

# MODELOWANIE MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH

Andrzej BAIER, Michał MAJZNER

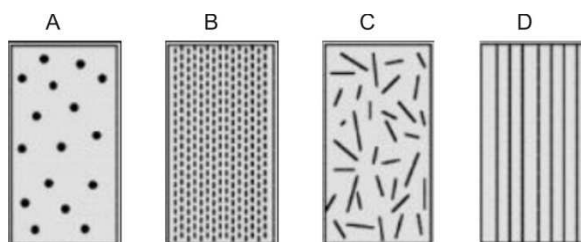
**Streszczenie:** W artykule przedstawiono metodę modelowania laminatów, za pomocą narzędzia zawartego w zaawansowanym programie graficznym UGS NX6. Jednocześnie dokonano analizy wytrzymałościowej metodą elementów skończonych przy użyciu oprogramowania NX Nastran. Uzyskane wyniki zostały zweryfikowane doświadczalnie, przy użyciu techniki tensometrycznej.

**Słowa kluczowe:** NX6, kompozyt, laminat, MES, Nastran.

## 1. Kompozyty

Kompozytem nazywa się tworzywa, które są połączeniami różnych materiałów, stanowią one struktury o własnościach odmiennych od właściwości poszczególnych składników, Termin – kompozyt zwykle odnosi się od struktur wytwarzanych sztucznie. Wśród kompozytów naturalnych można wyróżnić między innymi: drewno i kości. Wśród kompozytów wyróżnić można: kompozyty konstrukcyjne, w ich przypadku najistotniejsze są własności wytrzymałościowe, oraz kompozyty o szczególnych własnościach fizykochemicznych, np. elektrycznych, magnetycznych, cieplnych i optycznych.[1,2,3]

Najogólniej w budowie kompozytów można wyróżnić: osnowę, czyli materiał wiążący oraz elementy dodatkowe – zmieniające własności osnowy, wykonane z innych materiałów (tj. ziarna włókna, warstwy, płatki), nazywane zbrojeniem lub umocnieniem (rys.1.).[1,2,3,4]



Rys. 1. Zbrojenie kompozytów, A – proszkowe nieorientowane, B – proszkowe zorientowane, C – włókna cięte, D – włókna ciągłe [1]

Struktury kompozytowe wielowarstwowe nazywane są również laminatami. Pod tym pojęciem rozumie się dwie (lub więcej) elementarnych warstw kompozytowych, ściśle połączonych i pracujących jako materiał strukturalnie integralny. Różnorodność budowy kompozytów wielowarstwowych daje duże możliwości wyboru odpowiedniego kompozytu i zastosowania go w konstrukcjach, a tym samym utrudnia przedstawienie uogólnionego opisu właściwości mechanicznych tego rodzaju kompozytów. Rozważania modelowe autora przyjęły następujące założenia wyjściowe:

- właściwości sprężyste warstw elementarnych są właściwościami uśrednionymi

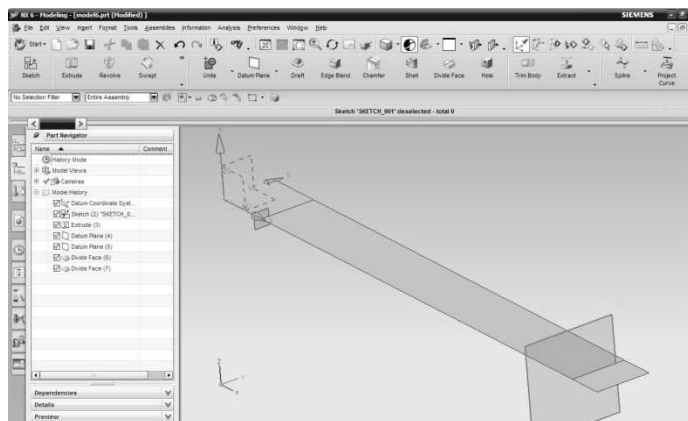
- w przekroju poprzecznym,
- warstwy elementarne są połączone ze sobą w sposób uniemożliwiający ich wzajemne przesunięcia. [2]

## 2. Model w zaawansowanym programie graficznym NX6

Unigraphics to zaawansowany program graficzny łączący środowiska CAD/CAM/CAE, wspomagający proces tworzenia produktu na każdym jego etapie. Umożliwia utworzenie jego postaci w środowisku trójwymiarowym, wygenerowanie dokumentacji w postaci rysunków technicznych, weryfikację wytrzymałościową i symulację wytwarzania. Nazwa platformy - NX pochodzi o skrótu NeXt generation. Jest ona połączeniem elementów Unigraphics'a i I-DEAS'a. Jądro stanowi Parasolid. Jest to modeler opracowany i rozwijany na Uniwersytecie Cambridge. Zawiera ponad 700 obiektowo zorientowanych funkcji, dzięki którym praca z aplikacją jest niezwykle efektywna.

Proces modelowania elementu kompozytowego rozpoczęto od narysowania, przy pomocy komendy *Sketch*, linii o długości 30 mm. Po wyjściu z komendy *Sketch*, wyciągnięto (opcja *Extrude*), szkic na długości 300 mm. Uzyskano prostokąt od wymiarach 30 x 300 mm, odwzorowujący wymiary rzeczywistej próbki kompozytowej.

Stosując polecenie *Datum Plane*, utworzono dwie płaszczyzny, pierwsza odsunięta od głównego układu współrzędnych o 30 mm oraz druga o 280 mm. Rzutując położenie tych płaszczyzn na narysowaną wcześniej powierzchnię, uzyskano trzy niezależne powierzchnie. Krok ten pozwoli w późniejszym etapie na utwierdzenie oraz zadanie, w odpowiednim położeniu siły (rys.2.).

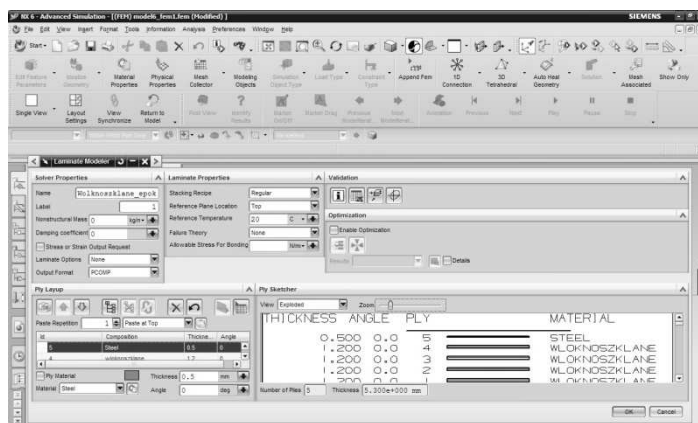


Rys. 2. Model w programie NX 6

## 3. Analiza modelu laminatu – NX Nastran

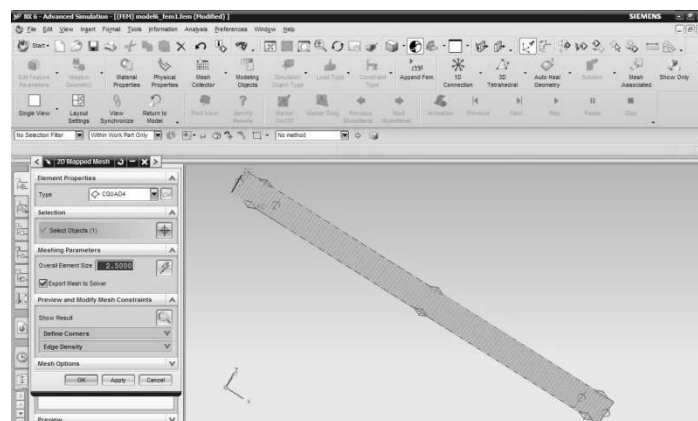
Wykonany model przeniesiono do modułu Advanced Simulation. W zakładce Simulation Navigator wybrano New FEM and Simulation oraz podstawowe parametry symulacji, jako solwera użyto NX Nastrana oraz Structural jako rodzaj analizy. Ze względu na to, że elementarnym obiektem jest powierzchnia, rodzaj użytej siatki mesh

2D Mapped. W okienku „meshowania” kluczową konfiguracją jest *Destination Collector*, gdzie tworzy się ustawienia fizyczne laminatu (rys.2.).



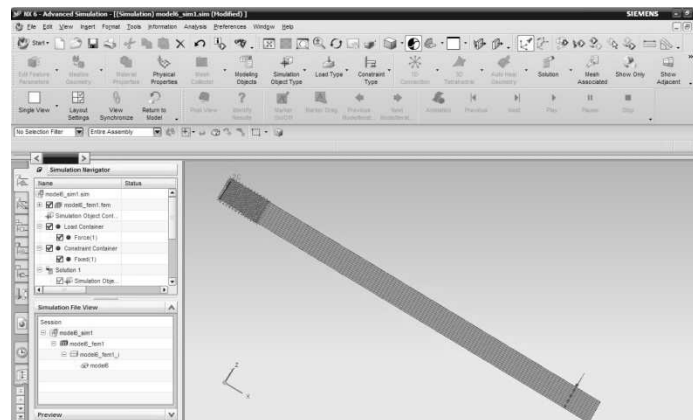
Rys. 3. Okno modelowania laminatu

W bibliotece materiałowej NX6 nie znajdują się parametry fizyczne włókna szklanego w osnowie żywicy epoksydowej. Konieczne jest dodanie nowego materiału o odpowiednich parametrach fizycznych takich jak moduł Younga, współczynnik Poissona oraz moduł Kirchoffa. Niniejsze dane wystarczą do przeprowadzenia analizy wytrzymałościowej MES. Ostateczną postać siatki przedstawiono na rys.3.



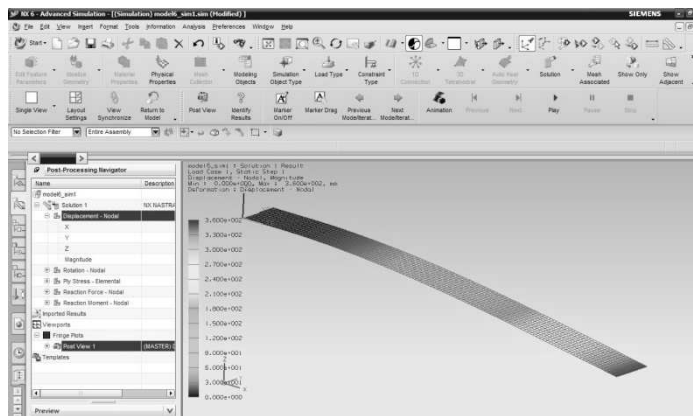
Rys. 4. Siatka nałożona na analizowaną powierzchnię

Na rysunku 5. przedstawiono model z nałożonym więzłem stałego ograniczenia oraz przyłożoną siłą. Postać modelu odwzorowuje model rzeczywisty, badany metodą doświadczalną przy użyciu techniki tensometrycznej.



Rys. 5. Zamocowany model laminatu wraz z obciążeniem w postaci siły

Ostatnim krokiem jest uruchomienie analizy MES oraz odczyt wartości odkształceń w punkcie pomiarowym za pomocą narzędzia *Identify Results*. Wynikiem analizy jest siatka odkształceń (rys.6.).

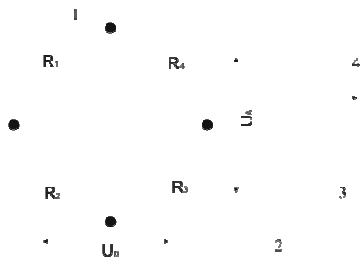


Rys. 6. Wyniki analizy

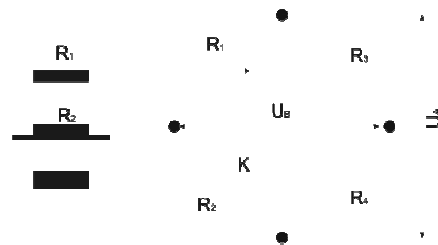
Dokładność uzyskanych wyników jest uzależniona w głównej mierze od znajomości parametrów fizycznych laminatu.

#### 4. Badania doświadczalne

Zjawisko tensooporowe polega na zmianie oporu elektrycznego metali pod wpływem naprężeń ściskających (spadek oporu) i rozciągających (wzrost oporu). Jeżeli drut metalowy zostanie poddany odkształceniu, w granicach sprężystości, nastąpi zmiana rezystancji proporcjonalna do odkształcenia. Naprężenia mechaniczne w przedmiocie są przenoszone przez warstwę kleju, którym przyklejony jest drut do podłoża tego przedmiotu. Do wykonania pomiaru małych zmian oporu, które nie przekraczają 0,5 – 1 Ω służą typowe układy pomiarowe. Podstawowy schemat aparatury pomiarowej przedstawiono na rys.7.[6,7]



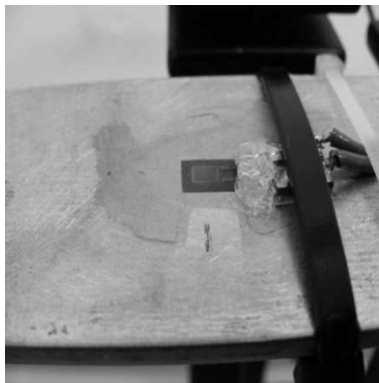
Rys. 7. Podstawowy schemat aparatury tensometrycznej, 1 – mostek pomiarowy (mostek Wheatstone'a), 2 – zasilacz, 3 – wzmacniacz, 4 miernik [6,7]



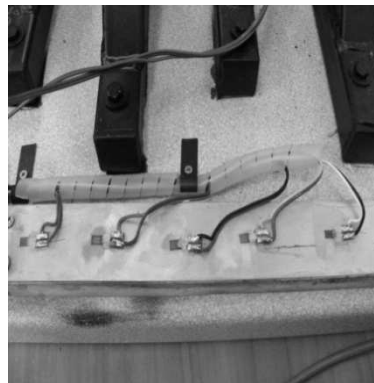
Rys. 8. Zastosowany układ pół mostka[6,7]

Układ przedstawiony na rys.7. składa się z czterech oporników  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  połączonych w układzie mostka Wheatstone'a, precyzyjnego układu zasilania, wzmacniacza oraz miernika. Napięcie wyjściowe  $U_A$  jest mierzone przyrządem o dużym oporze wewnętrznym (nie obciążającym układu). Cały układ pomiarowy jest zasilany stałym, stabilnym napięciem  $U_B$ . [6,7]

Jako czujnik pomiarowy zastosowano pół mostek Wheatstona (rys.8.), złożony z jednego tensometru aktywnego naklejonego na belce (rys.9.) oraz drugiego pasywnego (rys.10.), służącego do kompensacji temperatury. Do wykonania pomiarów użyto wzmacniacza Alpha 3000 model KWS 503.C firmy HBM. Jest to uniwersalny wzmacniacz posiadający budowę modułową. Może funkcjonować jako jednostka jedno lub wiele kanałowa. Podstawowym założeniem urządzenia jest jego samowystarczalność oraz wysoka rozdzielczość w pomiarach cyfrowych i analogowych. Egzemplarz stosowany do badań składał się z jednostki centralnej CMS32 oraz trzech wzmacniaczy laboratoryjnych K 50 C. [6,7]



Rys. 9. Tensometr naklejony na belce pomiarowej



Rys. 10. Tensometry kompensacyjne

Wartością wyjściową w pomiarach tensometrycznych jest napięcie niezrównoważenia  $U_A$ , aby wyznaczyć odkształcenia należy skorzystać z następującej zależności:

$$\varepsilon = \frac{4 U_A}{k U_B}, \quad (1)$$

gdzie,

$k$  – stała tensometru,

$U_B$  – stałe napięcie zasilania mostka [V],

$U_A$  – napięcie niezrównoważenia [V].

Napięcie wyjściowe :

$$U_A = \frac{U_i}{ni}, \quad (2)$$

przy czym

$U_i$  – średnia z serii pomiarów [V],

$n$  – współczynnik wzmocnienia wzmacniacza pomiarowego  $\left[ \frac{mV}{V} \right]$ ,

$i$  – mnożnik współczynnik wzmocnienia wzmacniacza pomiarowego.

Dane pomiarowe użyte do dalszych obliczenia odkształceń:

$k=2,15$ ,

$U_B=5$  [V],

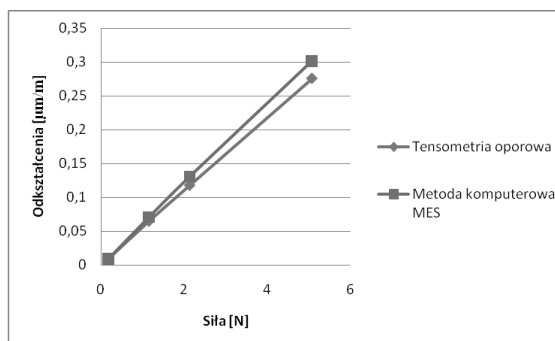
$n=0,2 \left[ \frac{mV}{V} \right]$ ,

$i=1,8$ .

Próbkę do badań wykonano z włókna szklanego, o gramaturze  $500 \frac{g}{m^2}$ , układając cztery kolejne warstwy, nasączone żywicą epoksydową, na płaskowniku stalowym o grubości 0,5 mm. Całkowita grubość kompozytu wynosiła 5,28 mm. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Wyniki pomiaru napięcia przeliczone na odkształcenia

Sposób zadawania siły	Mocowanie	Odważnik 100g + mocowanie	Odważnik 200g + mocowanie	Odważnik 500g + mocowanie
Siła [N]	0,18	1,16	2,14	5,08
Napięcie $U_A$	0,024	0,174	0,318	0,742
Wydłużenie $\varepsilon$	0,009	0,065	0,118	0,276



Rys. 11. Wykres zależności odkształceń od siły

## 5. Podsumowanie

Wykres przedstawiony na rysunku 11. przedstawia porównanie wartości odkształceń uzyskanych za pomocą analizy wytrzymałościowej MES oraz metody pomiarów tensometrycznych. Rozbieżność między tymi metodami wynika z użytych wartości parametrów fizycznych w przypadku włókna szklanego w osnowie żywicy

epoksydowej.

Podczas modelowania laminatu zastosowano parametry dostępne w literaturze, które odbiegają od celu uzyskania dokładnego odwzorowania wyników należało by przeprowadzić próbę rozciągania na maszynie wytrzymałościowej, aby wyznaczyć własności takie jak moduł Younga, współczynnik Poissona oraz moduł Kirchoffa.

Tensometria oporowa jest bardzo rozpowszechnioną techniką stosowaną do weryfikacji wytrzymałościowej rzeczywistych elementów oraz założeń konstrukcyjno – projektowych.

## Literatura

1. Wilczyński, A.P.: Polimerowe kompozyty włókniste. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1996.
2. Hyla, I., Śleżiona J.: Kompozyty Elementy mechaniki i projektowania. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
3. Boczkowska A., Kapuściński J., Puciłowski K., Wojciechowski S.: Kompozyty. Podstawy projektowania i wytwarzania. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
4. Leda H.: Kompozyty polimerowe z włóknami ciągłymi. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2000.
5. Styburski W.: Przetworniki tensometryczne. Konstrukcja, projektowanie, użytkowanie. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1971.
6. Roliński Z.: Tensometria oporowa. Podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1981.

Dr hab. inż. Andrzej BAIER prof. Pol. Śl.

Mgr inż. Michał MAJZNER,

Instytut Automatyzacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania, Politechnika Śląska

44-100 Gliwice, ul. Konarskiego 18A,

tel.: (032) 2371601

e-mail: andrzej.baier@polsl.pl

majzner.michal@gmail.com