

---

# WYBRANE PROBLEMY INŻYNIERSKIE

ZESZYTY NAUKOWE  
INSTYTUTU AUTOMATYZACJI PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH  
I ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW WYTWARZANIA

---

## STANOWISKO DO BADANIA ODKSZTAŁCEŃ DYNAMICZNYCH, ZJAWISKO DELAMINACJI

Arkadiusz Strzeżon<sup>1</sup>, Andrzej Baier<sup>2</sup>

Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania, Wydział  
Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska,  
ul. Konarskiego 18A, 44-100 Gliwice.

<sup>1</sup>arkadiuszstrzezon@gmail.com, <sup>2</sup>andrzej.baier@polsl.pl

**Streszczenie:** W artykule opisano projekt stanowiska, służącego do badania zjawiska delaminacji, zachodzącego przy dynamicznych odkształceniach. Stanowisko zaprojektowano, następnie przeprowadzono analizę numeryczną w programie NX 7. Stanowisko zostało wykonane.

### 1. Wstęp

Materiały kompozytowe coraz częściej są wykorzystywane jako materiał konstrukcyjny w szerokim spektrum dziedzin, takich jak: przemysł lotniczy, morski, samochodowy i wiele innych. Powszechnie używane kompozyty stosowane w konstrukcjach inżynierskich są uznawane za materiały o najlepszych właściwościach [5].

Laminaty są zazwyczaj wykonane z materiałów syntetycznych, posiadają wysoką wytrzymałość, w stosunku do masy, i wymagają kontrolowanych warunków produkcji dla optymalnej wydajności. Materiały kompozytowe zastąpiły metale w przemyśle lotniczym z powodu znacznego obniżenia wagi konstrukcji, przy zachowaniu i/lub poprawie właściwości wytrzymałości. Na przykład Boeing 757 używa około 21,5 m<sup>3</sup> kompozytów w kadłubie i skrzydłach, dodatkowo 10,2 m<sup>3</sup> stosowane w budowie sterów, wind, paneli krawędzi i owiewek. Bombowiec B-2 zawiera włókna węgla i szklane, matryce wykonane z żywic epoksydowych i wysokotemperaturowych poliimidów, jak również innych materiałów kompozytowych w liczbie większej niż 10,000 części [3].

Kompozyty są uważane za jeden z podstawowych materiałów w tworzeniu dużych statków powietrznych. Są stosowane w samochodach wyścigowych, raketach do tenisa, kijach golfowych, i innych akcesoriach sportowych. Chociaż technologie produkcji materiałów kompozytowych gwałtownie rosną, nie są w pełni rozwinięte. Nowe kombinacje materiałów, jak włókna i żywice, są stale rozwijane [2].

Wyznaczenie wytrzymałości poszczególnych typów laminatów na działanie różnorodnych sił i odkształceń, podczas działania tych sił, ma wielkie znaczenie przy doborze laminatów najbardziej odpowiednich do danego zastosowania. Dodatkowo pozwala konstruktorowi wykonać obliczenia wytrzymałościowe oraz określić dopuszczalne wymiary elementów. Najczęściej wyznaczane właściwości wytrzymałościowe to: wytrzymałość na rozciąganie, ściskanie, zginanie, udarność, odporność na rozwarstwienie oraz twardość [1].

W pracy podjęto próbę zamodelowania stanowiska do badania pomiarów odkształceń dynamicznych i zjawiska delaminacji, jak również zbadania odporności na rozwarstwianie.

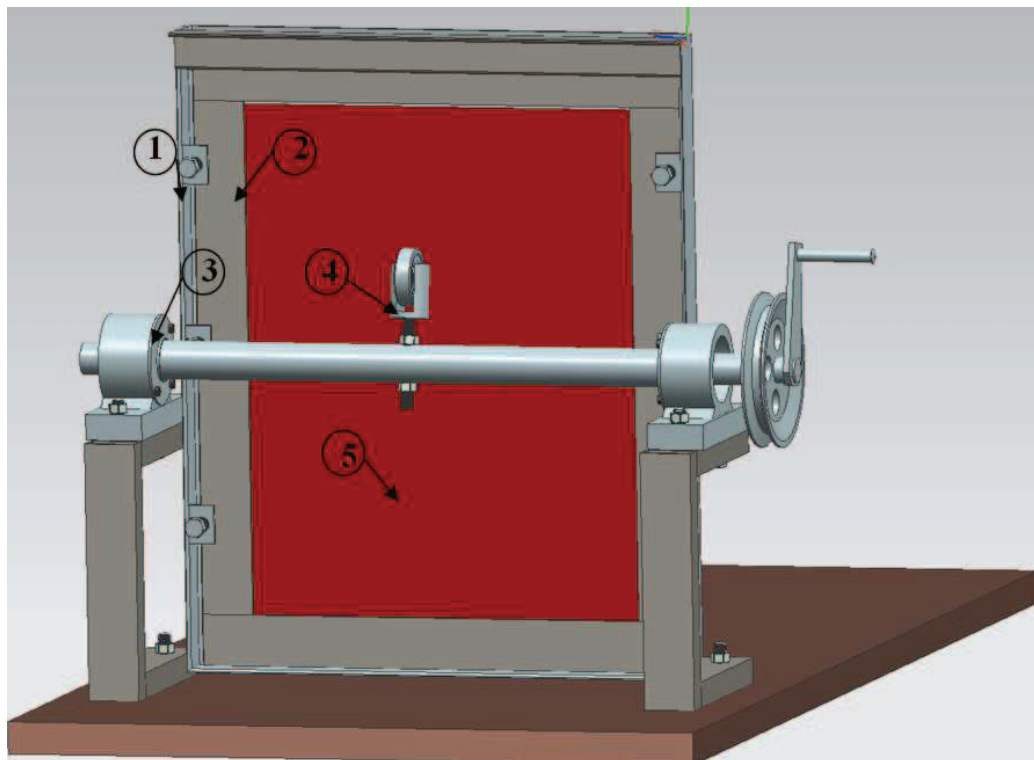
## 2. Proces modelowania i analiza numeryczna

### 2.1 Cel pracy

Celem pracy było zaprojektowanie stanowiska do pomiaru odkształceń dynamicznych i zjawiska delaminacji. Delaminacja jest to proces degradacji tworzyw kompozytowych, zwłaszcza laminatów. Polega na postępującym odspajaniu włókien konstrukcyjnych od lepiscza, którym są połączone. Bezpośrednio jest to spowodowane najczęściej przez powtarzające się obciążenia dynamiczne [5].

### 2.2 Założenia w procesie modelowania

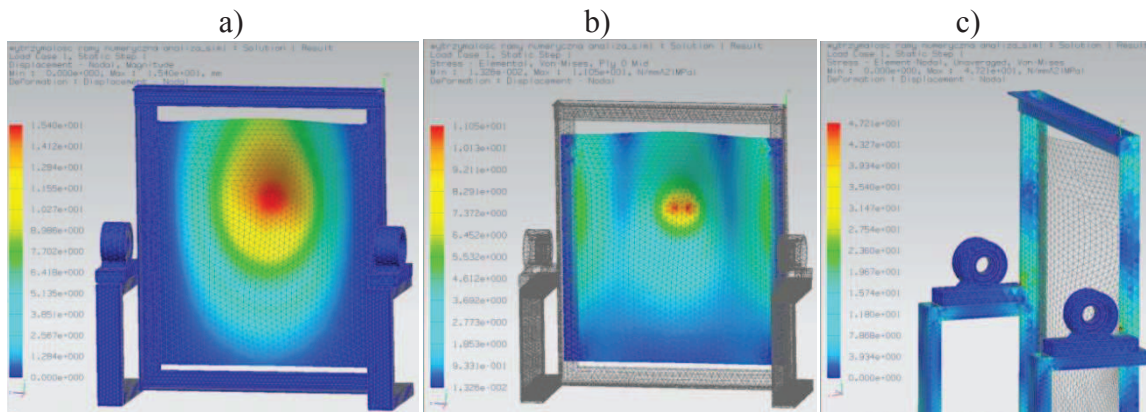
Pierwszym etapem pracy była analiza literatury w odniesieniu do możliwości badań materiałów kompozytowych. Założeniem było badanie laminatu na zjawisko rozwarstwiania, występujące przy zbyt dużym odkształceniu danego materiału, np. przy zginaniu, ściskaniu i ścinaniu tego materiału. Zaprojektowane stanowisko służy do badania zjawiska delaminacji przy dynamicznych odkształceniach. Oddziaływanie polega na odkształcaniu próbki w określonym czasie. Po zakończeniu badania przy zadanym odkształceniu możliwe jest wyznaczenie odporności na rozwarstwianie. Stanowisko przedstawione na rys. 1 zaprojektowano w programie UGS NX 7.0. Główne elementy składowe stanowiska to: rama główna - 1, rama środkowa - 2, łożyska w oprawkach - 3, krzywka - 4, płyta badana - 5.



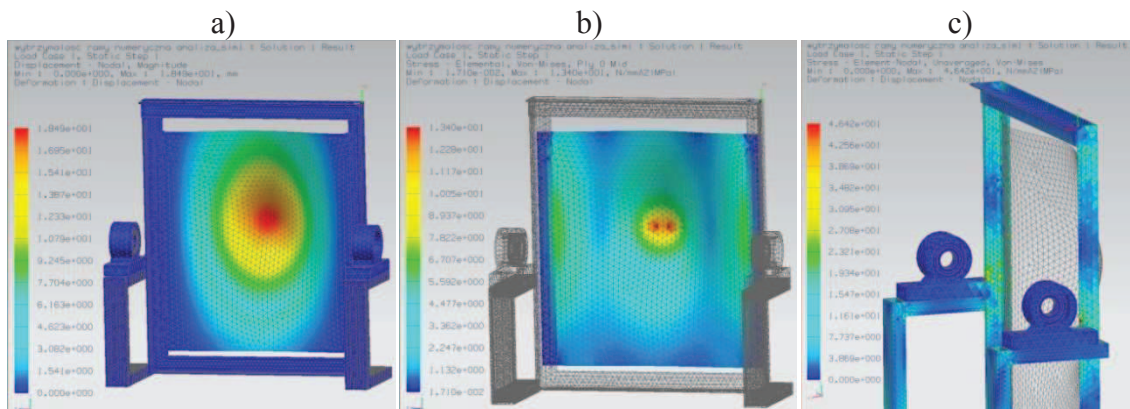
Rys. 1. Widok zaprojektowanego stanowiska do pomiaru odkształceń dynamicznych i zjawiska delaminacji

### 2.3 Symulacje numeryczne

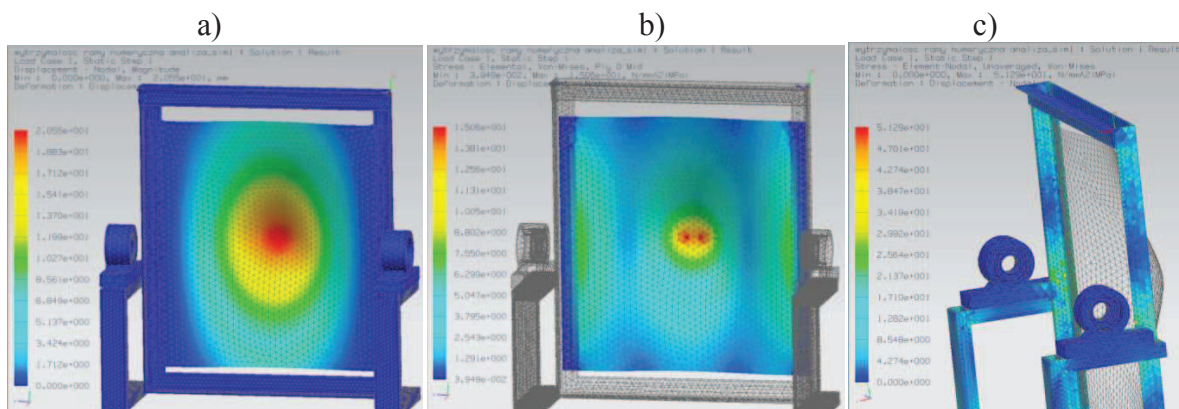
W kolejnym etapie projektu przeanalizowano zaprojektowane rozwiązanie konstrukcyjne w Advanced Simulation. Przedstawiono przemieszczenia i naprężenia w trzech pozycjach ruchu korby.



Rys. 2. Widok: a) przemieszczeń, b) naprężeń w płycie, c) naprężeń w ramie, w początkowym położeniu krzywki



Rys. 3. Widok: a) przemieszczeń, b) naprężeń w płycie, c) naprężeń w ramie, w pośrednim położeniu krzywki



Rys. 4. Widok: a) przemieszczeń, b) naprężeń w płycie, c) naprężeń w ramie, w maksymalnym położeniu krzywki - maksymalne wychylenie płyty

Wyniki analizy numerycznej przedstawiono na rys. 2, 3, 4 pozwoliły na zbadanie stanowiska przed jego wykonaniem i weryfikację poprawnego zaprojektowania. Wyniki analizy potwierdzają, iż stanowisko wytrzyma zadane obciążenia.

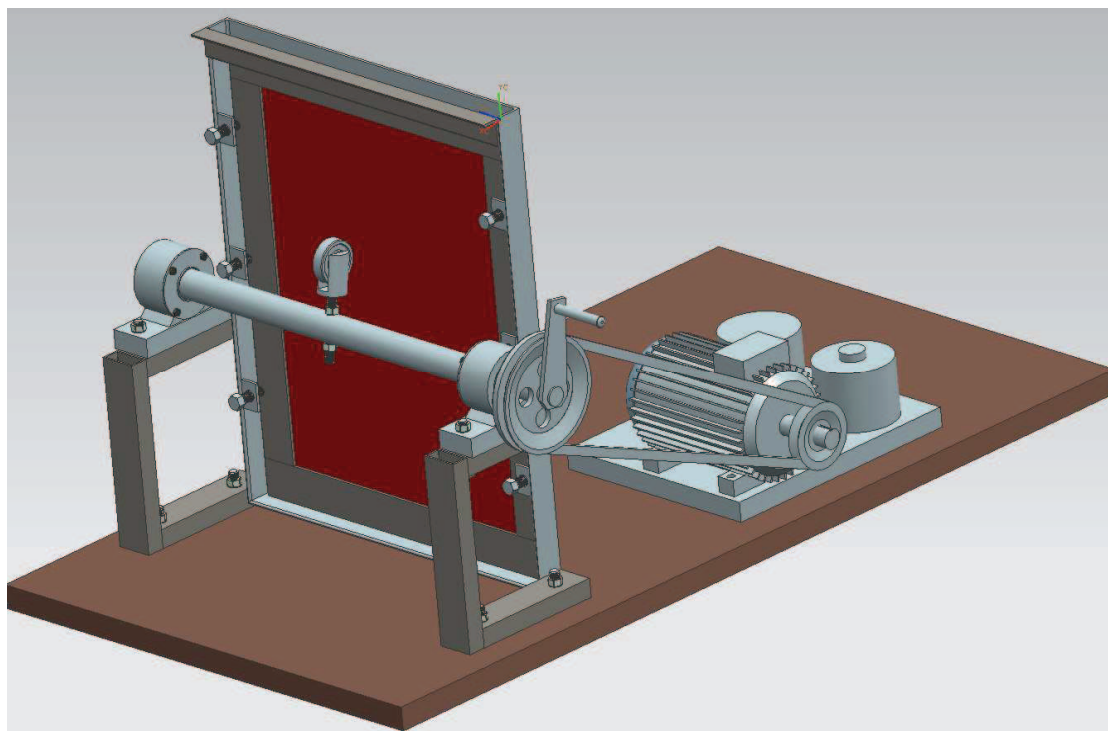
### 3. WYKONANE STANOWISKO

Po zaprojektowaniu i analizie numerycznej danego rozwiązania technologicznego wykonano stanowisko (rys. 5).



Rys. 5. Widok wykonanego stanowiska a) bez badanej płyty, b) płyta włókno szklane, c) włókno kevlar

Stanowisko zrealizowano z ogólnodostępnych materiałów, takich jak: kątowniki, kształtowniki prostokątne, płaskowniki. Krzywkę osadzono na osi, wykonanej z litego pręta i umieszczono na dwóch łożyskach w obudowach zamkniętych. Napęd krzywki wykonano z możliwością podłączenia silnika z regulowaną prędkością obrotową poprzez pasek klinowy.



Rys. 6. Widok zaprojektowanego stanowiska do pomiaru odkształceń dynamicznych i zjawiska delaminacji

Kolejnym etapem projektu (rys. 6) będzie podłączenie silnika i badanie materiału przez dłuższy czas i z taką samą (regulowaną) częstotliwością odkształceń przy różnych próbkach.

### Literatura

1. Brzeziński J.: Laminaty termoutwardzalne. Warszawa: WNT, 1963.
2. Hyla I., Śleziona J.: Kompozyty: elementy mechaniki i projektowania. Gliwice: Wyd. Pol. Śl., 2004.
3. Baker A., Dutton S., Kelly D.: Composite materials for aircraft structures. Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2004.
4. Konsztowicz K.: Kompozyty wzmacniane włóknami: podstawy technologii. Kraków: Wyd. AGH, 1983.
5. Wilczyński A.: Polimerowe kompozyty włókniste: własności, struktura, projektowanie. Warszawa: WNT, 1996.
6. Biblioteka pomocy UGS NX 7.

## THE TEST UNIT TO STUDY OF DYNAMIC DEFORMATION, PHENOMENON OF DELAMINATION

**Summary:** The article describes the test unit design used to study the phenomenon of delamination that occur with the dynamic deformation. This unit was designed, then the numerical analysis was carried out in the NX7 program. Afterwards, the device was made.