).

$$CV = \frac{n-1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{t^2}{n-2+t^2}} \quad (2)$$

gdzie: n – liczba pomiarów, t – wartość kwantylna rozkładu t -studenta, $t = \alpha/(2n)$ dla poziomu istotności $\alpha=0,05$ [5].

Jeśli wszystkie wyliczone wartości MNR są mniejsze od właściwej dla próby wartości krytycznej CV , uznaje się, że zbiór nie zawiera wyników odstających. W przypadku spełnienia przez któryś z wyników warunku $MNR > CV$, wynik na tej podstawie zostaje odrzucony, a dla pozostałych należy policzyć nowe współczynniki MNR . Uaktualnione wartości porównuje się z wartością CV odpowiednią dla pomniejszonej próby. Całość czynności powtarza się, aż do uzyskania próby bez wyników odstających.

W przypadku małych prób, np. dla zestawów zawierających 5 lub 6 próbek, może zdarzyć się, że większość z wyników zostanie wskazana jako odstające, zwłaszcza jeśli dwa lub trzy wyniki są identyczne. Takie próby należy rozpatrywać indywidualnie. Jeśli istnieje szansa wykonania dodatkowych testów na próbkach wyprodukowanych i utrzymanych w identycznych warunkach należy takie próby wykonać i zweryfikować ich wyniki z poprzednimi. Wynik ponowionej próby może zastąpić dane próby odstającej. W przypadku wystąpienia podobnie odstającego wyniku zachowuje się wszystkie dane. Gdy nie ma możliwości wykonania dodatkowych testów sprawdza się czy otrzymany wynik jest odstający również w zestawieniu z innymi partiami próbek tego samego typu. Jeżeli próba nie odstaje na tle innych partii, zaleca się jej zachowanie [6].

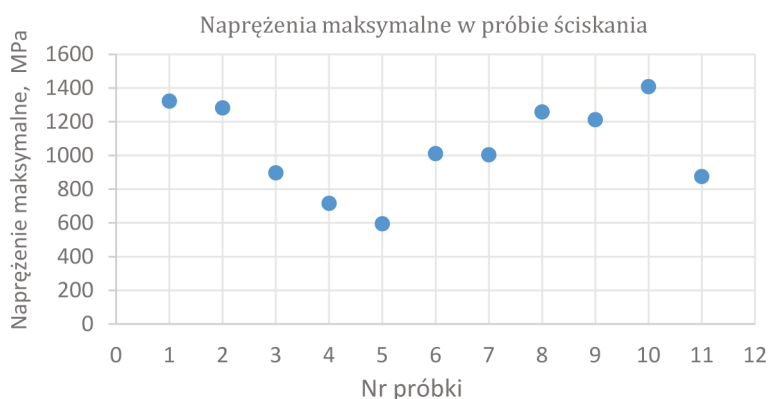
3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ Z ZASTOSOWANIEM MNR

Analizę rozpoczęto od wyników próby ściskania próbek kompozytowych przeprowadzonej zgodnie z normą ASTM D6641. Dla zestawienia obliczono wartość średnią i odchylenie standardowe. Całość rezultatów przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie wyników z analizowanej próby ściskania próbek kompozytowych [materiały własne]

Nr próbki	Oznaczenie próbki	Obciążenie maksymalne, kN	Naprężenie maksymalne, MPa
1	11/LK/2012_47-1	25.05	1322
2	11/LK/2012_47-2	26.30	1282
3	11/LK/2012_47-3	19.22	897
4	11/LK/2012_47-5	15.51	716
5	11/LK/2012_47-6	12.98	595
6	11/LK/2012_47-7	21.61	1011
7	11/LK/2012_47-08	21.87	1004
8	11/LK/2012_47-09	27.19	1258
9	11/LK/2012_47-12	25.15	1212
10	11/LK/2012_47-15	30.20	1408
11	11/LK/2012_47-16	18.81	875
Wartość średnia		22.17	1052.73
Odchylenie standardowe		5.23	264.89

Do każdego z parametrów przestawionych w tabeli 1 można podejść indywidualnie wyliczając wartości współczynnika MNR dla każdej z zarejestrowanych wartości. W przeprowadzonym na potrzeby artykułu badaniu współczynnik MNR obliczono dla maksymalnego zarejestrowanego naprężenia. W pierwszej kolejności dokonano obserwacji wyników zilustrowanych na wykresie przedstawionym na rysunku 1.



Rys. 1. Wykres maksymalnych wartości naprężeń w próbie ściskania [materiały własne]

Z przedstawionego rysunku 1 nie wytypowano żadnego wyniku odstającego. Zaobserwowano dość duży rozrzut wyników, ale żaden nie odstawał znacząco od innych. Obliczone wg wzoru (1) wartości MNR dla zarejestrowanych zebrano w tabeli 2.

Tab. 2. Wartości współczynników MNR dla wyników naprężeń maksymalnych z próby ściskania [materiały własne]

Nr próbki	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
MNR	1,016	0,865	0,588	1,271	1,728	0,158	0,184	0,775	0,601	1,341	0,671

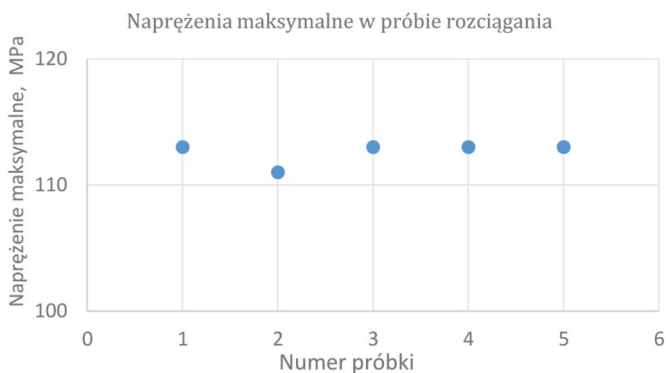
Dla serii jedenastu próbek współczynnik $CV=2,355$, a zatem żadna z wartości MNR obliczonych dla próbek z testu ściskania nie spełnia warunku $MNR > CV$. Nie było podstaw do odrzucenia żadnego z wyników.

Druga analizowana seria wyników była mniej liczna. Test ścinania został wykonany na pięciu próbkach, stąd współczynnik CV dla tej serii był równy $1,715$. Wyniki analizowanej serii ścinania zebrano w tabeli 3.

Tab. 3. Zestawienie wyników z analizowanej próby rozciągania próbek kompozytowych [materiały własne]

Nr próbki	Oznaczenie próbki	Obciążenie maksymalne, kN	Naprężenie maksymalne, MPa
1	LK13-59-4	13.55	113
2	LK13-59-5	13.31	111
3	LK13-59-6	13.57	113
4	LK13-59-7	13.59	113
5	LK13-59-8	13.57	113
Wartość średnia		13,52	112,6
Odchylenie standardowe		0,12	0,89

Tak jak w poprzednim przypadku, analizę rozpoczęto od zweryfikowania rozkładu uzyskanych wyników na rysunku 2.



Rys. 2. Wykres maksymalnych wartości naprężeń w próbie ścinania [materiały własne]

Z rysunku 2, jako możliwie odstający wytypowano wynik z próbek nr 2, który znacząco odstaje od pozostałych. Metoda MNR przewiduje odrzucanie w jednym cyklu obliczeniowym tylko jednego wyniku, o maksymalnym współczynniku MNR, dlatego sprawdzono ich wartości. Obliczone współczynniki MNR dla serii próbek rozciąganych zestawiono w tabeli 4.

Tab. 4. Wartości współczynników MNR dla wyników naprężeń maksymalnych z próby rozciągania [materiały własne]

Nr próbki	1	2	3	4	5
MNR	0,45	1,79	0,45	0,45	0,45

Najwyższy współczynnik MNR w tej serii był dla próbki nr 2. Jego wartość jest wyższa od współczynnika CV dla tej serii i na tej podstawie wynik uznano za zbyt wysoki i wyższy od pozostałych o 1,34, a zatem usunięto go z próby. Po takiej zmianie dla pozostałych wyników obliczono nową średnią, odchylenie standardowe i uaktualnione wartości współczynników MNR. Z racji równych wartości maksymalnych naprężeń obliczonych dla próbek, zdecydowano o sprawdzeniu wartości MNR dla zarejestrowanych maksymalnych wartości obciążenia. Zaktualizowane dane przedstawiono w tabeli 5.

Tab. 5. Uaktualnione zestawienie wyników z serii ścinania po odrzuceniu próbki nr 2 [materiały własne]

Nr próbki	Oznaczenie próbki	Obciążenie maksymalne, kN	Naprężenie maksymalne, MPa	MNR dla obciążenia maksymalnego
1	LK13-59-4	13,55	113	1,225
3	LK13-59-6	13,57	113	0
4	LK13-59-7	13,59	113	1,225
5	LK13-59-8	13,57	113	0
Wartość średnia		13,57	113	-
Odchylenie standardowe		0,02	0	-

Po odrzuceniu jednego wyniku, seria charakteryzuje się bardzo małymi rozrzutami. Dla serii czterech próbek współczynnik CV wynosi 1,481, a maksymalny współczynnik MNR dla dodatkowo przeanalizowanych wartości maksymalnego obciążenia wynosi 1,225. Po odrzuceniu wyniku z tak małej próby warto wykonać dodatkowe badania, jeżeli tylko dostępne są odpowiednie próbki, ale jest to kwestia indywidualnie rozpatrywana przez prowadzącego badania.

4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literaturowego oraz wykonanych analiz sformułowano następujące wnioski:

1. Metoda MNR jest metodą statystyczną z określonym warunkiem ($MNR > CV$) decydującym o uznaniu bądź nieuznaniu wyniku odstającego, ale to osoba prowadząca badania powinna podejmować ostateczną decyzję o uznaniu wyniku za odstający.
2. Metoda MNR nie służy do wyjaśniania przyczyn i nie pomaga w szukaniu powodów otrzymania analizowanych wyników, dlatego prowadzący badania, posiadający wiedzę na temat zaistniałych podczas testów nietypowych zdarzeń, powinien wspomagać analizę wyników.
3. W przypadku występowania wyników odstających w małych próbach, należy spróbować wykonać dodatkowe badania ponieważ odrzucenie wyniku odstającego, dodatkowo zmniejsza próbę, co pomniejsza jej wiarygodność.
4. Analiza metodą MNR może być stosowana do różnego rodzaju danych. To prowadzący analizę decyduje, które parametry należy sprawdzić.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Federal Aviation Administration, 2001, *Material Qualification and Equivalency for Polymer Matrix Composite Material System*, DOT/FAA/AR-00/47.
- [2] Department of defense handbook, 2002, *Composite Materials Handbook*, MIL-HDBK-17-1F, VOL. 1, 17.
- [3] Zalewska M., 2013, System zarządzania jakością w Laboratorium Badań Kompozytów, referat wygłoszony na: *Panel Ekspertów Projektu TEBUK*.

- [4] Wiśniowski W., 2014, „Badania i świadczenie usług na światowym rynku badań”, *Marketing i Rynek*, s. 215-224.
- [5] Baojiang D., Changqin J., Ping C., Jingmin G., Anbo S. Xiong W., 2012, Study of tensile strength distribution based on composite materials for aeronautical Engineering, *Modern Applied Science*, Vol. 6, No. 5, pp. 21-26.
- [6] Stefansky W., 1971, Rejecting outliers by maximum normed residual, *The Annals of Mathematical Statistics*, 42, pp. 35-45.

METHODOLOGY OF OUTLIERS DETERMINATION FOR COMPOSITE MATERIALS STRENGTH TESTS

Abstract

The article presents methodology of outliers determination for composites specimens strength tests. Review of the literature was made to analyze methods of proceedings with outliers, and to get know possible causes of their occurrence for composite materials. Research has been done with the results of one tension test and one in plane shearing test. The article verified dispersion of max. recorded stress values. The MNR method (Maximum Normed Residual) was used to indicate outliers. The MNR coefficient was calculated for each test. Next, it was compared with corresponding CV (Critical Value). After an analysis, outliers were indicated and it was explained what happened with them next.

Keywords: Maximum Normed Residual, MNR, outliers, composites testing