



Laboratorium Badań Kompozytów

Instytut Lotnictwa

www.ilot.edu.pl

Kamila Czajkowska



1. Wykonywanie badań oraz określanie właściwości materiałowych kompozytu w akredytowanym Laboratorium Badań Kompozytów w celu:
 - Utworzenia baz materiałowych
 - Walidacji metody elementów skończonych
 - Oszacowania tolerancji uszkodzeń struktur kompozytowych
 - Oszacowania jakości wyrobów kompozytowych
2. Wykonywanie prób technologicznych wytwarzania elementów kompozytowych z preimpregnatów węglowych w procesie OOA (Out of Autoclave).
3. Monitorowanie propagacji delaminacji materiałów kompozytowych z wykorzystaniem metod numerycznych (NASTRAN, ANSYS, ABAQUS) oraz eksperymentalnych.
4. Wykrywanie wad oraz prowadzenie analiz rozwoju uszkodzeń w materiałach kompozytowych metodami badań nieniszczących.
5. Przeprowadzanie badań rezonansowych.
6. Wykonywanie analiz flatteru na podstawie prób rezonansowych oraz z wykorzystaniem danych teoretycznych w systemie NASTRAN



AB 1490

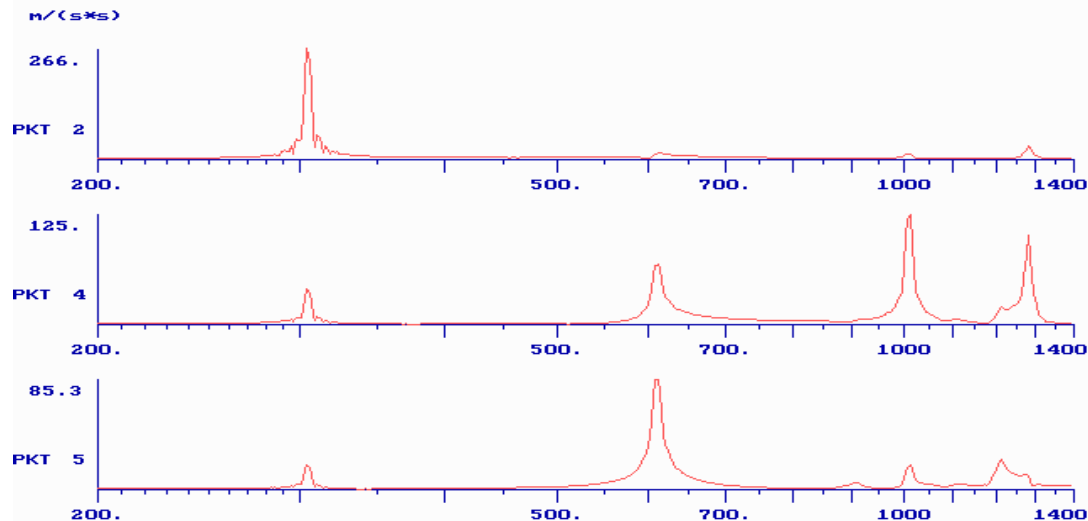
System pomiarowy LMS do badań drgań wraz z oprogramowaniem umożliwiającym rejestrację drgań i wyznaczanie charakterystyk częstotliwościowo-amplitudowych, częstotliwości rezonansowych, postaci drgań rezonansowych, uogólnionych współczynników masy i tłumienia modalnego, operacyjną analizę modalną.

Liczba kanałów pomiarowych: **256**

Maksymalna częstotliwość próbkowania: **200 kHz na kanał**

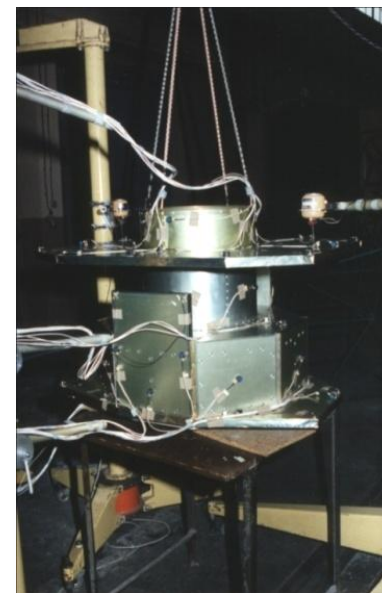
Zakres generowanych częstotliwości: **0 – 100 kHz**

Możliwość rejestracji w locie: **2 rejestratory po 64 kanały**

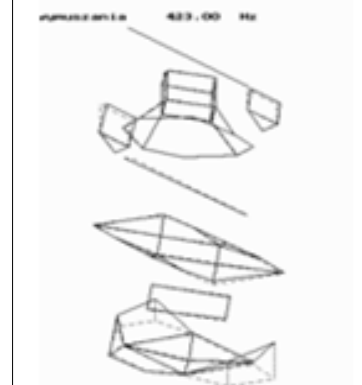


Odlew nr 2, 9 czujników.

Charakterystyka częstotliwościowo-amplitudowa



Free vibration modes of satellite structure



Satelita Cezar podczas badań rezonansowych.

BADANIE DRGAŃ 3D



❖ Laserowy trójwymiarowy system skanujący do pomiarów drgań 3D

Oprogramowanie umożliwiające definicję lub import geometrii badanego obiektu

Dokonywanie pomiarów i animacja w dziedzinie czasu,

wyznaczanie częstotliwości i postaci drgań,

Rozszerzona transformata Fouriera: do 819 200 linii

Post procesing umożliwiający wyznaczenie dynamicznych odkształceń i naprężeń.

Zakres mierzonych prędkości: **0.001 - 10 m/s**

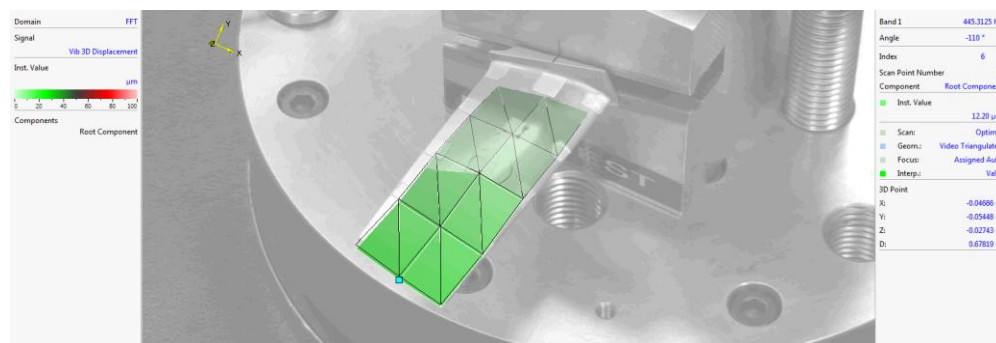
Zakres mierzonych częstotliwości: **0 – 100 kHz**

Zakres odchylania wiązki: **50° - 40°**

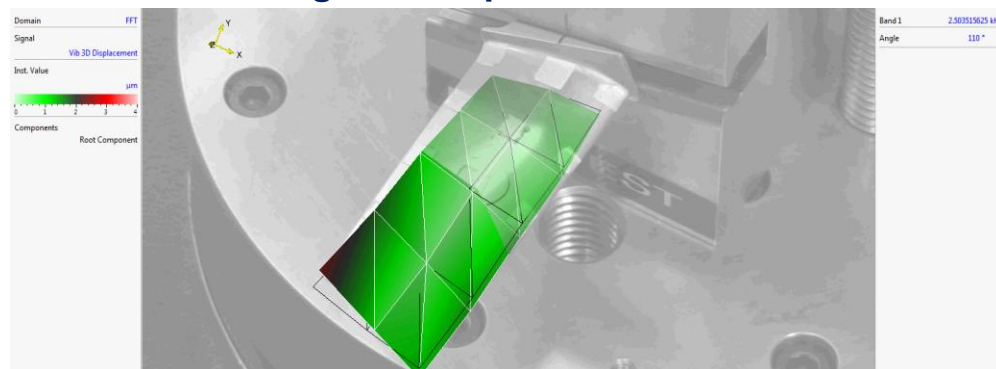
Dokładność pozycjonowania: **0,002°**

Maksymalnie 50 punktów skanowania na sekundę

Maksymalna ilość punktów pomiarowych: **512x512**



Zginanie łopatk



Skrećanie łopatk

BADANIA KRIOGENICZNE FIZYKO-CHEMICZNE

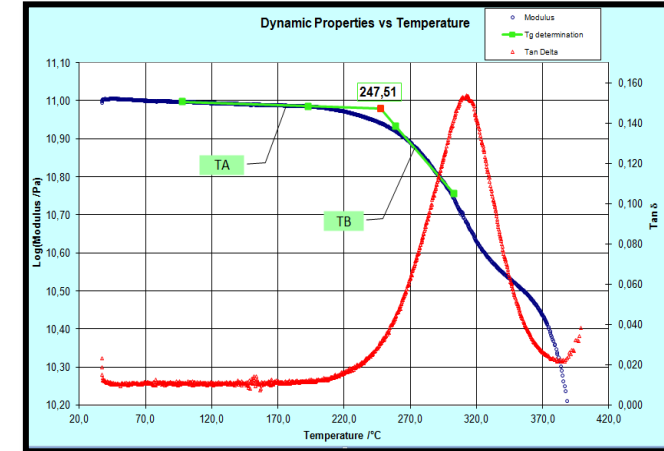


❖ DMA Perkin Elmer DMA 8000

- Wyznaczanie:
temperatury zeszklenia - T_g ,
modułu Young'a - E
- Zakres temperatur :
 $-180^{\circ}\text{C} \div 400^{\circ}\text{C}$



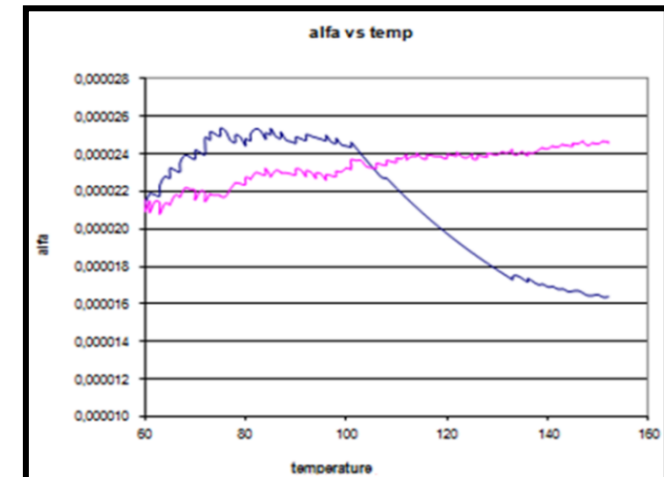
Próbka do DMA



Wyznaczanie temperatury zeszklenia

❖ Dylatometer Anter Unitherm 1000

- wyznaczanie współczynnika
rozszerzalności termicznej
- Zakres temperatur:
 $-196^{\circ}\text{C} \div 1100^{\circ}\text{C}$



Wyznaczanie współczynnika
rozszerzalności termicznej

BADANIA KRIOGENICZNE MECHANICZNE



❖ Maszyna wytrzymałościowa MTS 322 wraz z komorą klimatyczną

- Zakres temperatury: $-130^{\circ}\text{C} \div 315^{\circ}\text{C}$
- Zakres obciążenia do 250kN



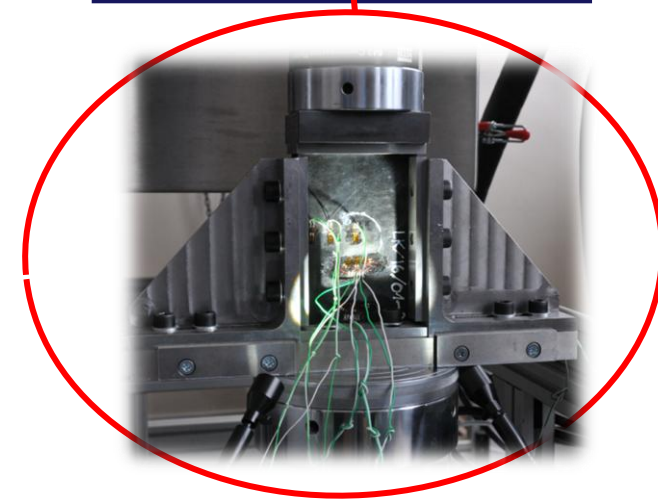
Maszyna MTS 322 z komorą klimatyczną



Próbka przed badaniem
w ciekłym azocie



Próbka po badaniu w
ciekłym azocie



Próbka do badania wytrzymałości
reszkowej

Instron DropTower CEAST 9350

Zakres energii: **0.59 -1800J**

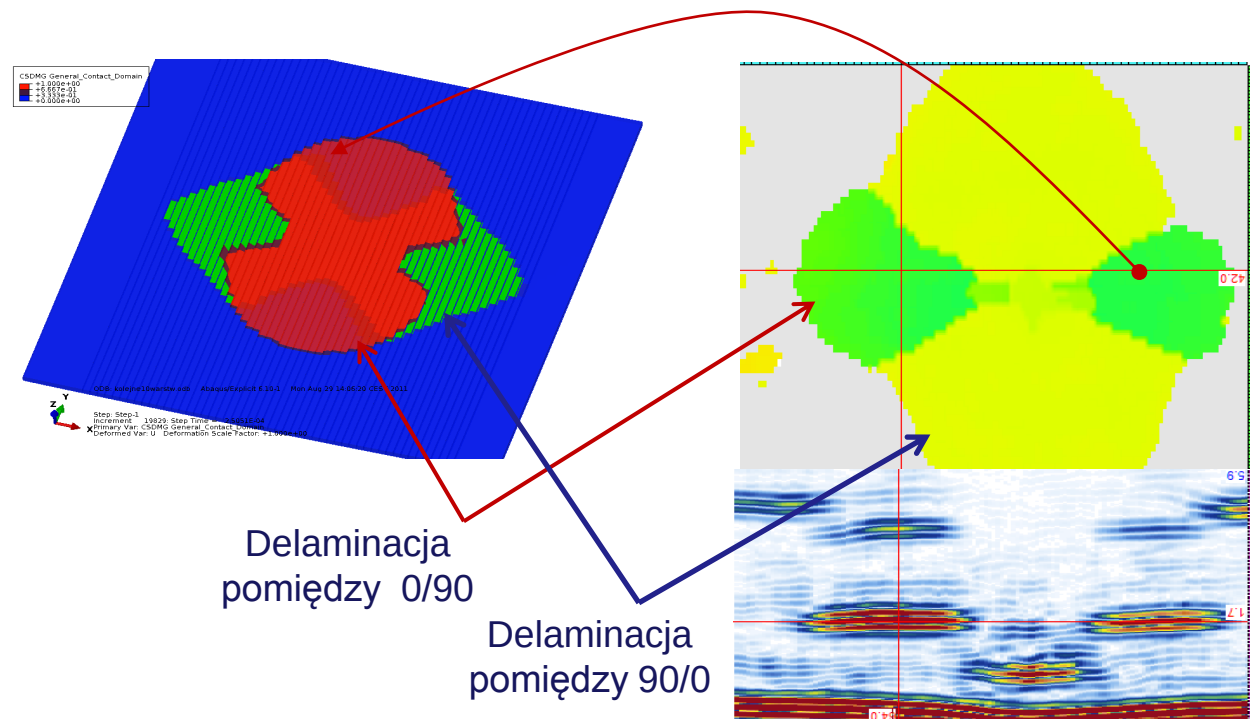
Prędkość uderzenia: **0.77 – 24 m/s**

Wysokość rzutu: **0.03 – 29.4 m**

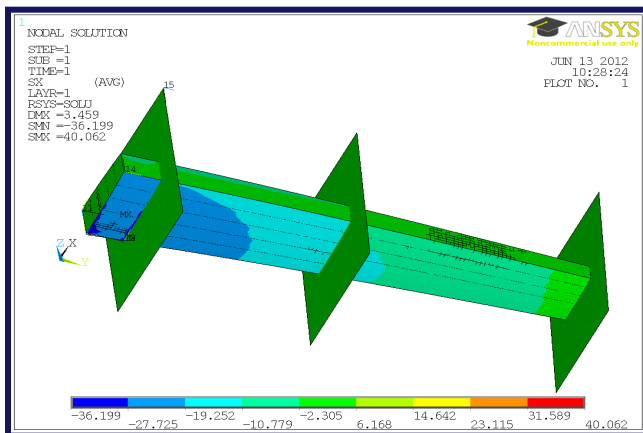
Przestrzeń pomiarowa: **720x720x630**

Porównanie wyników otrzymanych z analizy numerycznej i skanów ultradźwiękowych.

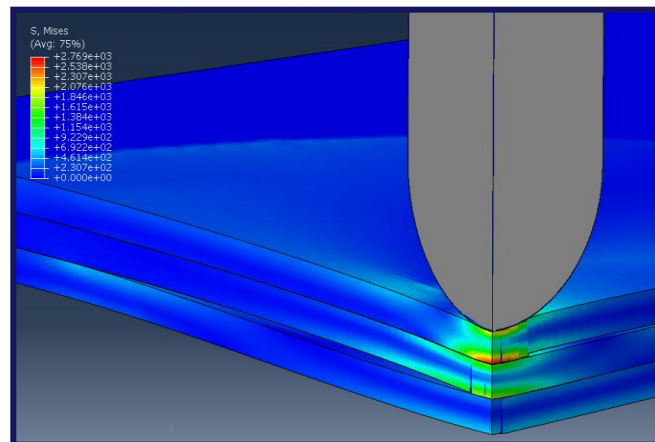
Delaminacja powstała w wyniku uderzenia o energii 8J pomiędzy warstwami kompozytu $0^\circ/90^\circ/0^\circ$



- Analiza numeryczna struktur kompozytu przy użyciu programów: ANSYS, ABAQUS, MARC
- Symulacja propagacji delaminacji przy użyciu metody VCCT i elementów kohezyjnych
- modelowanie w 3D



Rozkład naprężeń w
stateczniku poziomym
samolotu I-23



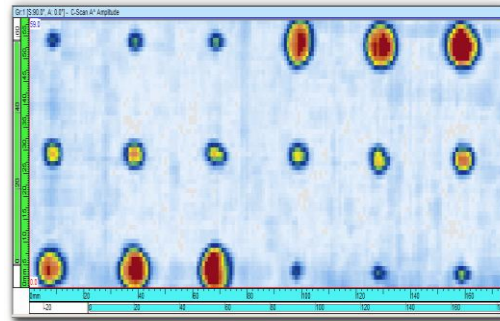
Rozkład naprężeń podczas badania
udarowego

Step: 33
Time: 9.100e-001

Color scale: 8.880e-001, 8.430e-001, 7.974e-001, 7.524e-001, 7.074e-001, 6.624e-001, 6.174e-001, 5.724e-001, 5.274e-001, 4.824e-001, 4.374e-001, 3.924e-001, 3.474e-001, 3.024e-001, 2.574e-001, 2.124e-001, 1.674e-001, 1.224e-001, 7.74e-002, 3.24e-002, -1.214e-002, -2.764e-002, -4.304e-002, -5.844e-002, -7.384e-002, -8.924e-002, -1.046e-001, -1.198e-001, -1.350e-001, -1.502e-001, -1.654e-001, -1.806e-001, -1.958e-001, -2.110e-001, -2.262e-001, -2.414e-001, -2.566e-001, -2.718e-001, -2.870e-001, -3.022e-001, -3.174e-001, -3.326e-001, -3.478e-001, -3.630e-001, -3.782e-001, -3.934e-001, -4.086e-001, -4.238e-001, -4.390e-001, -4.542e-001, -4.694e-001, -4.846e-001, -4.998e-001, -5.150e-001, -5.302e-001, -5.454e-001, -5.606e-001, -5.758e-001, -5.910e-001, -6.062e-001, -6.214e-001, -6.366e-001, -6.518e-001, -6.670e-001, -6.822e-001, -6.974e-001, -7.126e-001, -7.278e-001, -7.430e-001, -7.582e-001, -7.734e-001, -7.886e-001, -8.038e-001, -8.190e-001, -8.342e-001, -8.494e-001, -8.646e-001, -8.798e-001, -8.950e-001, -9.102e-001, -9.254e-001, -9.406e-001, -9.558e-001, -9.710e-001, -9.862e-001, -1.001e-000, -1.016e-000, -1.031e-000, -1.046e-000, -1.061e-000, -1.076e-000, -1.091e-000, -1.106e-000, -1.121e-000, -1.136e-000, -1.151e-000, -1.166e-000, -1.181e-000, -1.196e-000, -1.211e-000, -1.226e-000, -1.241e-000, -1.256e-000, -1.271e-000, -1.286e-000, -1.301e-000, -1.316e-000, -1.331e-000, -1.346e-000, -1.361e-000, -1.376e-000, -1.391e-000, -1.406e-000, -1.421e-000, -1.436e-000, -1.451e-000, -1.466e-000, -1.481e-000, -1.496e-000, -1.511e-000, -1.526e-000, -1.541e-000, -1.556e-000, -1.571e-000, -1.586e-000, -1.601e-000, -1.616e-000, -1.631e-000, -1.646e-000, -1.661e-000, -1.676e-000, -1.691e-000, -1.706e-000, -1.721e-000, -1.736e-000, -1.751e-000, -1.766e-000, -1.781e-000, -1.796e-000, -1.811e-000, -1.826e-000, -1.841e-000, -1.856e-000, -1.871e-000, -1.886e-000, -1.901e-000, -1.916e-000, -1.931e-000, -1.946e-000, -1.961e-000, -1.976e-000, -1.991e-000, -2.006e-000, -2.021e-000, -2.036e-000, -2.051e-000, -2.066e-000, -2.081e-000, -2.096e-000, -2.111e-000, -2.126e-000, -2.141e-000, -2.156e-000, -2.171e-000, -2.186e-000, -2.201e-000, -2.216e-000, -2.231e-000, -2.246e-000, -2.261e-000, -2.276e-000, -2.291e-000, -2.306e-000, -2.321e-000, -2.336e-000, -2.351e-000, -2.366e-000, -2.381e-000, -2.396e-000, -2.411e-000, -2.426e-000, -2.441e-000, -2.456e-000, -2.471e-000, -2.486e-000, -2.501e-000, -2.516e-000, -2.531e-000, -2.546e-000, -2.561e-000, -2.576e-000, -2.591e-000, -2.606e-000, -2.621e-000, -2.636e-000, -2.651e-000, -2.666e-000, -2.681e-000, -2.696e-000, -2.711e-000, -2.726e-000, -2.741e-000, -2.756e-000, -2.771e-000, -2.786e-000, -2.801e-000, -2.816e-000, -2.831e-000, -2.846e-000, -2.861e-000, -2.876e-000, -2.891e-000, -2.906e-000, -2.921e-000, -2.936e-000, -2.951e-000, -2.966e-000, -2.981e-000, -2.996e-000, -3.011e-000, -3.026e-000, -3.041e-000, -3.056e-000, -3.071e-000, -3.086e-000, -3.101e-000, -3.116e-000, -3.131e-000, -3.146e-000, -3.161e-000, -3.176e-000, -3.191e-000, -3.206e-000, -3.221e-000, -3.236e-000, -3.251e-000, -3.266e-000, -3.281e-000, -3.296e-000, -3.311e-000, -3.326e-000, -3.341e-000, -3.356e-000, -3.371e-000, -3.386e-000, -3.401e-000, -3.416e-000, -3.431e-000, -3.446e-000, -3.461e-000, -3.476e-000, -3.491e-000, -3.506e-000, -3.521e-000, -3.536e-000, -3.551e-000, -3.566e-000, -3.581e-000, -3.596e-000, -3.611e-000, -3.626e-000, -3.641e-000, -3.656e-000, -3.671e-000, -3.686e-000, -3.701e-000, -3.716e-000, -3.731e-000, -3.746e-000, -3.761e-000, -3.776e-000, -3.791e-000, -3.806e-000, -3.821e-000, -3.836e-000, -3.851e-000, -3.866e-000, -3.881e-000, -3.896e-000, -3.911e-000, -3.926e-000, -3.941e-000, -3.956e-000, -3.971e-000, -3.986e-000, -4.001e-000, -4.016e-000, -4.031e-000, -4.046e-000, -4.061e-000, -4.076e-000, -4.091e-000, -4.106e-000, -4.121e-000, -4.136e-000, -4.151e-000, -4.166e-000, -4.181e-000, -4.196e-000, -4.211e-000, -4.226e-000, -4.241e-000, -4.256e-000, -4.271e-000, -4.286e-000, -4.301e-000, -4.316e-000, -4.331e-000, -4.346e-000, -4.361e-000, -4.376e-000, -4.391e-000, -4.406e-000, -4.421e-000, -4.436e-000, -4.451e-000, -4.466e-000, -4.481e-000, -4.496e-000, -4.511e-000, -4.526e-000, -4.541e-000, -4.556e-000, -4.571e-000, -4.586e-000, -4.601e-000, -4.616e-000, -4.631e-000, -4.646e-000, -4.661e-000, -4.676e-000, -4.691e-000, -4.706e-000, -4.721e-000, -4.736e-000, -4.751e-000, -4.766e-000, -4.781e-000, -4.796e-000, -4.811e-000, -4.826e-000, -4.841e-000, -4.856e-000, -4.871e-000, -4.886e-000, -4.901e-000, -4.916e-000, -4.931e-000, -4.946e-000, -4.961e-000, -4.976e-000, -4.991e-000, -5.006e-000, -5.021e-000, -5.036e-000, -5.051e-000, -5.066e-000, -5.081e-000, -5.096e-000, -5.111e-000, -5.126e-000, -5.141e-000, -5.156e-000, -5.171e-000, -5.186e-000, -5.201e-000, -5.216e-000, -5.231e-000, -5.246e-000, -5.261e-000, -5.276e-000, -5.291e-000, -5.306e-000, -5.321e-000, -5.336e-000, -5.351e-000, -5.366e-000, -5.381e-000, -5.396e-000, -5.411e-000, -5.426e-000, -5.441e-000, -5.456e-000, -5.471e-000, -5.486e-000, -5.501e-000, -5.516e-000, -5.531e-000, -5.546e-000, -5.561e-000, -5.576e-000, -5.591e-000, -5.606e-000, -5.621e-000, -5.636e-000, -5.651e-000, -5.666e-000, -5.681e-000, -5.696e-000, -5.711e-000, -5.726e-000, -5.741e-000, -5.756e-000, -5.771e-000, -5.786e-000, -5.801e-000, -5.816e-000, -5.831e-000, -5.846e-000, -5.861e-000, -5.876e-000, -5.891e-000, -5.906e-000, -5.921e-000, -5.936e-000, -5.951e-000, -5.966e-000, -5.981e-000, -5.996e-000, -6.011e-000, -6.026e-000, -6.041e-000, -6.056e-000, -6.071e-000, -6.086e-000, -6.101e-000, -6.116e-000, -6.131e-000, -6.146e-000, -6.161e-000, -6.176e-000, -6.191e-000, -6.206e-000, -6.221e-000, -6.236e-000, -6.251e-000, -6.266e-000, -6.281e-000, -6.296e-000, -6.311e-000, -6.326e-000, -6.341e-000, -6.356e-000, -6.371e-000, -6.386e-000, -6.401e-000, -6.416e-000, -6.431e-000, -6.446e-000, -6.461e-000, -6.476e-000, -6.491e-000, -6.506e-000, -6.521e-000, -6.536e-000, -6.551e-000, -6.566e-000, -6.581e-000, -6.596e-000, -6.611e-000, -6.626e-000, -6.641e-000, -6.656e-000, -6.671e-000, -6.686e-000, -6.701e-000, -6.716e-000, -6.731e-000, -6.746e-000, -6.761e-000, -6.776e-000, -6.791e-000, -6.806e-000, -6.821e-000, -6.836e-000, -6.851e-000, -6.866e-000, -6.881e-000, -6.896e-000, -6.911e-000, -6.926e-000, -6.941e-000, -6.956e-000, -6.971e-000, -6.986e-000, -7.001e-000, -7.016e-000, -7.031e-000, -7.046e-000, -7.061e-000, -7.076e-000, -7.091e-000, -7.106e-000, -7.121e-000, -7.136e-000, -7.151e-000, -7.166e-000, -7.181e-000, -7.196e-000, -7.211e-000, -7.226e-000, -7.241e-000, -7.256e-000, -7.271e-000, -7.286e-000, -7.301e-000, -7.316e-000, -7.331e-000, -7.346e-000, -7.361e-000, -7.376e-000, -7.391e-000, -7.406e-000, -7.421e-000, -7.436e-000, -7.451e-000, -7.466e-000, -7.481e-000, -7.496e-000, -7.511e-000, -7.526e-000, -7.541e-000, -7.556e-000, -7.571e-000, -7.586e-000, -7.601e-000, -7.616e-000, -7.631e-000, -7.646e-000, -7.661e-000, -7.676e-000, -7.691e-000, -7.706e-000, -7.721e-000, -7.736e-000, -7.751e-000, -7.766e-000, -7.781e-000, -7.796e-000, -7.811e-000, -7.826e-000, -7.841e-000, -7.856e-000, -7.871e-000, -7.886e-000, -7.901e-000, -7.916e-000, -7.931e-000, -7.946e-000, -7.961e-000, -7.976e-000, -7.991e-000, -8.006e-000, -8.021e-000, -8.036e-000, -8.051e-000, -8.066e-000, -8.081e-000, -8.096e-000, -8.111e-000, -8.126e-000, -8.141e-000, -8.156e-000, -8.171e-000, -8.186e-000, -8.201e-000, -8.216e-000, -8.231e-000, -8.246e-000, -8.261e-000, -8.276e-000, -8.291e-000, -8.306e-000, -8.321e-000, -8.336e-000, -8.351e-000, -8.366e-000, -8.381e-000, -8.396e-000, -8.411e-000, -8.426e-000, -8.441e-000, -8.456e-000, -8.471e-000, -8.486e-000, -8.501e-000, -8.516e-000, -8.531e-000, -8.546e-000, -8.561e-000, -8.576e-000, -8.591e-000, -8.606e-000, -8.621e-000, -8.636e-000, -8.651e-000, -8.666e-000, -8.681e-000, -8.696e-000, -8.711e-000, -8.726e-000, -8.741e-000, -8.756e-000, -8.771e-000, -8.786e-000, -8.801e-000, -8.816e-000, -8.831e-000, -8.846e-000, -8.861e-000, -8.876e-000, -8.891e-000, -8.906e-000, -8.921e-000, -8.936e-000, -8.951e-000, -8.966e-000, -8.981e-000, -8.996e-000, -9.011e-000, -9.026e-000, -9.041e-000, -9.056e-000, -9.071e-000, -9.086e-000, -9.101e-000, -9.116e-000, -9.131e-000, -9.146e-000, -9.161e-000, -9.176e-000, -9.191e-000, -9.206e-000, -9.221e-000, -9.236e-000, -9.251e-000, -9.266e-000, -9.281e-000, -9.296e-000, -9.311e-000, -9.326e-000, -9.341e-000, -9.356e-000, -9.371e-000, -9.386e-000, -9.401e-000, -9.416e-000, -9.431e-000, -9.446e-000, -9.461e-000, -9.476e-000, -9.491e-000, -9.506e-000, -9.521e-000, -9.536e-000, -9.551e-000, -9.566e-000, -9.581e-000, -9.596e-000, -9.611e-000, -9.626e-000, -9.641e-000, -9.656e-000, -9.671e-000, -9.686e-000, -9.701e-000, -9.716e-000, -9.731e-000, -9.746e-000, -9.761e-000, -9.776e-000, -9.791e-000, -9.806e-000, -9.821e-000, -9.836e-000, -9.851e-000, -9.866e-000, -9.881e-000, -9.896e-000, -9.911e-000, -9.926e-000, -9.941e-000, -9.956e-000, -9.971e-000, -9.986e-000, -1.001e-000, -1.016e-000, -1.031e-000, -1.046e-000, -1.061e-000, -1.076e-000, -1.091e-000, -1.106e-000, -1.121e-000, -1.136e-000, -1.151e-000, -1.166e-000, -1.181e-000, -1.196e-000, -1.211e-000, -1.226e-000, -1.241e-000, -1.256e-000, -1.271e-000, -1.286e-000, -1.301e-000, -1.316e-000, -1.331e-000, -1.346e-000, -1.361e-000, -1.376e-000, -1.391e-000, -1.406e-000, -1.421e-000, -1.436e-000, -1.451e-000, -1.466e-000, -1.481e-000, -1.496e-000, -1.511e-000, -1.526e-000, -1.541e-000, -1.556e-000, -1.571e-000, -1.586e-000, -1.601e-000, -1.616e-000, -1.631e-000, -1.646e-000, -1.661e-000, -1.676e-000, -1.691e-000, -1.706e-000, -1.721e-000, -1.736e-000, -1.751e-000, -1.766e-000, -1.781e-000, -1.796e-000, -1.811e-000, -1.826e-000, -1.841e-000, -1.856e-000, -1.871e-000, -1.886e-000, -1.901e-000, -1.916e-000, -1.931e-000, -1.946e-000, -1.961e-000, -1.976e-000, -1.991e-000, -2.006e-000, -2.021e-000, -2.036e-000, -2.051e-000, -2.066e-000, -2.081e-000, -2.096e-000, -2.111e-000, -2.126e-000, -2.141e-000, -2.156e-000, -2.171e-000, -2.186e-000, -2.201e-000, -2.216e-000, -2.231e-000, -2.246e-000, -2.261e-000, -2.276e-000, -2.291e-000, -2.306e-000, -2.321e-000, -2.336e-000, -2.351e-000, -2.366e-000, -2.381e-000, -2.396e-000, -2.411e-000, -2.426e-000, -2.441e-000, -2.456e-000, -2.471e-000, -2.486e-000, -2.501e-000, -2.516e-000, -2.531e-000, -2.546e-000, -2.561e-000, -2.576e-000, -2.591e-000, -2.606e-000, -2.621e-000, -2.636e-000, -2.651e-000, -2.666e-000, -2.681e-000, -2.696e-000, -2.711e-000, -2.726e-000, -2.741e-000, -2.756e-000, -2.771e-000, -2.786e-000, -2.801e-000, -2.816e-000, -2.831e-000, -2.846e-000, -2.861e-000, -2.876e-000, -2.891e-000, -2.906e-000, -2.921e-000, -2.936e-000, -2.951e-000, -2.966e-000, -2.981e-000, -2.996e-000, -3.011e-000, -3.026e-000, -3.041e-000, -3.056e-000, -3.071e-000, -3.086e-000, -3.101e-000, -3.116e-000, -3.131e-000, -3.146e-000, -3.161e-000, -3.176e-000, -3.191e-000, -3.206e-000, -3.221e-000, -3.236e-000, -3.251e-000, -3.266e-000, -3.281e-000, -3.296e-000, -3.311e-000, -3.326e-000, -3.341e-000, -3.356e-000, -3.371e-000, -3.386e-000, -3.401e-000, -3.416e-000, -3.431e-000, -3.446e-000, -3.461e-000, -3.476e-000, -3.491e-000, -3.506e-000, -3.521e-000, -3.536e-000, -3.551e-000, -3.566e-000, -3.581e-000, -3.596e-000, -3.611e-000, -3.626e-000, -3.641e-000, -3.656e-000, -3.671e-000, -3.686e-000, -3.701e-000, -3.716e-000, -3.731e-000, -3.746e-000, -3.761e-000, -3.776e-000, -3.791e-000, -3.806e-000, -3.821e-000, -3.836e-000, -3.851e-000, -3.866e-000, -3.881e-000, -3.896e-000, -3.911e-000, -3.926e-000, -3.941e-000, -3.956e-000, -3.971e-000, -3.986e-000, -3.996e-000, -4.011e-000, -4.026e-000, -4.041e-000, -4.056e-000, -4.071e-000, -4.086e-000, -4.101e-000, -4.116e-000, -4.131e-000, -4.146e-000, -4.161e-000, -4.176e-000, -4.191e-000, -4.206e-000, -4.221e-000, -4.236e-000, -4.251e-000, -4.266e-000, -4.281e-000, -4.296e-000, -4.311e-000, -4.326e-000, -4.341e-000, -4.356e-000, -4.371e-000, -4.386e-000, -4.401e-000, -4.416e-000, -4.431e-000, -4.446e-000, -4.461e-000, -4.476e-000, -4.491e-000, -4.506e-000, -4.521e-000, -4.536e-000, -4.551e-000, -4.566e-000, -4.581e-000, -4.596e-000, -4.611e-000, -4.626e-000, -4.641e-000, -4.656e-000, -4.671e-000, -4.686e-000, -4.701e-000, -4.716e-000, -4.731e-000, -4.746e-000, -4.761e-000, -4.776e-000, -4.791e-000, -4.806e-000, -4.



Olympus OmniScan MX system z modułem Phased Array module



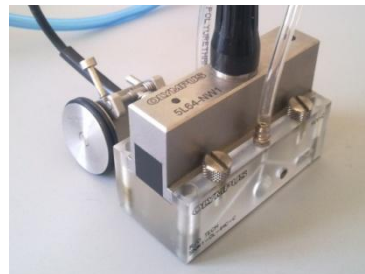
Skan amplitudowy próbki wytworzonej z kompozytu węglowego z wklejonymi defektami



Olympus BondMaster z metodą pitch-catch, MIA (mechanical impedance analysis) oraz resonance modes.



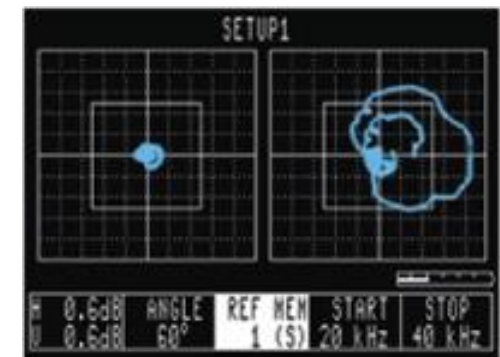
Phased Array linear UT probe with wedge made of Aqualenne



Phased Array linear probe (64 channels) with wedge made of Rexolite



Badanie metodą Pitch-catch



Pitch-catch swept

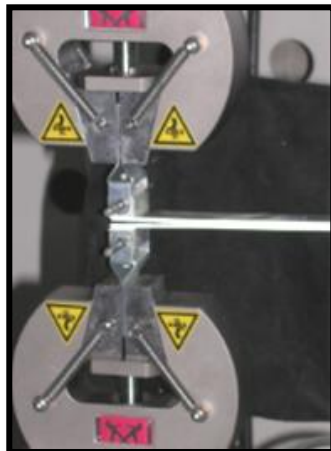
BADANIA ODPORNOŚCI NA PĘKANIE



**INSTRON
ElectroPuls 3000:**

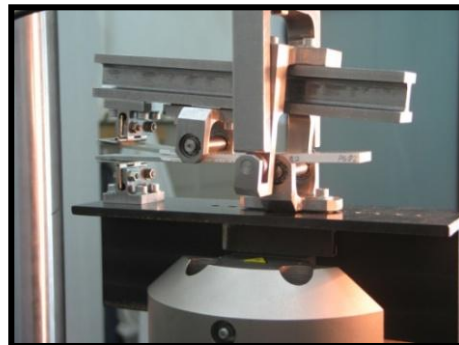


**Przyrząd do badań
Mode I**



**Wyznaczanie
Współczynnika
Uwalniania Energii
zgodnie z normą
ASTM 6115.**

**Urządzenie do badania
mixed Mode I / Mode II**

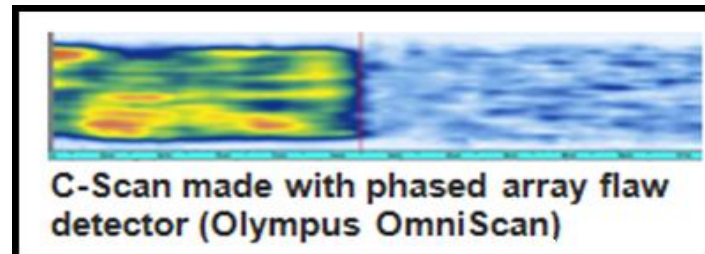
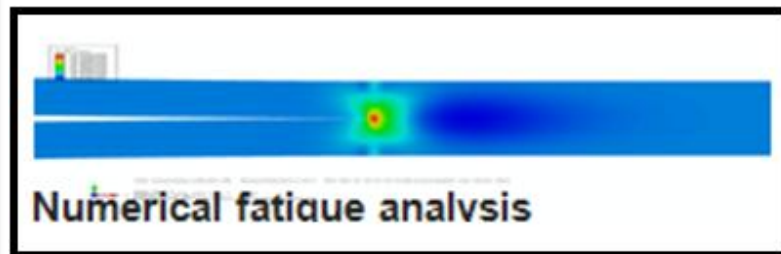


**Wyznaczanie
Współczynnika Uwalniania
Energii zgodnie z normą
ASTM D6671.**

**Urządzenie do badań
Mode II**



**Praca nad standaryzacją
badań w warunkach mode II**





Dziękuję za uwagę!