

Katastrofa Samolotu Tu-154M

10 kwietnia 2010

Prof. Wiesław K. Binienda, Ph.D., F. ASCE

College of Engineering
The University of Akron
Akron, OH 44325
wbinienda@uakron.edu

Prof. WIESŁAW K. BINIENDA, Ph.D., F.ASCE

- **MS–Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów SiMR**
- **PhD–Drexel University, Wytrzymałość Materiałów**
- **Redaktor Naczelny–Journal of Aerospace Engineering, American Society of Civil Engineers (“ASCE”)**
- **Członek Honorowy–ASCE**
- **Dziekan Wydziału Inżynierii (Civil Engineering)**

The University of Akron (“UA”), Ohio, USA

- **Dyrektor “UA Gas Turbine Facility”**
 - **Laboratorium Zderzeń Wysokiej Energii**
 - **Laboratorium Badania Struktur**
 - **Laboratorium Materiałowe**
- www.ecgf.uakron.edu/~civil/people/binienda/
- www.uakroncivil.com/researchlab/

Członek Grupy Ekspertów ds. Badań Katastrof Lotniczych

- Arizona State University (ASU)
- Boeing
- Central Connecticut State University (CCSU)
- Federal Aviation Administration (FAA)
- General Electric Aviation (GE)
- George Washington University (GWU)
- Goodrich
- Hamilton Sundstrand
- Honeywell
- LSTC
- National Aeronautics and Space Administration (NASA)
- Ohio State University (OSU)
- Pratt & Whitney
- Rolls-Royce
- Snecma
- SRI International
- The University of Akron – Dr. Wieslaw K. Binienda
- Williams International

**Metodologia badań katastrof lotniczych na
przykładzie analizy katastrofy wahadłowca
Columbia**

**Fragment z prezentacji
przedstawionej na Uniwersytecie w Akron
przez
Dr. Kelly Carney
NASA Glenn Research Center**

Katastrofa Tu-154M

Smoleńsk, 10 kwiecień 2010

Pytanie

Czy możliwe, żeby brzoza w Smoleńsku złamała skrzydło samolotu Tu-154M 10 kwietnia 2010?

Metodologia analizy

Wirtualny eksperyment

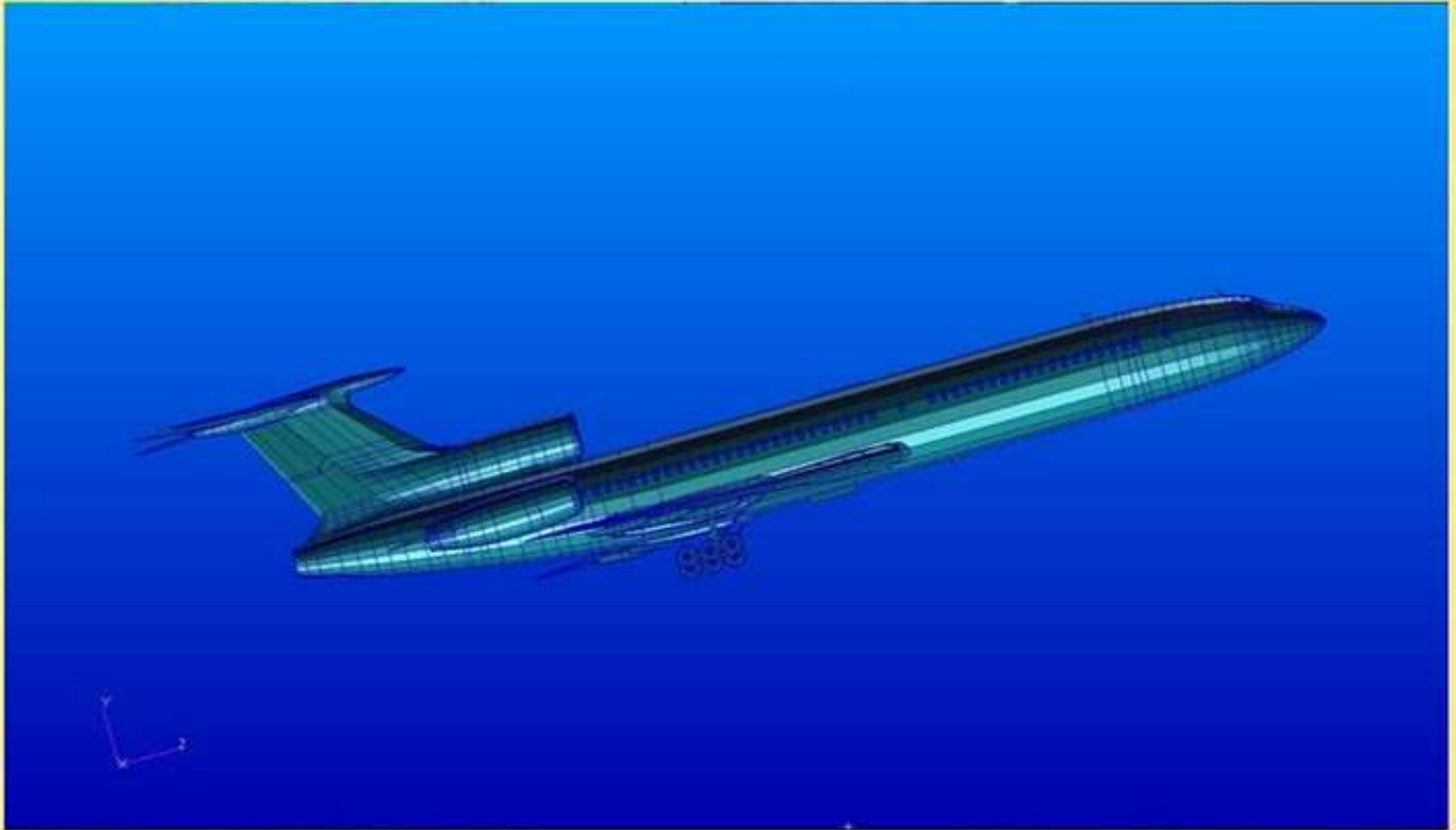
Symulacja uderzenia lewego skrzydła samolotu Tu-154 w brzozę za pomocą programu LsDyna3D

- Szybkość samolotu: **70 m/s albo 80 m/s**
- Ciężar samolotu: **78600 kg**
- Wysokość uderzenia w brzozę: **5m albo 6m**
- Średnica brzozy: **40 cm**
- Odległości uderzenia mierzone od końca skrzydła: **3m - 7m**
- Wersje orientacji samolotu:
 - samolot leci poziomo,
 - samolot wznosi się 5° – 9°
 - samolot jest przechylony na lewo 5° lecąc poziomo
 - samolot jest przechylony na lewo 5° wznosząc się 5° – 9°

Reprezentacje matematyczne materiałów rekomendowane przez FAA i NASA

- Dla **Brzozy**: reprezentacja elastyczna nieizotropowa, lokalnie cylindryczna
- Dla **Aluminium**: reprezentacja elasto-plastyczna z charakterystyką utwardzeniową izotropową, albo typu J-C z własnościami zależnymi od prędkości obciążenia

Model Samolotu Tu-154M



Budowa skrzydła Tu-154M

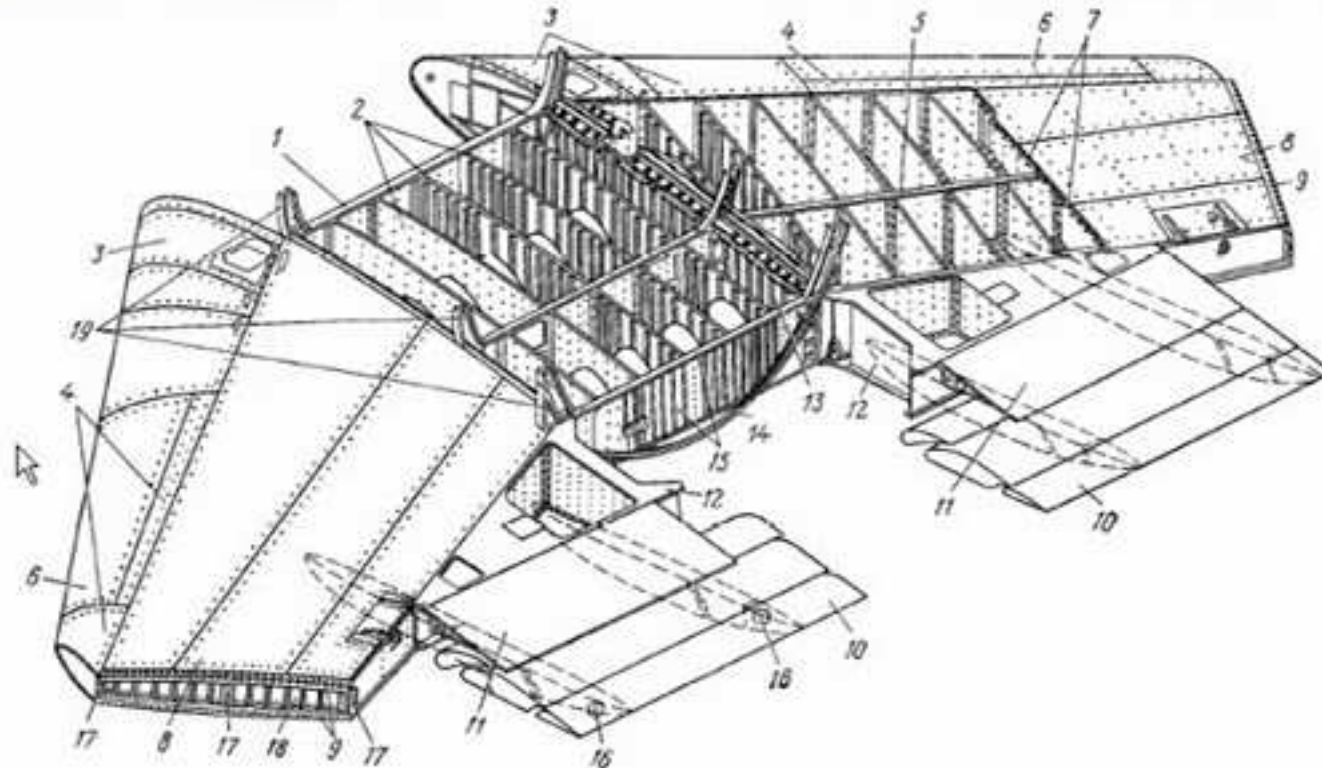


Рис. 2.33. Центроплан крыла:

1—передний лонжерон; 2—нервюры; 3—съемный носок (первый); 4—съемный носок (второй); 5—средний лонжерон; 6—внутренний предкрылок; 7—стрингеры; 8—съемная панель; 9—профили разъема; 10—внутренний закрылок; 11—внутренний интерценттор; 12—хвостовая часть; 13—нервюра № 3; 14—профиль; 15—задний лонжерон; 16—балка механизма закрылка; 17—стыковая стойка; 18—нервюра № 14; 19—узлы крепления центроплана к фюзеляжу

Budowa Skrzydła Tu-154M

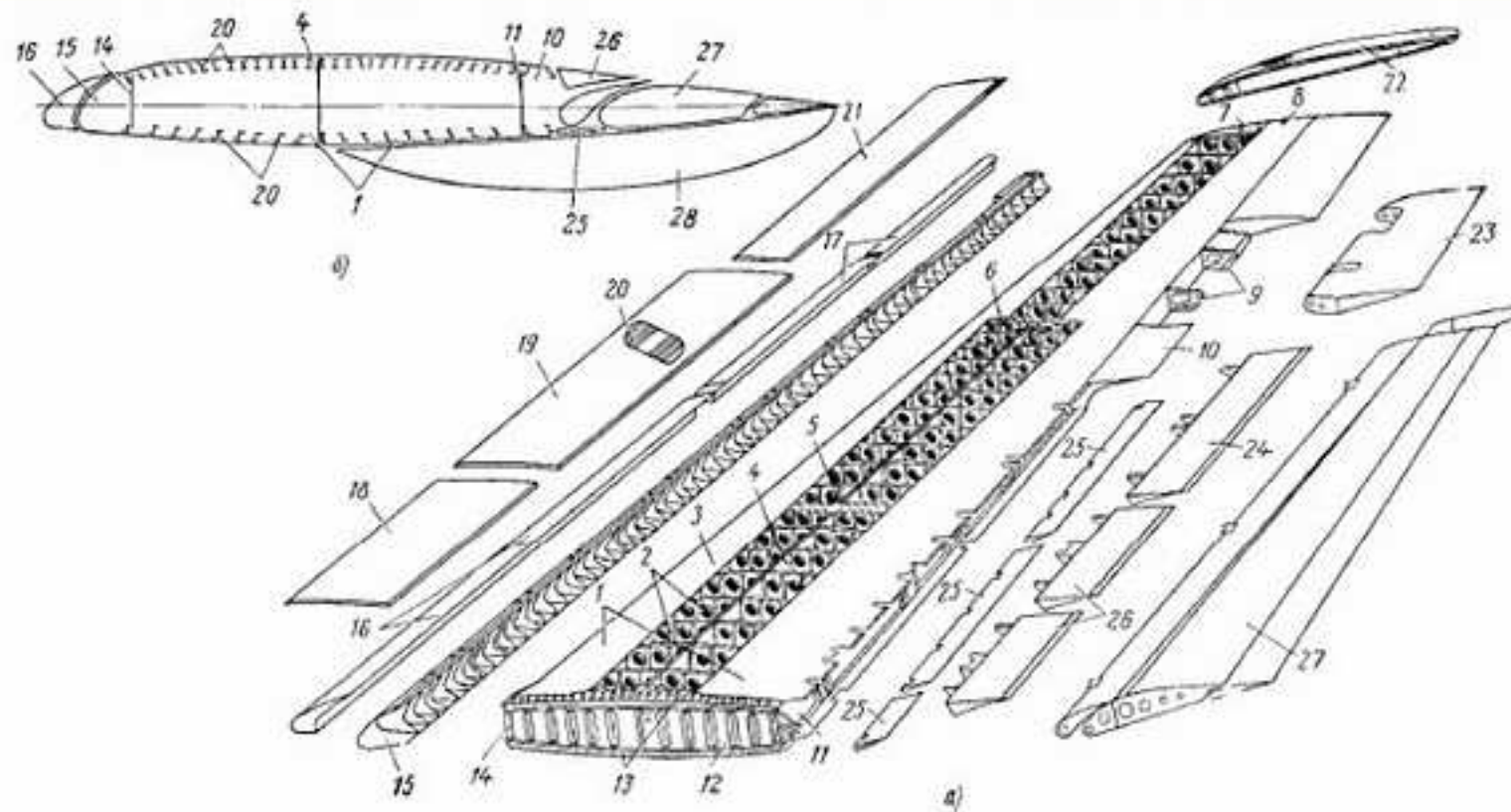


Рис. 2.37. Отъемная часть крыла (аэродинамические перегородки не показаны):
 а—общий вид; б—сечение ОЧК по нервюре № 18; 1—кессон; 2—нервюры; 3—первая технологическая панель; 4—средний лонжерон; 5, 6—стыковочные профили; 7—нервюра №. 45; 8—вторая технологическая панель; 9—хронштейны подвески элерона; 10—

Budowa Skrzydła- Tu-154M

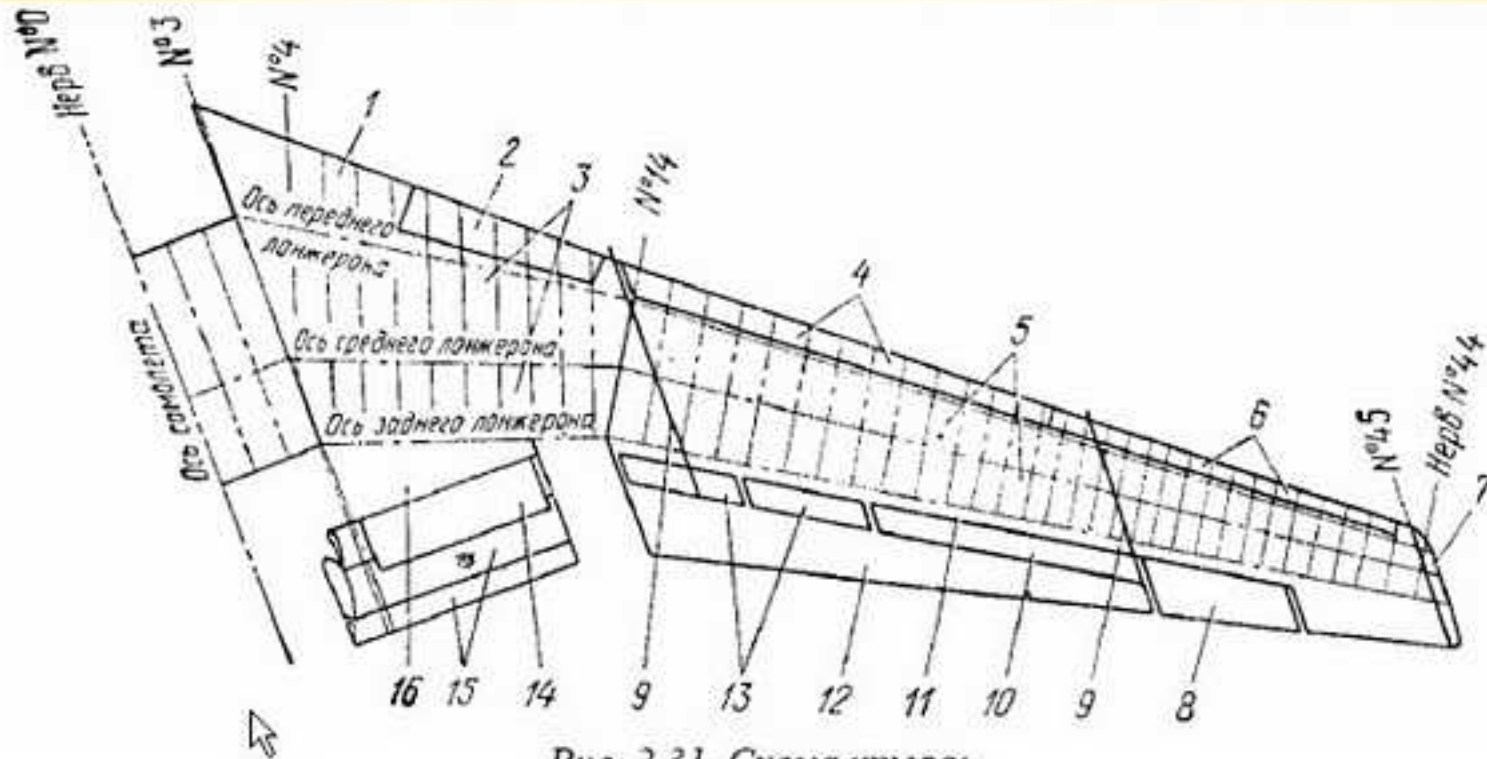


Рис. 2.31. Схема крыла:

1—носовая часть (носок) центроплана; 2—внутренний предкрылок; 3—кессон центроплана; 4—средний предкрылок; 5—кессон ОЧК; 6—внешний предкрылок; 7—концевой обтекатель; 8—элерон; 9—аэродинамическая перегородка; 10—элерон-интерцептор; 11—хвостовая часть ОЧК; 12—внешний закрылок; 13—средний интерцептор; 14—внутренний интерцептор; 15—внутренний закрылок; 16—хвостовая часть центроплана

Dane Materiałowe - Brzoza

- <http://www.matbase.com/material/wood/class4-5-10-years/birch/properties>

Density(Kg/m ³)	Longitudinal modulus Eb(Pa)	Radius Modulus, Ea(Pa)	Transverse Modulus, Ec (Pa)	Poisson Ratio, vba	Poisson Ratio, vca	Poisson Ratio, vcb
550	1.03E+10	5.15E+8	8.034E+8	0.451	0.697	0.043
Shear Modulus, Gab (Pa)	Shear Modulus, Gbc (Pa)	Shear Modulus, Gca (Pa)	Maximum Effective Strain			
7.04E+8	7.622E+8	1.751E+8	0.05			

Parametry Materiałowe Skrzydło Tu-154

- **Skrzydło**
 - Konstrukcyjną część skrzydła stanowi keson przenoszący obciążenia podstawowe, działające na skrzydło. Nosek i tylna część skrzydła nie są elementami konstrukcyjnymi, przenoszą tylko lokalne obciążenia powietrzne i przekazują je do kesonu.
- **Keson wewnętrzny**
 - Podłużnice ze średnikiem (wzmocnioną ścianką) ze stopu aluminium D16A-TN (Д16А-ТН) oraz półką górną i dolną z D16A-T1 (Д16А-Т1). Podłużnice № 12 i 25 centroplata wzmocnione.
 - Materiał Стрингер wręg kesonu)- stop aluminium V95-T1. Żebra dźwigarowe. Poszycie jest wykonane z blachy ze stopu aluminium V95A-T1NV (góra) i D16A-T1V (dół).
- **Część zewnętrzna skrzydła**
 - Ściany podłużnic wykonane są z blach duraluminiowych D16A-TN, mają zmienne grubości. Poszycie podłużnic z B95-T1.
- Parametry Aluminium D16, V95, AK6, etc. wzięte z <http://www.splav.kharkov.com/en/>

Density(Kg/m3)	Young's modulus, E(Pa)	Yield Stress(Pa)	Tangent Modulus, E _t (Pa)	Poisson Ratio, ν	Failure Strain
2850	7.4E+10	4.44E+8	5.738E+8	0.33	0.14

Skrzydło jest najsilniejszą częścią struktury samolotu.



·Ciśnienie powietrza na dolnej części skrzydeł musi zrównoważyć ciężar samolotu 78,600 kg. Dla porównania samochód waży średnio 1000 kg.

·Struktura wewnętrzna skrzydła, czyli belki podłużne, muszą być na tyle sztywne i odporne, aby nie tylko udźwignąć ciężar samolotu, ale również podziałać takim siłom jak ciśnienie powietrza i obciążenia turbulencji lotu oraz zapewnić duży margines bezpieczeństwa.

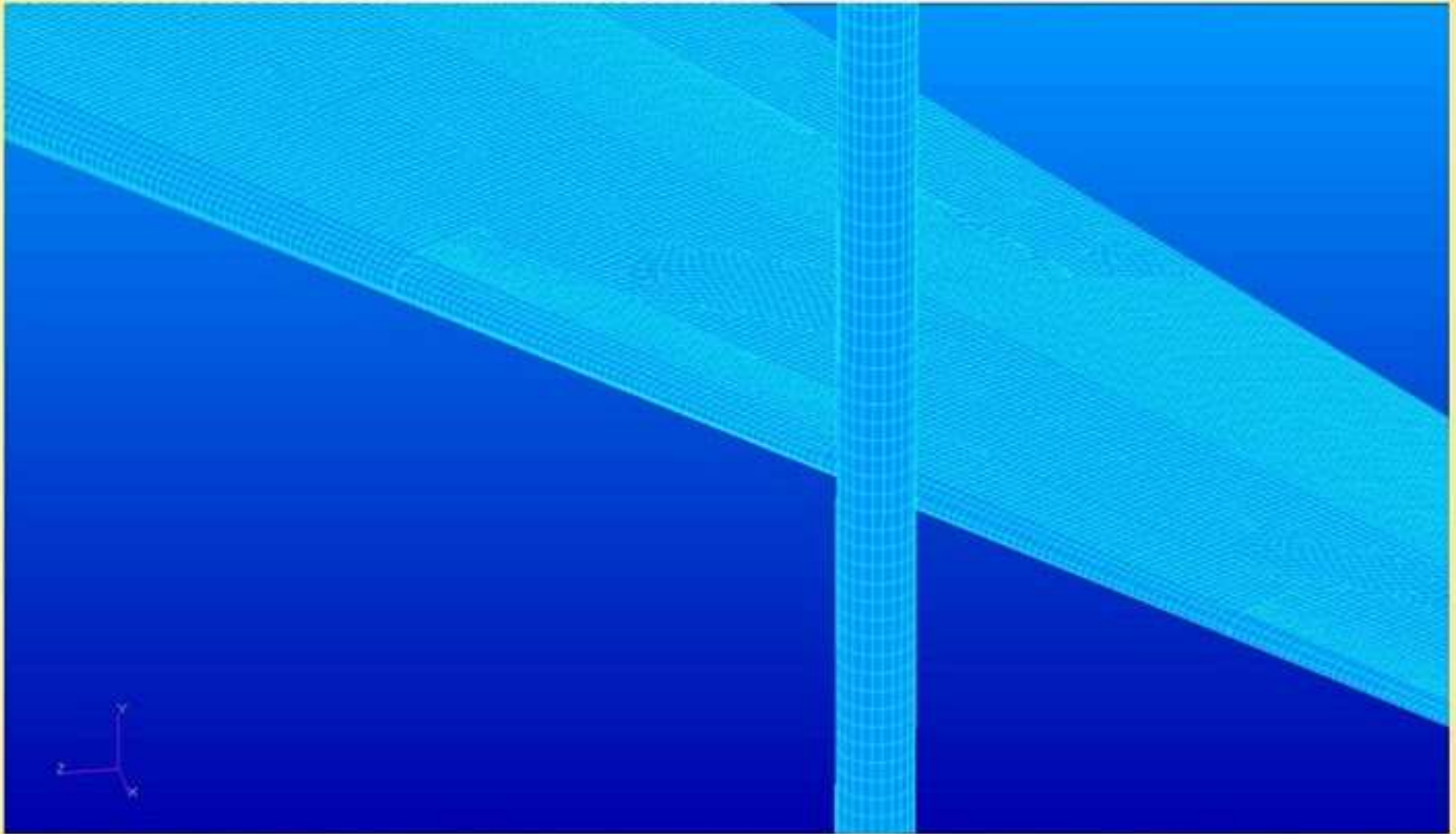
Metoda Elementów Skończonych



Dokładność obliczeń zależy od wielkości elementów użytych w modelu

Wysoka dokładność obliczeń w oparciu o małe elementy

Zbliżenia modelu skrzydła oraz brzozy



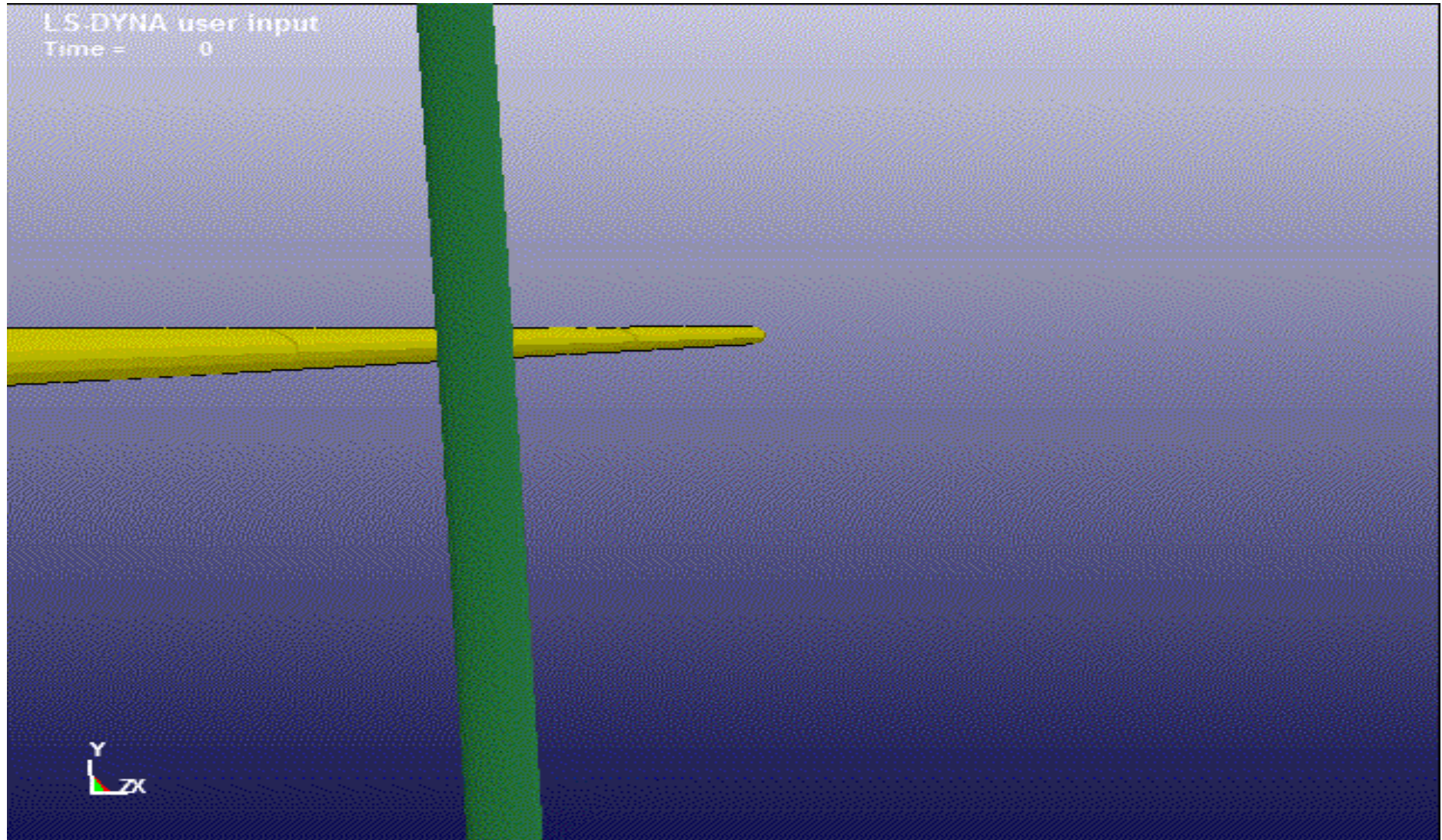
System Obliczeniowy

- Maszyny z równoległymi procesorami najnowszej generacji.
- Metoda iteracyjna obliczeń dynamicznych – krok czasowy rzędu 10^{-9} sekundy.
- Czas realny wymagany do otrzymania pełnych rezultatów z tak wysoką dokładnością - **około 7-10 dni dla każdego przypadku.**

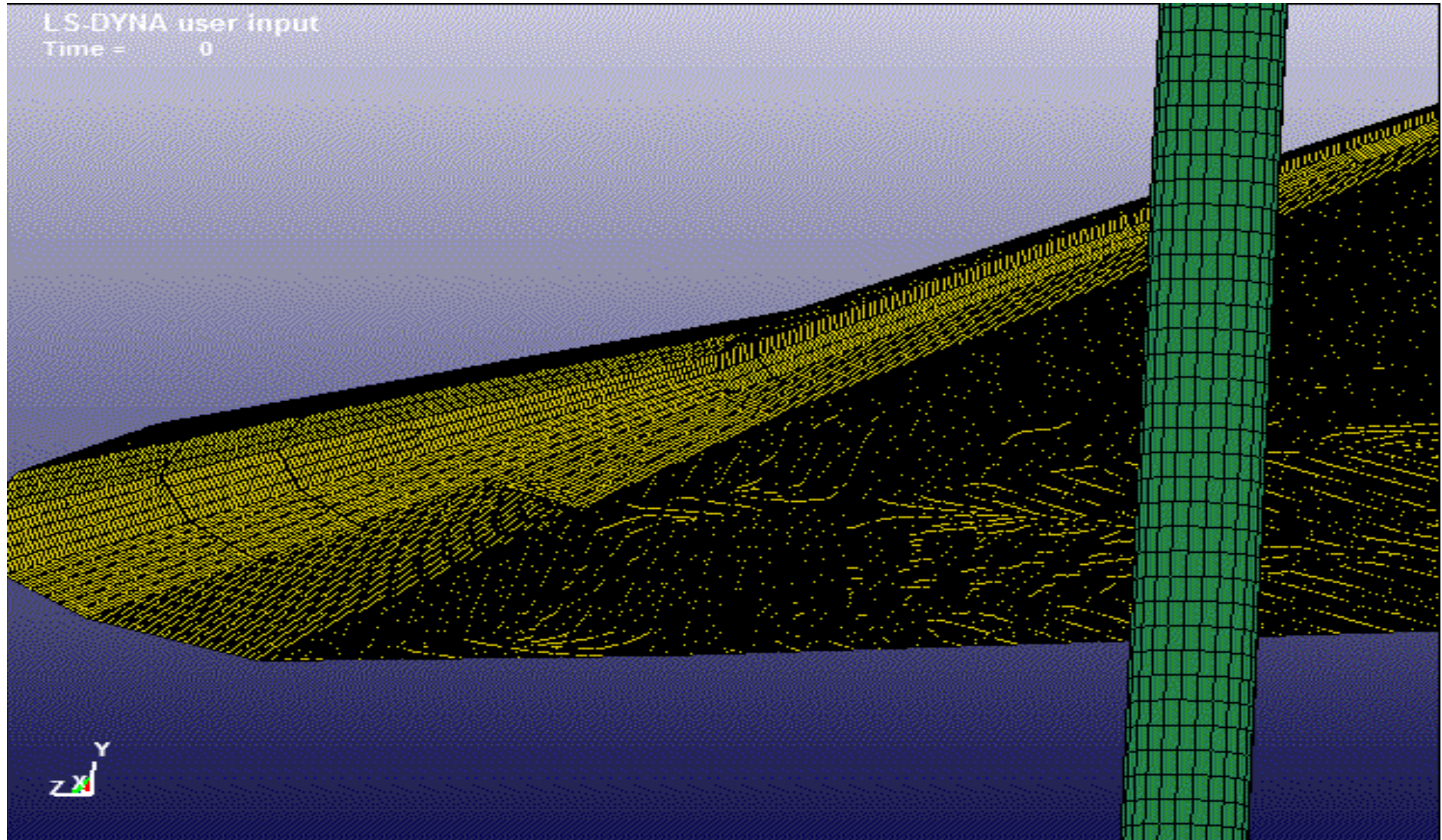
Rezultaty

- Wirtualny eksperyment pokazany za pomocą animacji:
 - Skrzydła uderzającego w drzewo,
 - Lokalne zachowanie drzewa,
 - Lokalne uszkodzenie krawędzi skrzydła

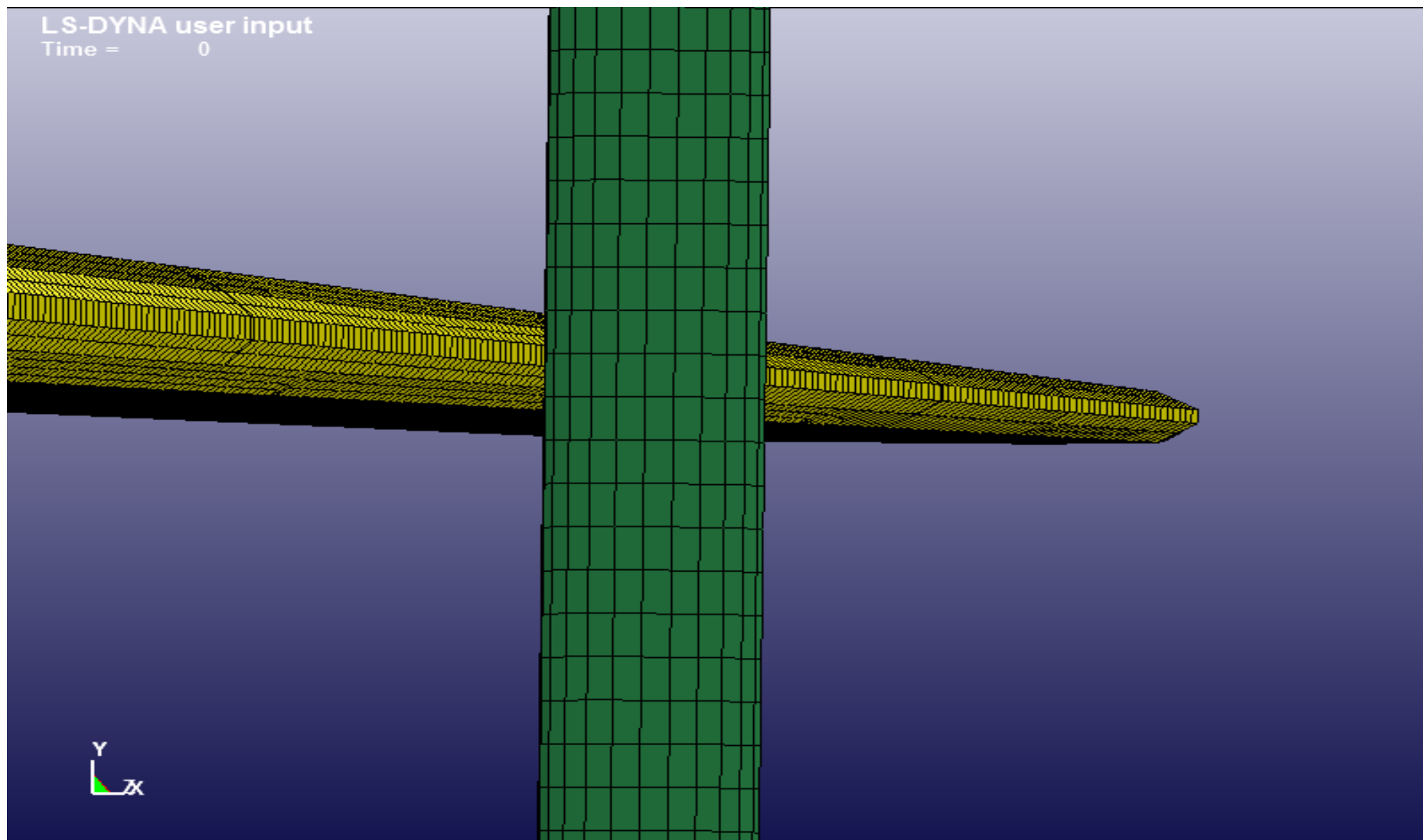
Spojrzenie z kabiny samolotu



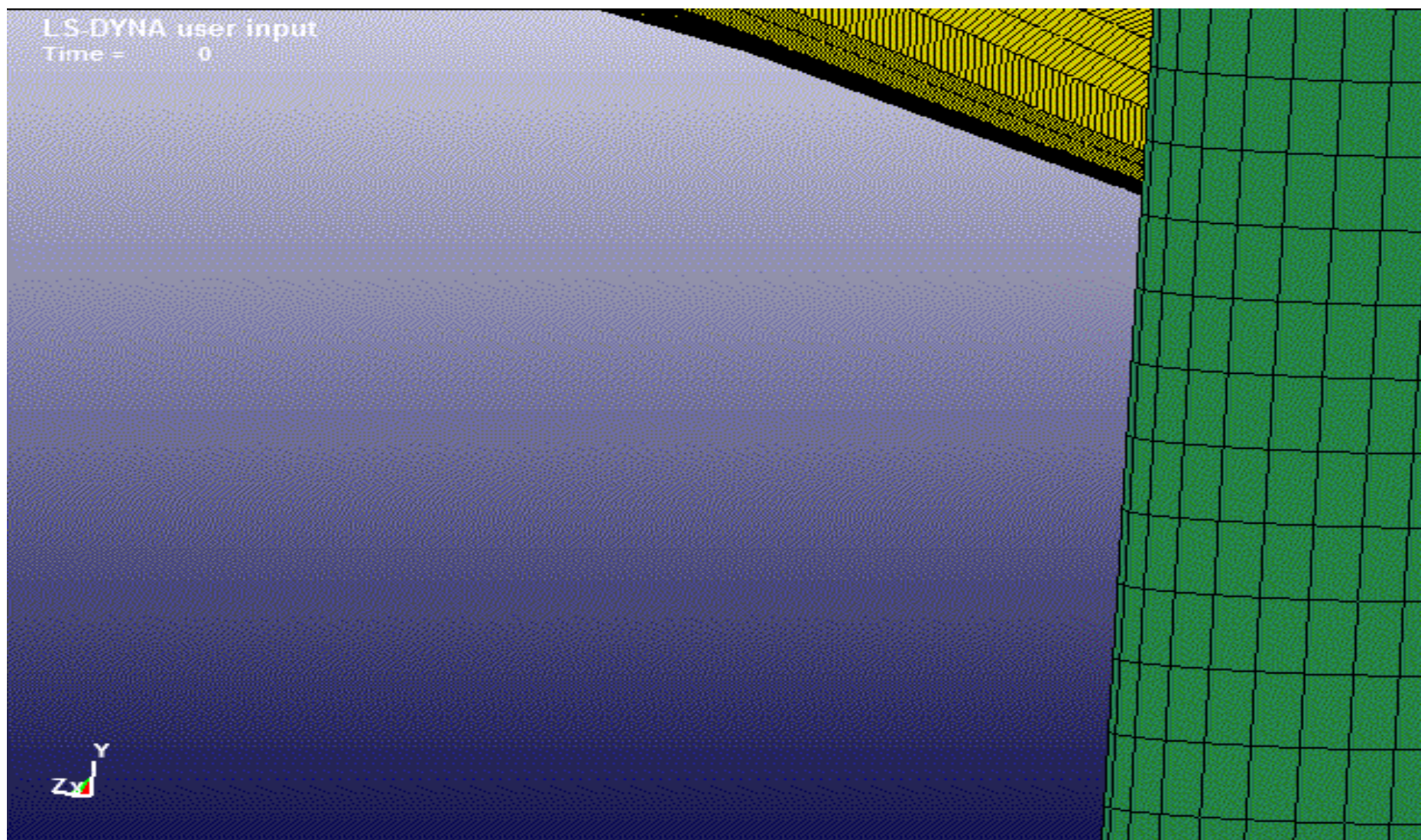
Spojrzenie z ziemi przed brzozą



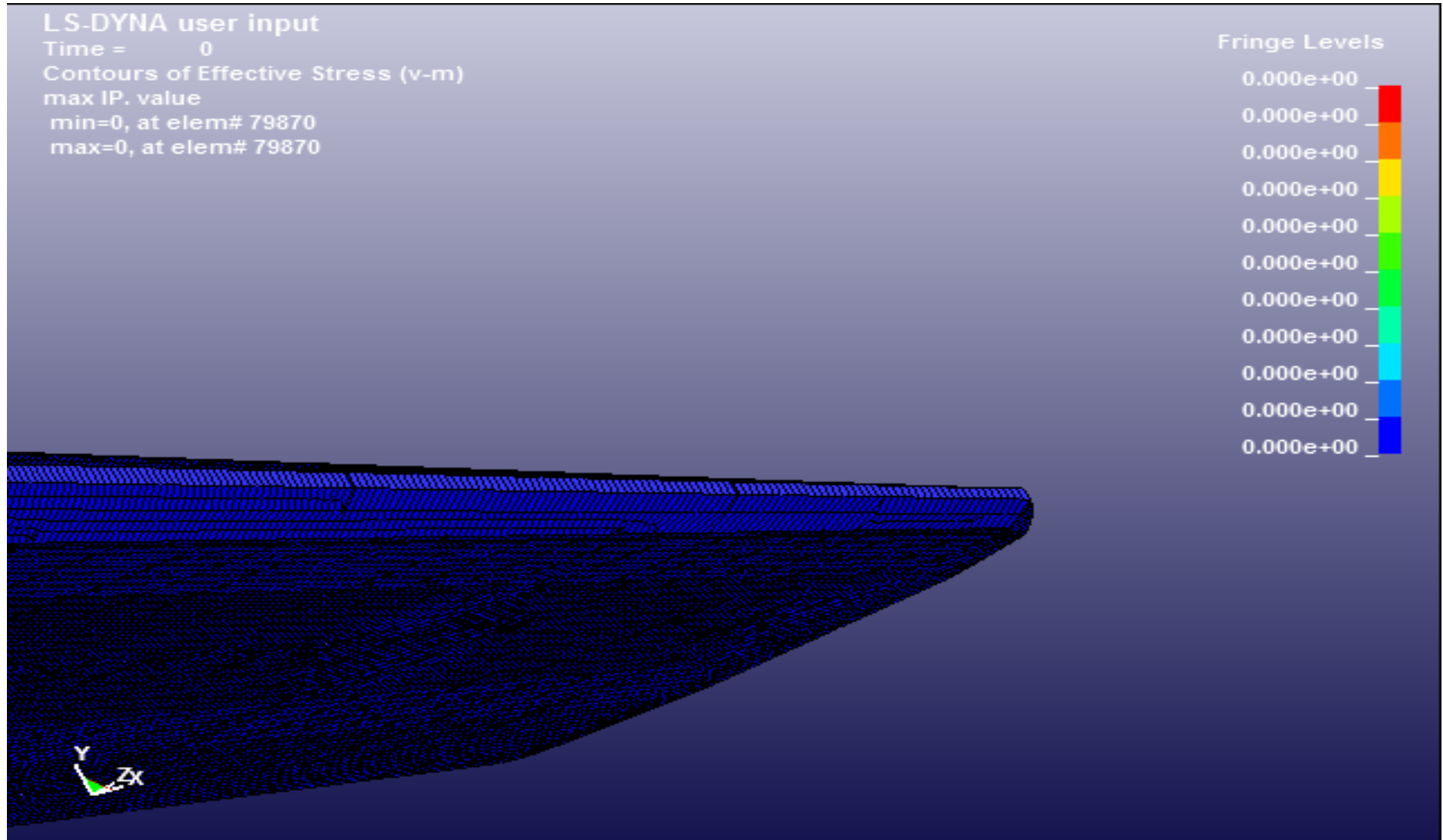
Zblíženie 1



Zbizenie 2



Skrzydło

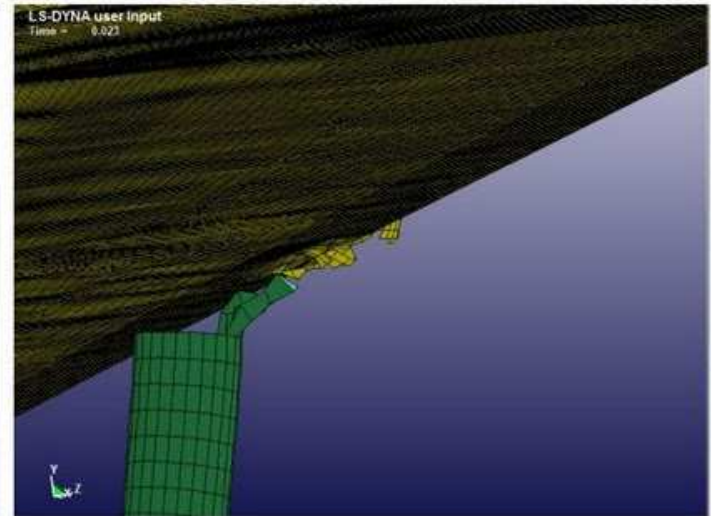
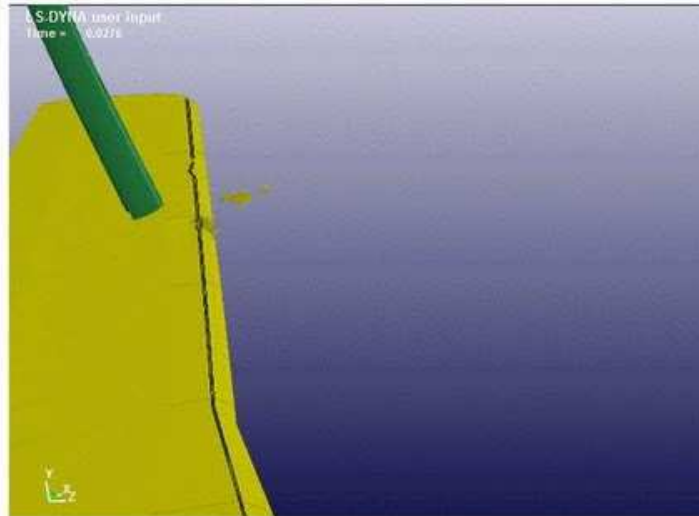
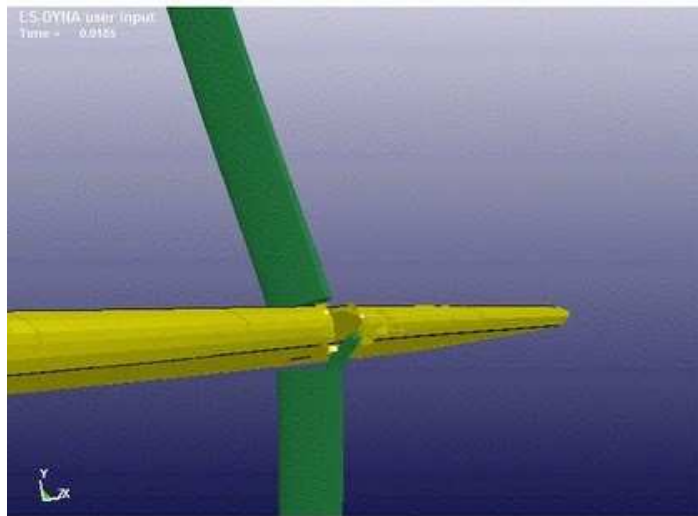
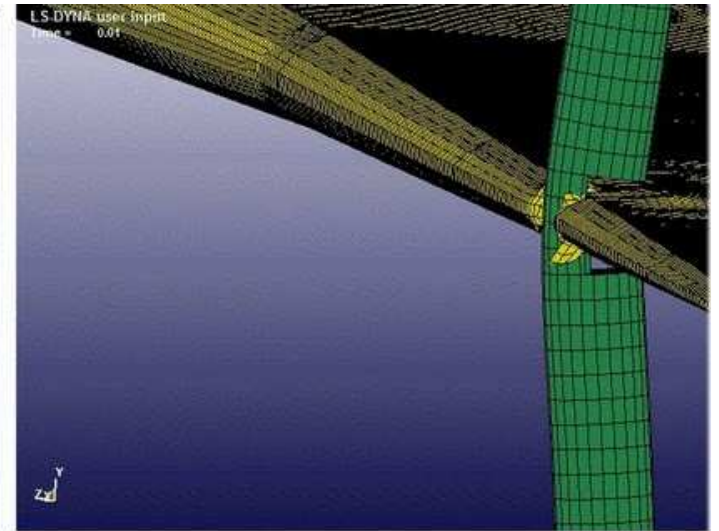
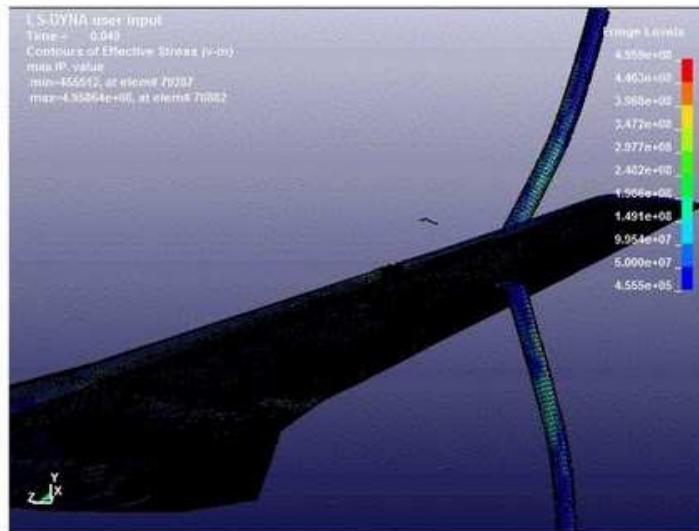
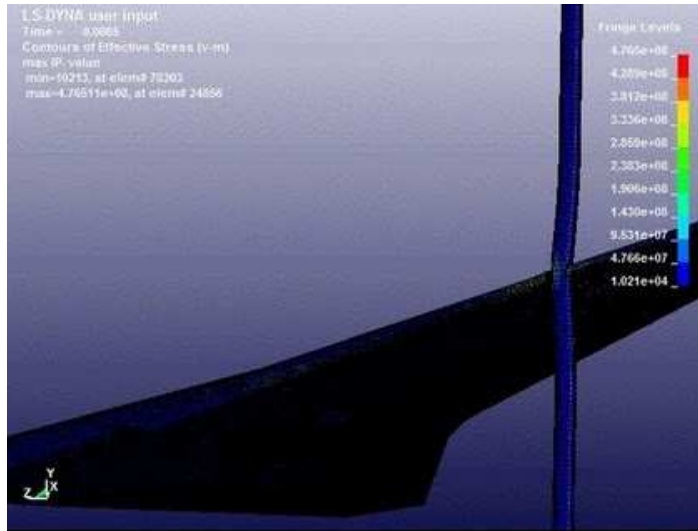


Wnioski

- Skrzydło samolotu Tu-154M przecina brzozę niezależnie od wysokości uderzenia w drzewo, orientacji samolotu, czy odległości miejsca uderzenia od końca skrzydła.
- Uszkodzenie krawędzi skrzydła nie zmniejsza jego powierzchni nośnej, ani stabilności samolotu.

Intuicja

- Intuicja często zawodzi w odniesieniu do katastrof lotniczych o dużej energii. Przykład: Columbia
- Energia samolotu jest iloczynem jego masy oraz prędkości do kwadratu wg wzoru: $E_k = \frac{1}{2} m v^2$
 - Samolot Tu-154M ważący 78,600 kg i lecący z prędkością 80 m/sec uderza w drzewo z energią 252,000,000 J
 - Samochód ważący średnio 1000 kg i jadący z prędkością 60 km/h (około 17 m/sec) uderza w drzewo z energią 144,500 J
 - Energia samolotu jest więc **1741 razy większa** od energii samochodu.
 - Sugestia, że skrzydło samolotu Tu-154M złamało się o brzozę na podstawie analogii do zniszczenia samochodu po uderzeniu w brzozę nie ma podstaw naukowych.



Dyna Predictions vs Experiment

