



**ANALIZA ZNISZCZENIA STRUKTURY
RZĄDOWEGO SAMOLOTU TU-154M
W SMOLEŃSKU 10 KWIETNIA 2010**

**Konferencja Smoleńska
2012**



Profesor Wiesław K. Binienda



Główne Punkty

- **Rezultaty symulacji zderzenia lewym skrzydłem samolotu Tu154M w brzozę**
 - Opis nowego modelu materiału drzewa Mat143 opracowanego przez Federal Highway Administration (FHWA) w USA
 - Sprawdzenie Mat143 za pomocą zderzenia w drzewo pojazdu FHWA oraz przy użyciu eksperymentu Federal Aviation Administration (FAA) samolotu Lockheed Constellation z 1965 roku.
 - Opis modelu materiałowego Johnson-Cook dla aluminium opracowanego przez FAA
 - Rezultaty symulacji i analizy
- **Rezultaty symulacji pionowego upadku części kadłuba w pozycji odwróconej**
 - Zniszczenie kadłuba przy upadku pionowym
 - Zniszczenia kadłuba przy upadku pionowym po eksplozji
- **Resultaty analizy krateru od uderzenia samolotu w ziemię**
 - Opis nowego modelu zachowania się gruntu Mat147 opracowanego przez FHWA
 - Sprawdzenie modelu Mat147 za pomocą standardowych eksperymentów FHWA
 - Analiza gruntu, zniszczenia struktury samolotu, oraz przyspieszeń po uderzeniu całego samolotu w ziemię
- **Końcowe Wnioski**



Raport MAK nt. Katastrofy Polskiego Samolotu Tu-154M w Smoleńsku 10 kwietnia 2010 roku

Sekcja 3.1.69

- Samolot uderzył lewym skrzydłem w pień brzozy o średnicy 30-40 cm, co spowodowało ucięcie zewnętrznej części skrzydła o długości ~~4.7~~ 6.5 m i mocny skręt w lewo.

Uwaga: W oryginalnym Raporcie MAK długość urwanego skrzydła wymierzono na 4.7m, a następnie poprawiono na 6.5 metra. Należy pamiętać, że im dłuższy odcinek skrzydła, który miałby się oderwać, tym grubszy jest przekrój skrzydła w miejscu potencjalnego kontaktu z drzewem.

Sekcja 3.1.70

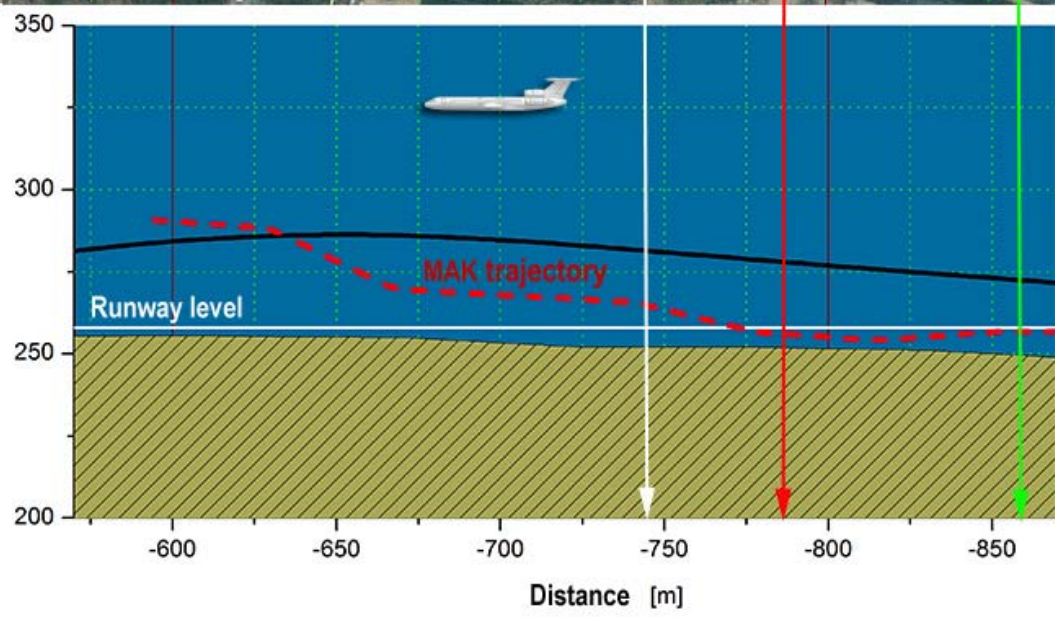
- Po 5-6 sekundach, samolot przekoziółkował i uderzył w ziemię całkowicie się rozbijając.



Ostatnie Sekundy przed Uderzeniem w Ziemię



Kierunek lotu





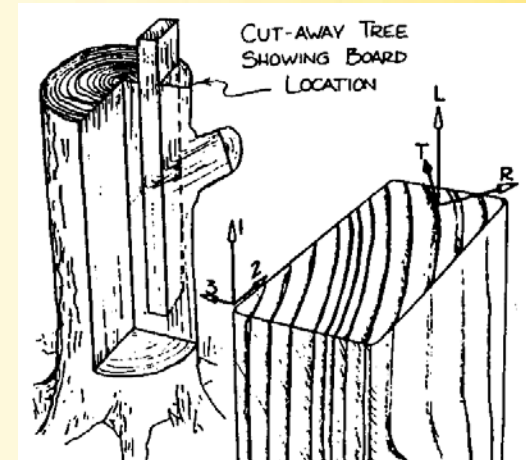
Parametry Materialowe – Sucha Brzoza

Podstawowy Liniowy Model Brzozy (Failure - Max strain)

MODEL PODSTAWOWY LINIOWY	Young's Modulus (MPa)			Poisson Ratio			Shear Modulus (MPa)			Gęstość (Kg/m ³)
	E_L	E_R	E_T	ν_{LT}	ν_{RL}	ν_{RT}	G_{TL}	G_{LR}	G_{RT}	
4x Mocniejszy od Brzozy	16000	1600	1100	0.451	0.043	0.697	700.4	762.2	175.1	1000

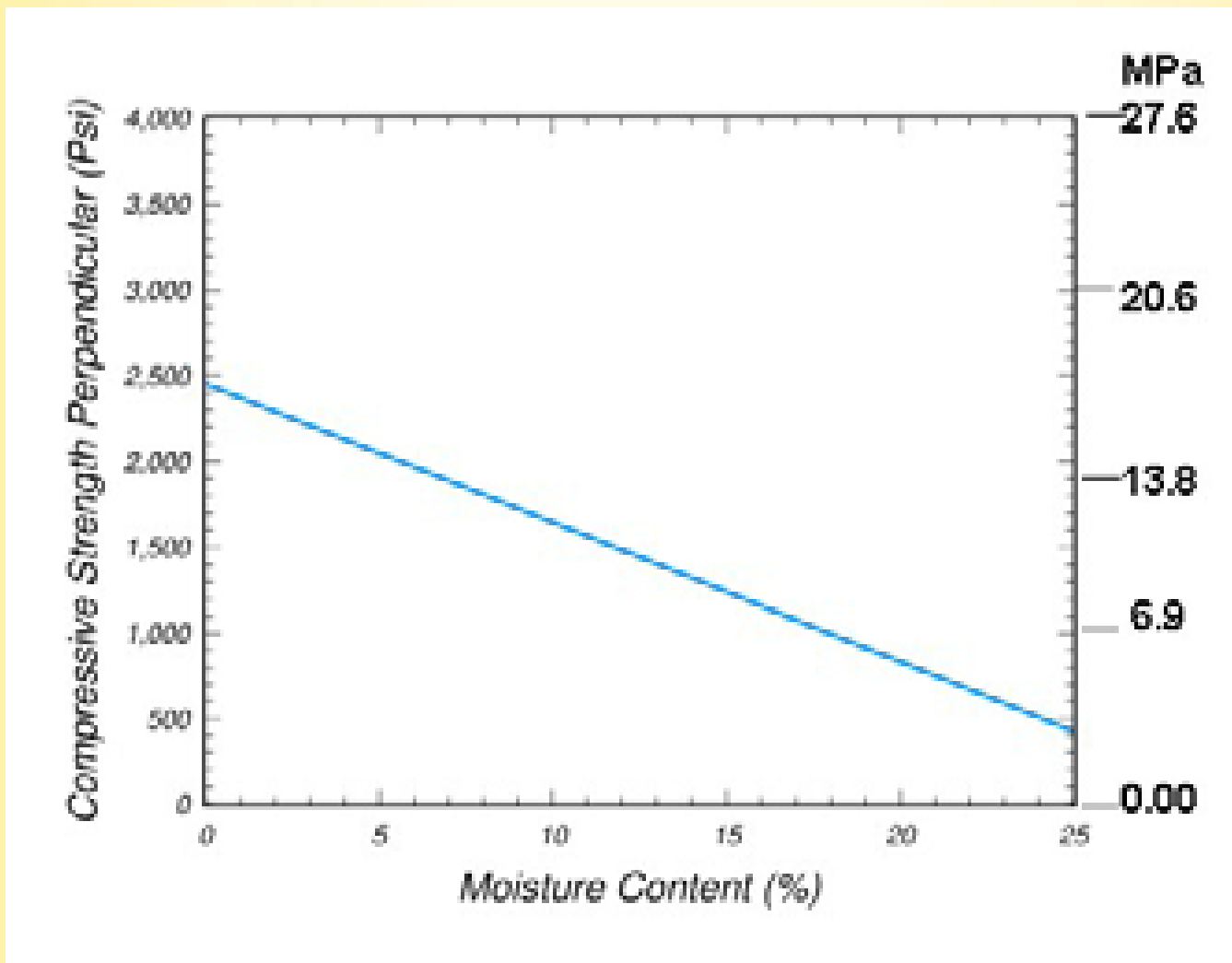
Mat143 - Nowy Nieliniowy Model Brzozy (Modyfikowany Hashin)

MAT143							
mid	ro	nplot	iters	irate	hard	ifail	ivol
6	700	1	1	1	0	0	0
el	et	glt	glr	pr			
1.14E+10	2.43E+08	5.88E+08	8.70E+07	0.39			
xt	xc	yt	yc	sxy	syz		
1.61E+08	3.59E+07	3.45E+06	3.75E+06	9.90E+06	1.40E+07		
gf1	gf2	bfit	dmax	gf1p	gf2p	dfit	dmaxp
223.39999	838.4	3	0.99	2.1	7.88	3	0.99
flpar	flparc	powpar	flper	flperc	powper		
4.50E-06	4.50E-06	0.107	9.62E-05	9.62E-05	0.104		
npar	cpar	nper	cper				
0.5	400	0.4	100				





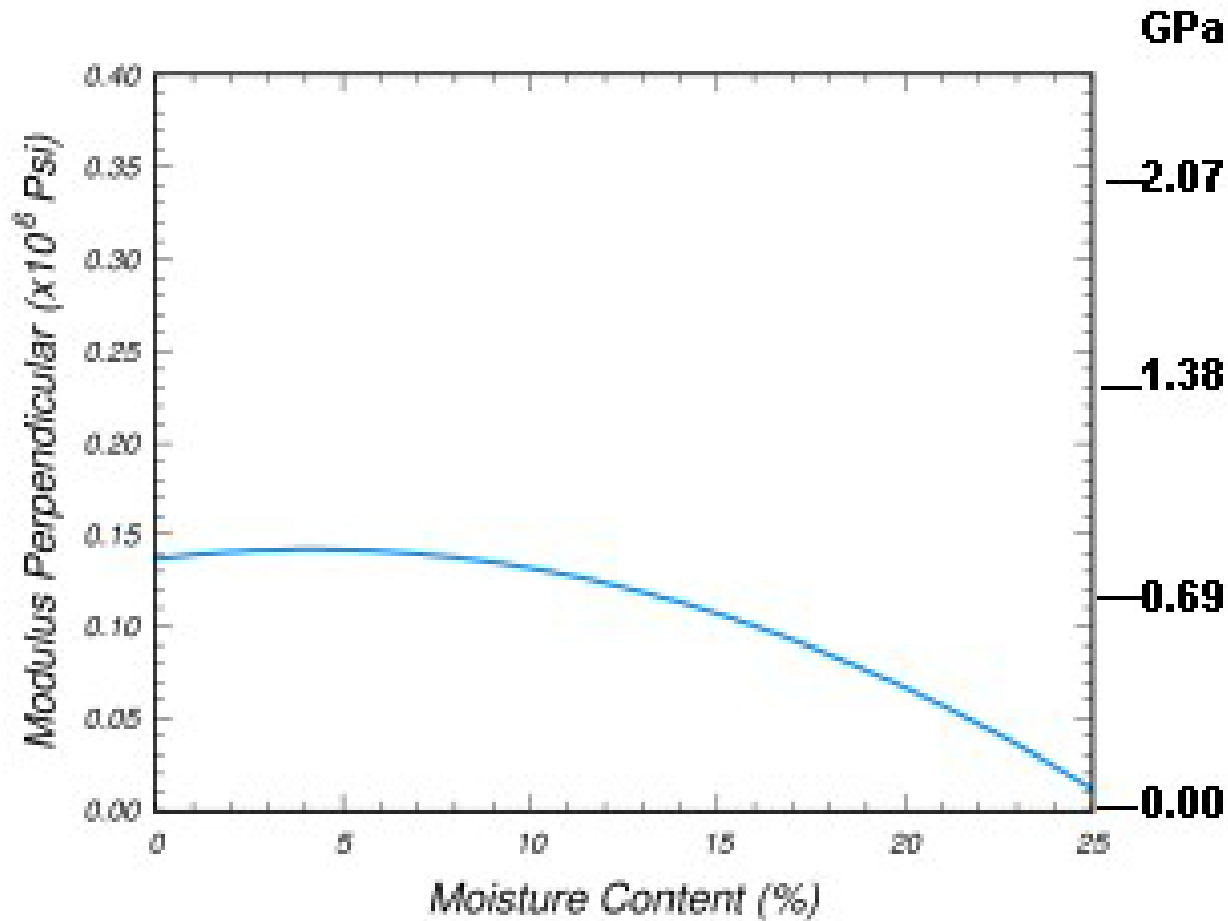
Efekt Wpływu Wilgotności na Wytrzymałość Drzewa: Im bardziej mokre drzewo tym słabsze!



Źródło informacji: Forest Products Laboratory



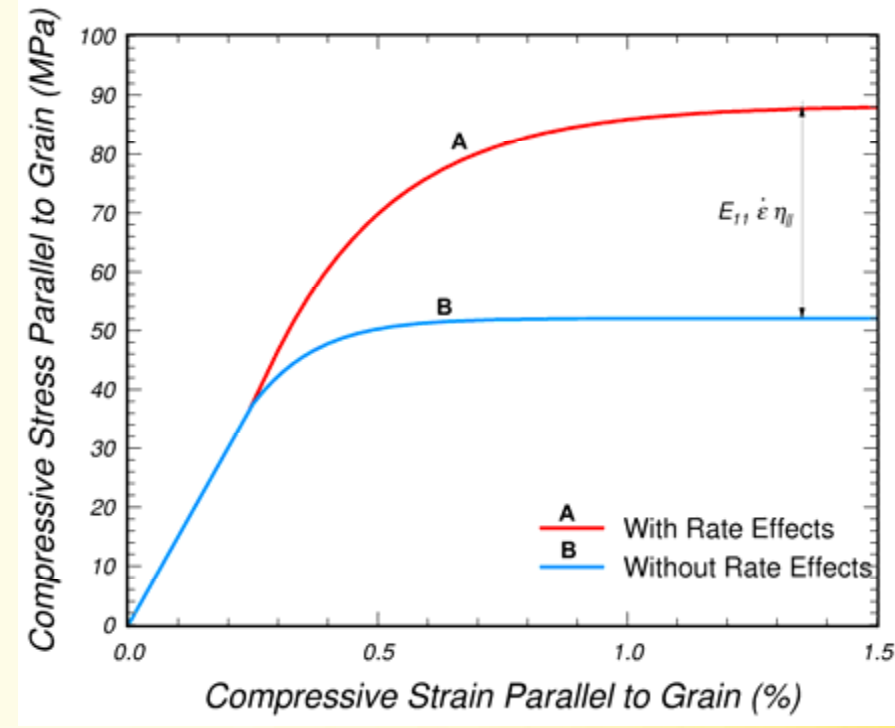
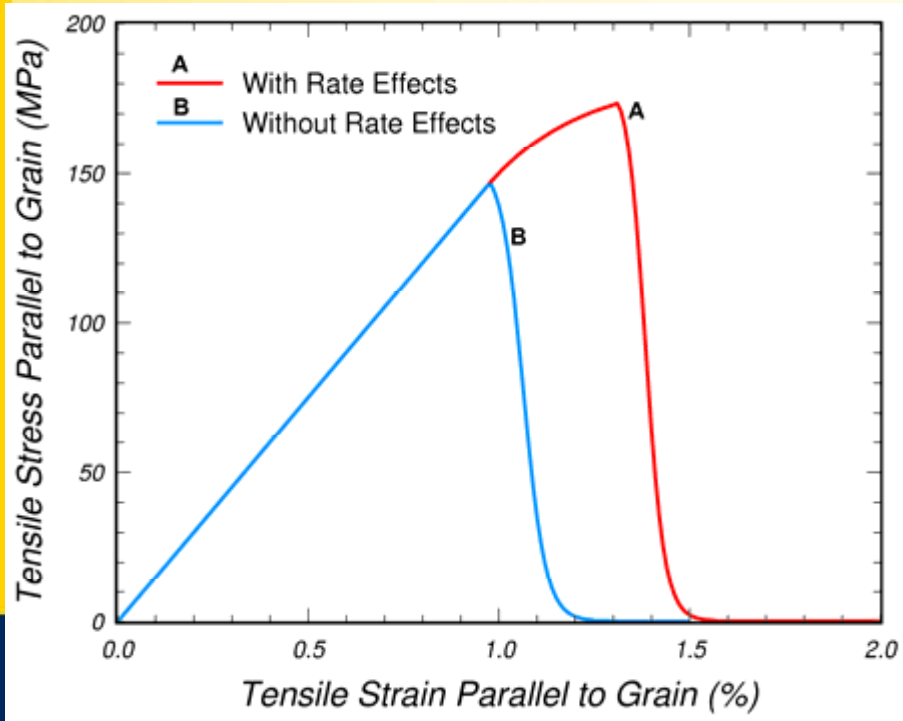
Efekt Wpływu Wilgotności na Sztywność Drzewa: Im bardziej mokre drzewo tym bardziej giętkie!



Źródło Informacji: Forest Products Laboratory



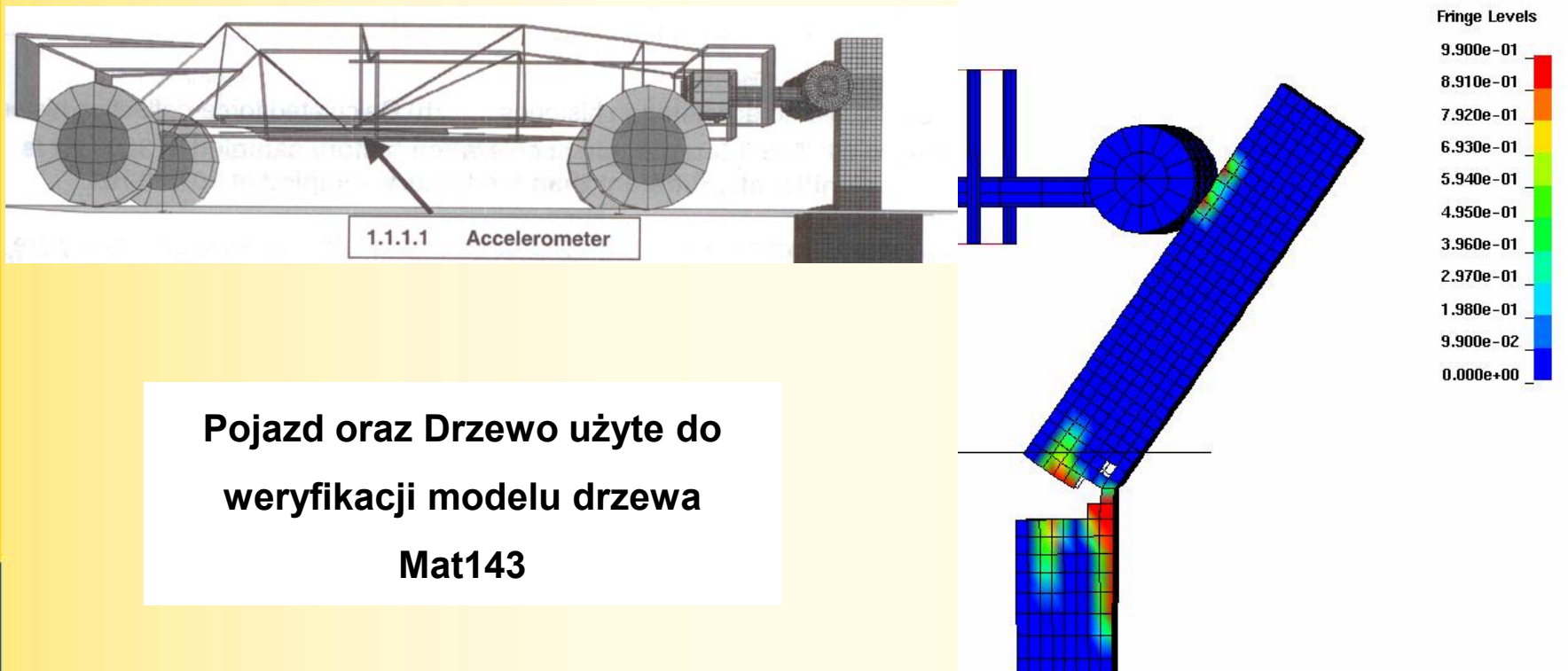
Zależność Wytrzymałości Drzewa od Szybkości Obciążenia



Wzięte z Federal Highway Administration (FHWA) Manual for LS-DYNA Wood Material Model 143, Publication No. FHWA-HRT-0R-097, Aug. 2007



Weryfikacja Modelu Nieliniowego Mat143 przy Użyciu Uderzenia Pojazdem w Drzewo (FHWA)



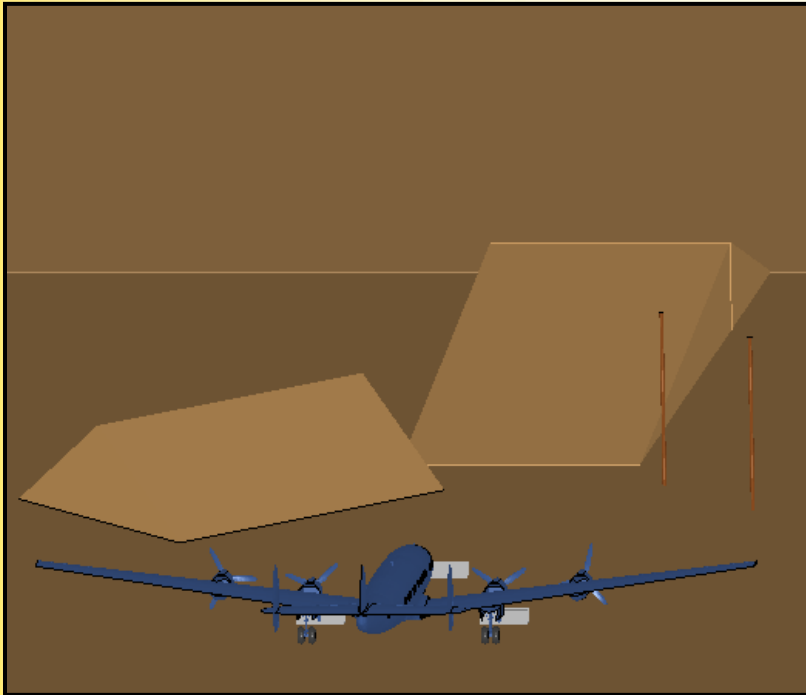
Pojazd oraz Drzewo użyte do weryfikacji modelu drzewa Mat143

Uwaga: Drzewo pękło poniżej miejsca uderzenia bez widocznych drzazg ponieważ model materiału jest typu makroskopowego.

Więcej informacji: Manual for LS-DYNA Wood Material Model 143, Publication No. FHWA-HRT-0R-097, Aug. 2007



Weryfikacja Modelu Drzewa Mat143 za Pomocą Eksperymentu FAA z 1965 roku



Autorzy modelu: Robert T. Bocchieri, Robert MacNeill, Claudia Navarro-Northrup, Douglas S. Dierdorf.

- Masa samolotu 41 ton, prędkość początkowa 112 węzłów (knots) 207 km/h przy której nastąpiło urwanie kół potem chwilowy niski lot i poslizg na brzuchu.
- Samolot uderzył lewym skrzydłem w barierę ziemna, potem prawym skrzydłem w dwa słupy telefoniczne oraz wzgórze przed samolotem.

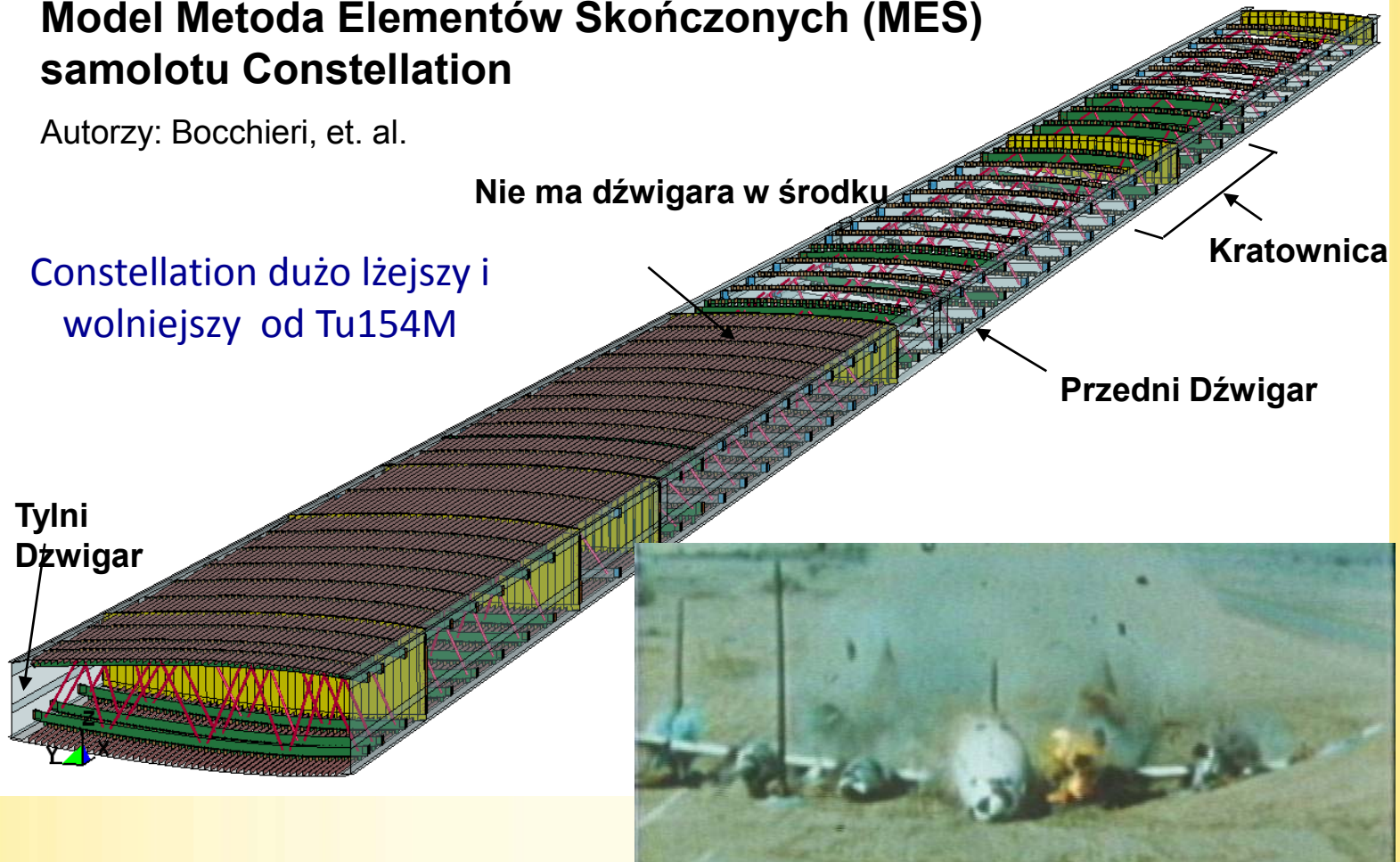


Użycie Nieliniowego Modelu Drzewa w Symulacji Eksperymentu Lockheed Constellation

Model Metoda Elementów Skończonych (MES) samolotu Constellation

Autorzy: Bocchieri, et. al.

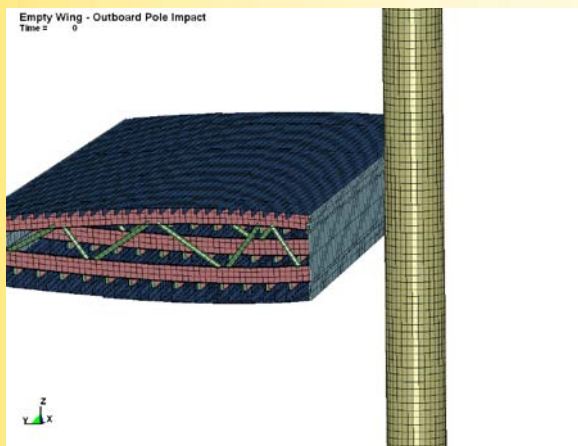
Constellation dużo lżejszy i wolniejszy od Tu154M



Reed, W.H., S.H. Robertson, L.W.T. Weinberg, L.H. Tyndall, "Full-scale Dynamic Crash Test of a Lockheed Constellation Model 1649 Aircraft", FAA-ADS-38, October, 1965.



Weryfikacja Modelu MES Wykonana przez Applied Research Associates

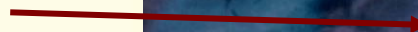


Autorzy: Bocchieri, et. al.

Zewnętrzny
słup



Wewnętrzny
słup



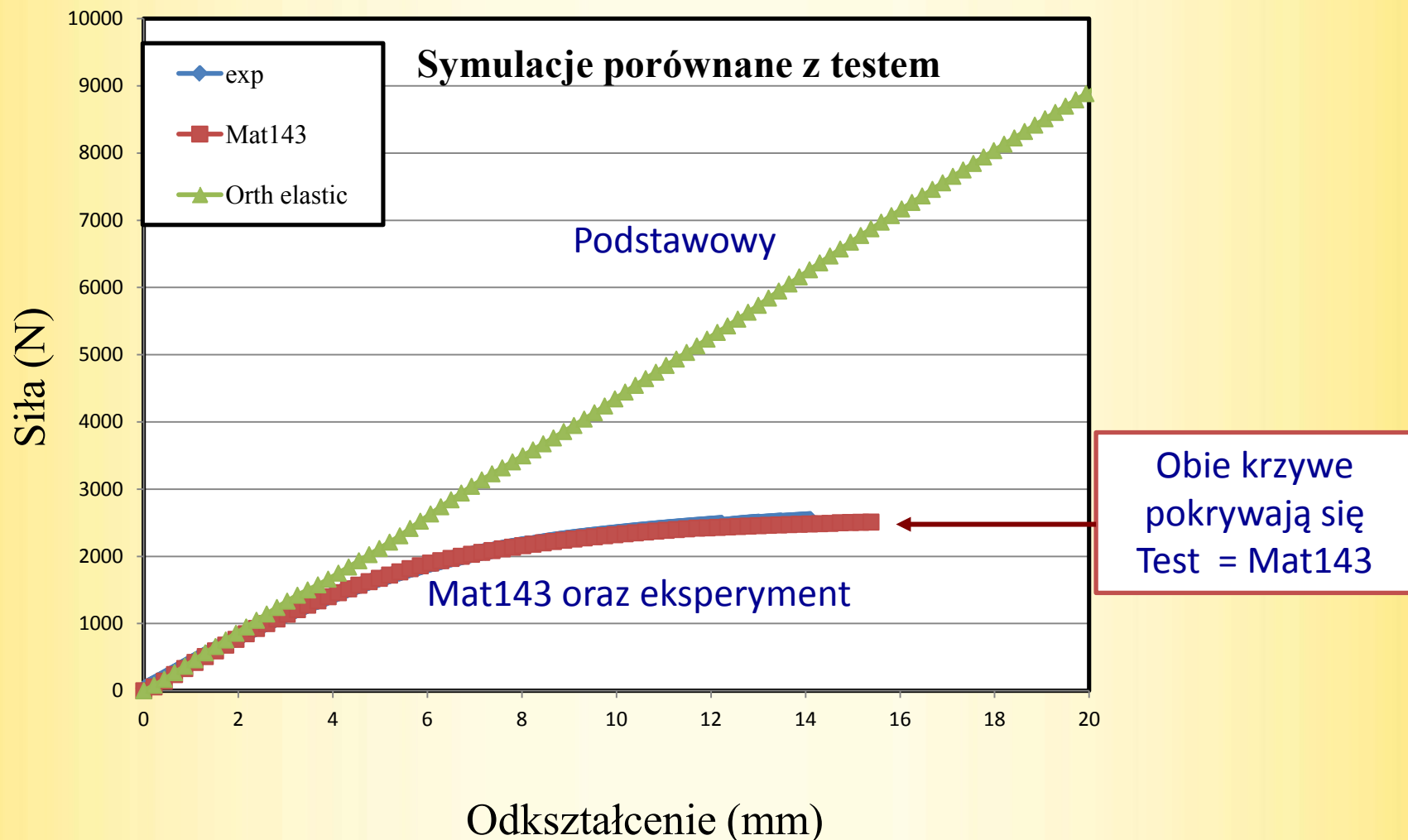
Symulacja potwierdzona przez eksperyment

- Skrzydło przecina słup wewnętrzny
- Zbiornik paliwa wewnętrzny zniszczony przez uderzenie w ziemię
- Zewnętrzny słup uszkodza zewnętrzny zbiornik paliwa, słup zostaje przecięty
- Oba słupy upadają wzdłuż kierunku lotu samolotu





Weryfikacja Modeli Podstawowego oraz MAT143 za Pomocą Trzypunktowego Zginania Belki Brzozowej





Parametry Materiałowe dla Aluminium Tu-154

- Wszystkie parametry Aluminium D16, V95, AK6, itp. wzięte z <http://www.splav.kharkov.com/en/>

Podstawowy AL Density(Kg/m ³)	Young's modulus, E(Pa)	Yield Stress(Pa)	Tangent Modulus, Ec (Pa)	Poisson Ratio, v	Failure Strain
2850	7.4E+10	4.44E+8	5.738E+8	0.33	0.14

▪ Modele Aluminium:

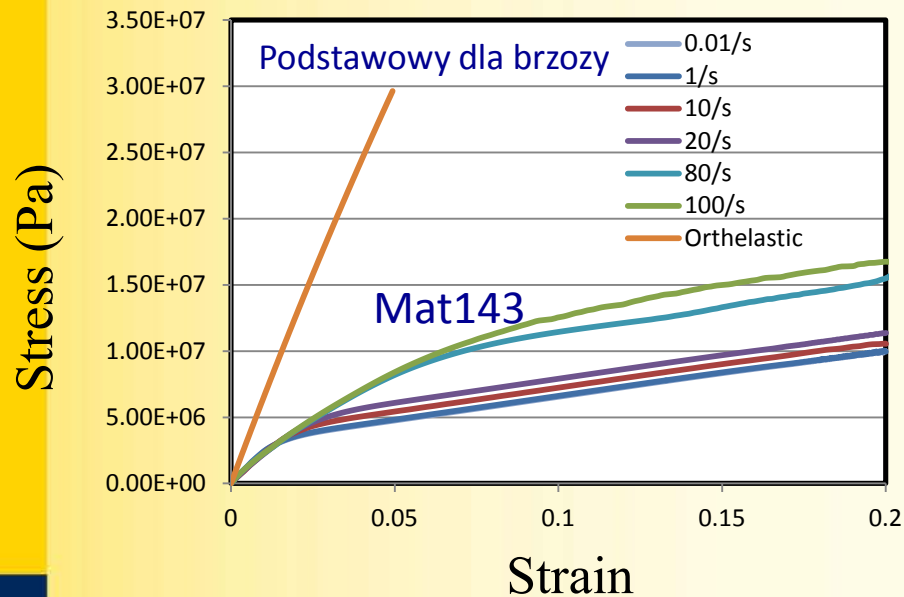
- **Podstawowy** - izotropowy, elasto-plastyczny utwardzany (Max Strain)
- **Johnson-Cook** - nieliniowy, zależny od prędkości odkształcenia

*MAT_JOHNSON_COOK							
mid	ro	g	e	pr	dtf	vp	rateop
4	2700	2.59E+10	6.89E+10	0.33	0	0	0.1
a	b	n	c	m	tm	tr	epso
3.24E+08	1.14E+08	0.42	0.002	1.34	925.16	193.16	1.00E-05
cp	pc	spall	it	d1	d2	d3	d4
0	0	2	0	0.13	0.13	-1.5	0.011
d5	c2/p	erod	efmin				
0	0	0	0				

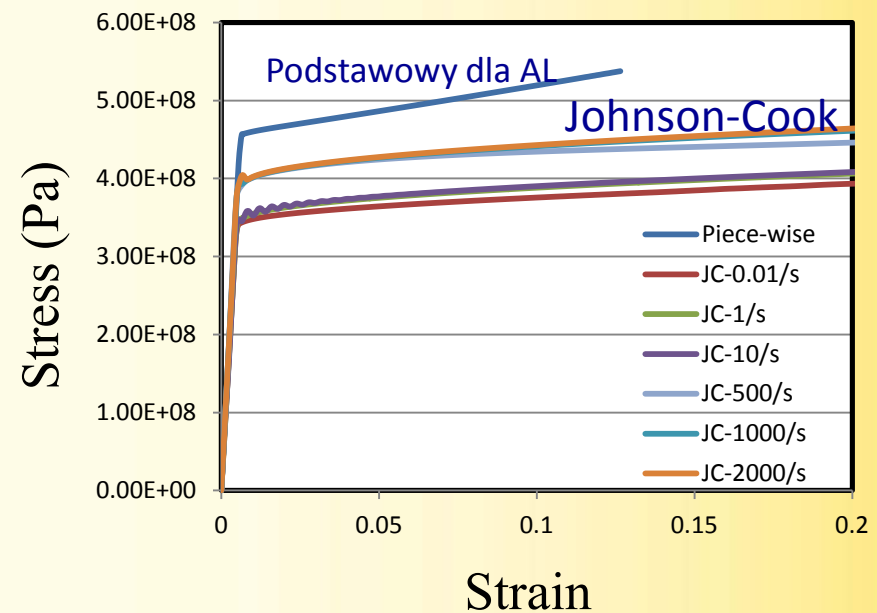


Charakterystyki Materiałowe dla Modeli Brzozy oraz Aluminium

Brzoza

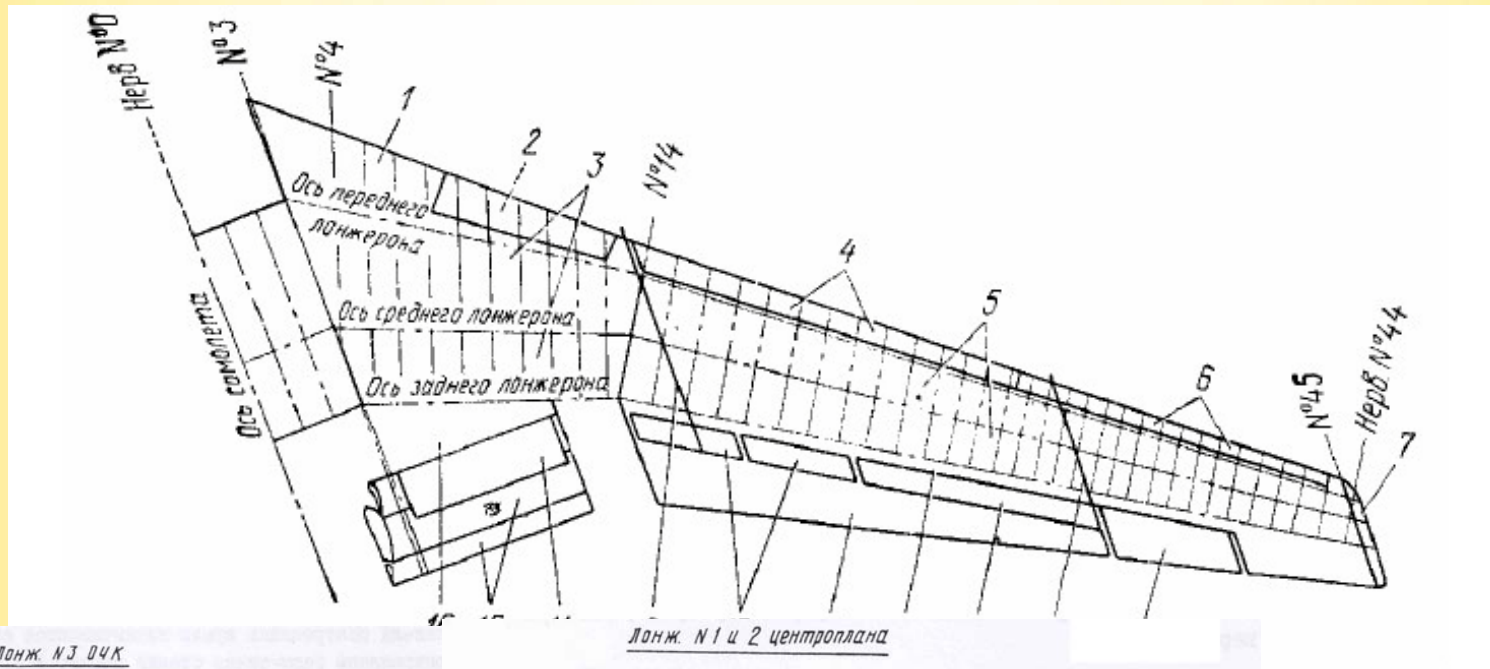


Aluminium

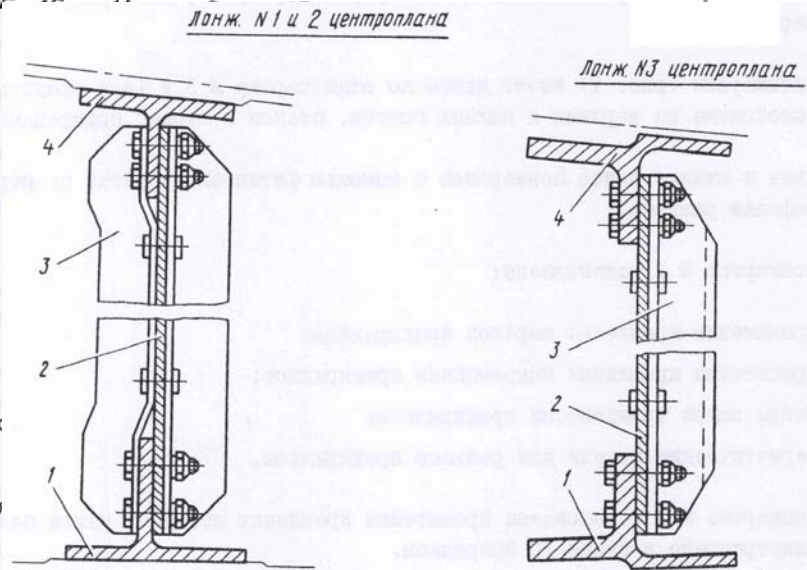
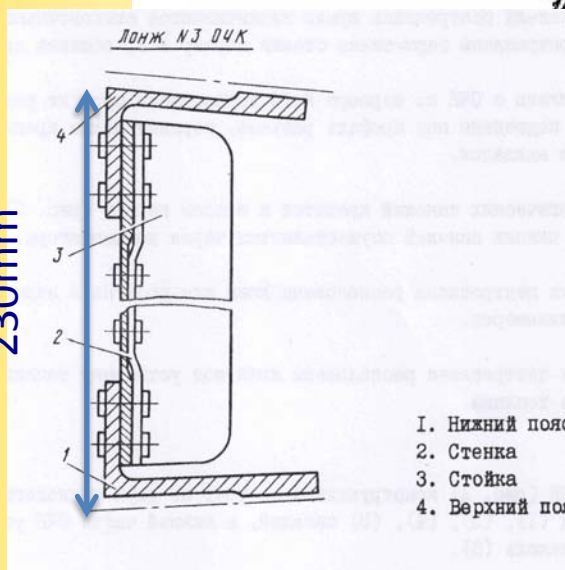




Структура Внутренняя Крыла Ту-154М



230mm



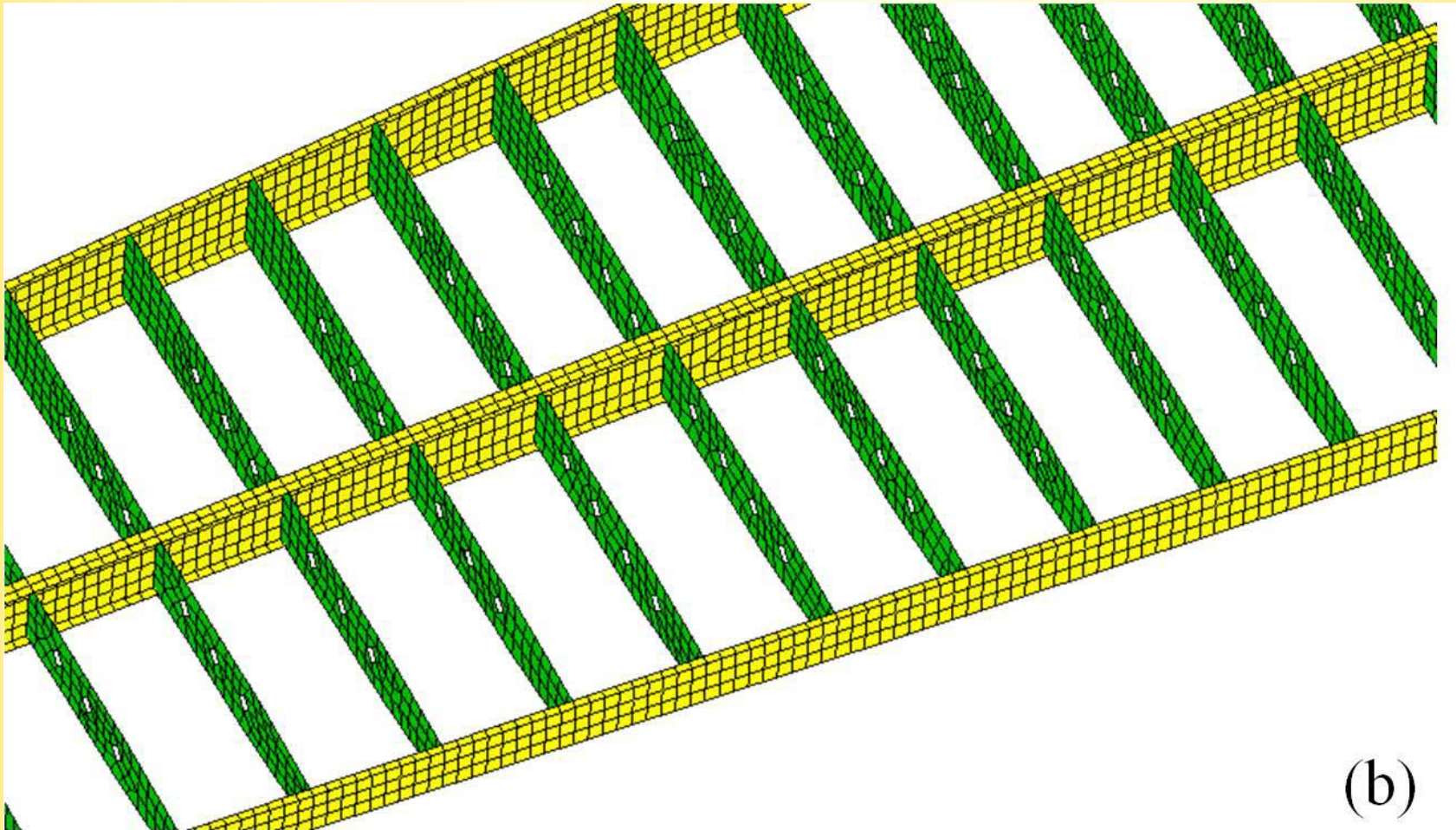
Boeing 727

Wewnętrzna Struktura Skrzydła



Usztywniacze pominięte w moim modelu

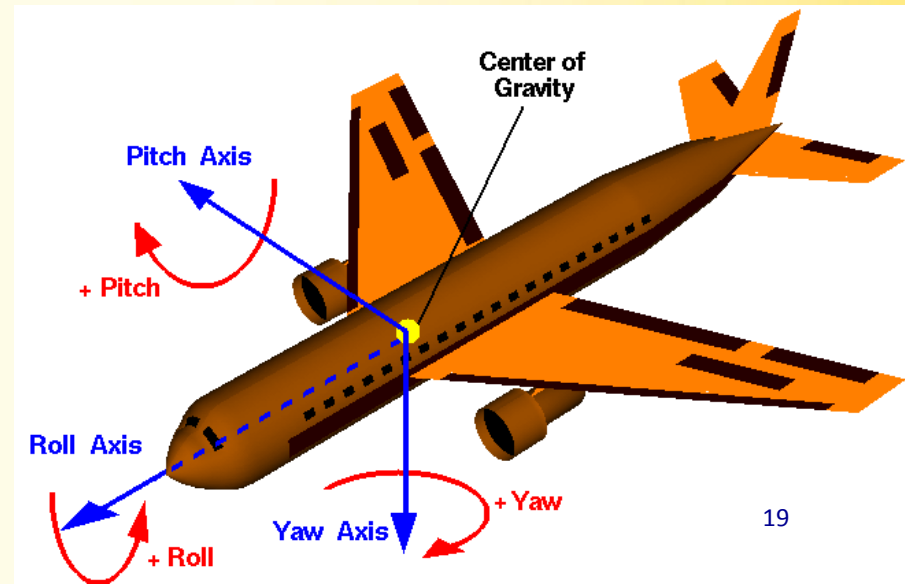
Reprezentacja MES Wewnętrznej Struktury Skrzydła Tu154M





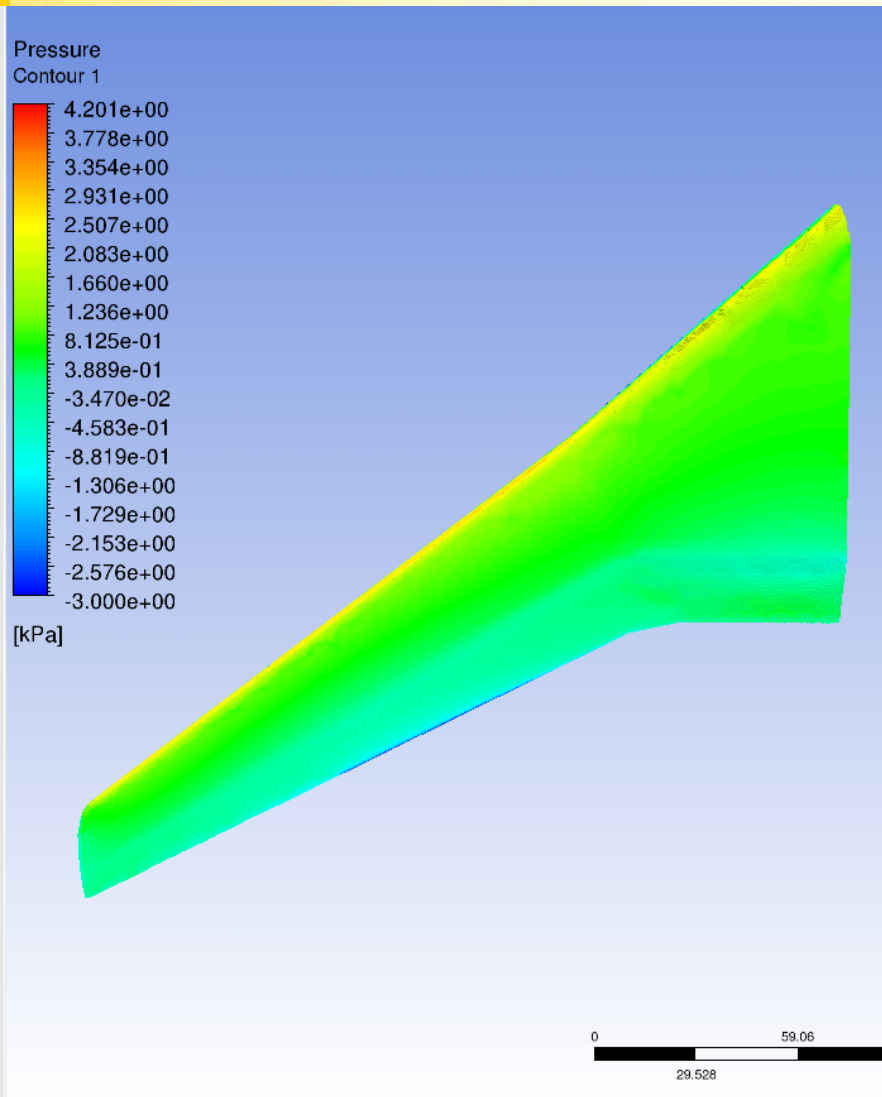
Parametry Wejściowe

- Prędkość: **77-80 m/s pozioma, 0-19.2 m/s do góry**
- Masa samolotu: **78600 kg**
- Odległość od gruntu do miejsca uderzenia w brzozie: **6.m**
- Średnica brzozy w miejscu uderzenia: **44cm**
- Gęstość brzozy: **700 - 1000 kg/m³**
- Długość odcinka skrzydła: **6.5m**
- Różne pozycje samolotu:
 1. Lot poziomy
 2. Kąt natarcia: 5° – 20°
 3. Kąt obrotu- 5° , lot poziomy
 4. Kąt obrotu- 5° & kąt natarcia 5° – 20°

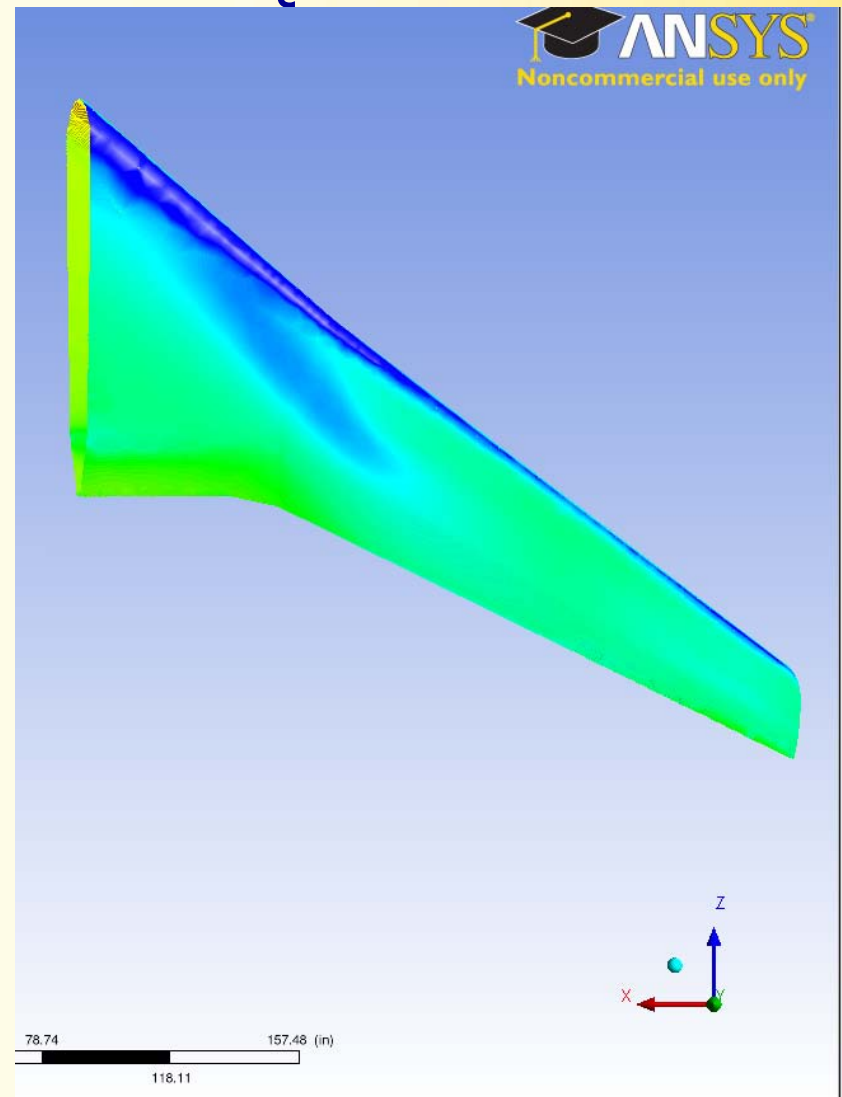




Ciśnienia Aerodynamiczne na Skrzydle Obliczone za Pomocą CFX



Spodnia część



Górna część



Analiza Różnych Przykładów:

Lot poziomy z 14 stopniowym kątem natarcia ($v_{horizontal}=80\text{m/s}$, $v_{vertical}=0\text{ m/s}$)

Job name	Tree material model	Plane material model	Element size of impact area	Total number of elements
H1 standard_pressure_h	Orthotropic Elastic	Piece Wise Plasticity	0.04 m for tree; 0.03 for wing	57200 for tree; 153398 for plane
H2 standard_pressure_h143	Mat 143 without rate effect	Piece Wise Plasticity	0.04 m for tree; 0.03 for wing	57200 for tree; 153398 for plane
H3 standard_pressure_h143r	Mat 143 with rate effect	Piece Wise Plasticity	0.04 m for tree; 0.03 for wing	57200 for tree; 153398 for plane
H4 standard_pressure_hjc	Orthotropic Elasticity plus Eroding	Mat 15 Johnson Cook	0.04 m for tree; 0.03 for wing	57200 for tree; 153398 for plane
H5 standard_pressure_hjc143	Mat 143 with rate effect	Mat 15 Johnson Cook	0.04 m for tree; 0.03 for wing	57200 for tree; 153398 for plane
H6 standard_pressure_hrefine	Orthotropic Elastic	Piece Wise Plasticity	0.02 m for tree; 0.03 for wing	228800 for tree; 153398 for plane
H7 standard_pressure_hjc143_refine	Mat 143 with rate effect	Mat 15 Johnson Cook	0.02 m for tree; 0.03 for wing	228800 for tree; 153398 for plane



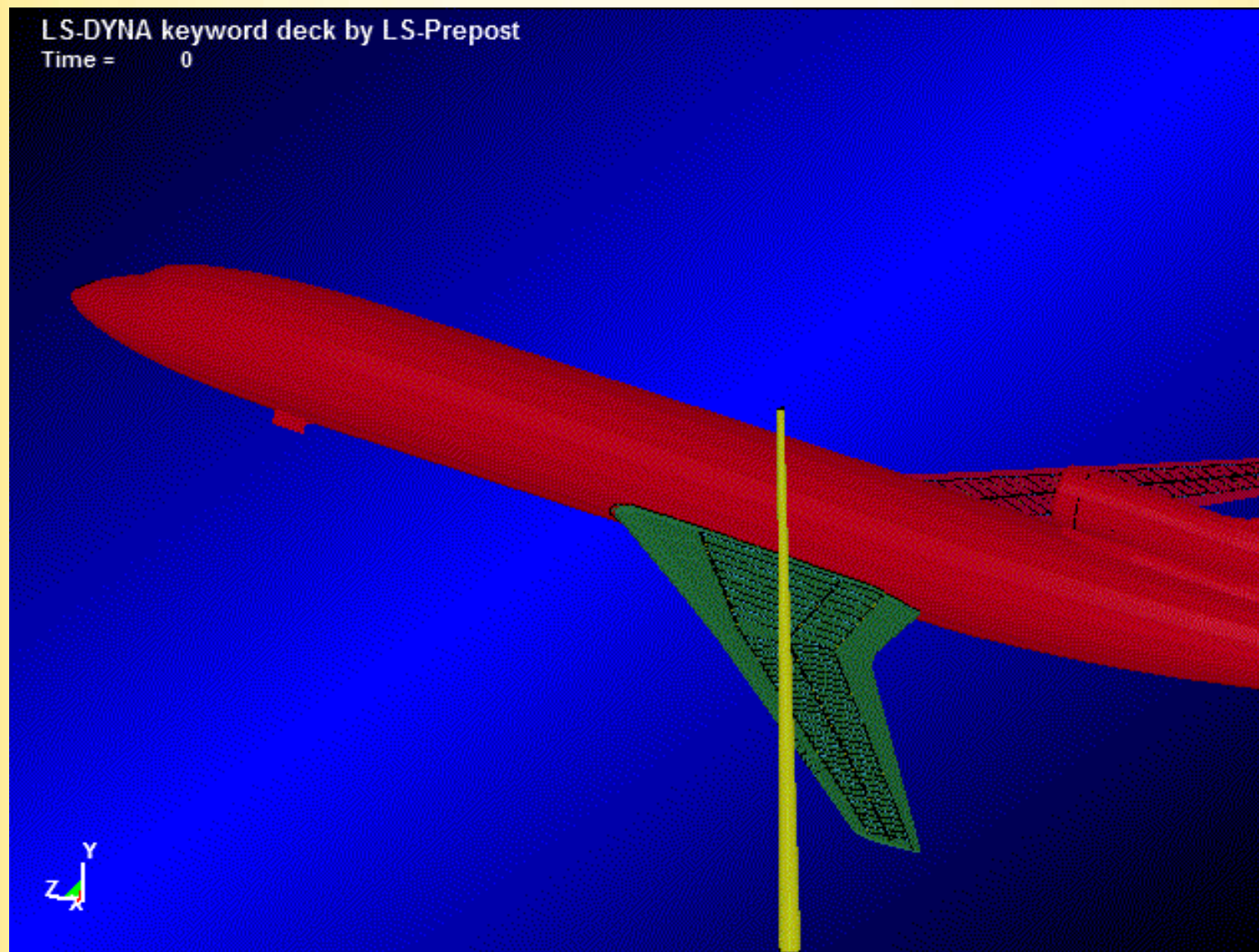
Analiza Różnych Przypadków:

Lot wznoszący z 14 stopniowym kątem natarcia ($v_{horizontal}=79\text{m/s}$, $v_{vertical}=19.2\text{ m/s}$)

Job name	Tree material model	Plane material model	Element size of impact area	Total number of elements
I1 standard_pressure	Orthotropic Elastic	Piece Wise Plasticity	0.04 m for tree; 0.03 for wing	57200 for tree; 153398 for plane
I2 standard_pressure_143	Mat 143 without rate effect	Piece Wise Plasticity	0.04 m for tree; 0.03 for wing	57200 for tree; 153398 for plane
I3 standard_pressure_143r	Mat 143 with rate effect	Piece Wise Plasticity	0.04 m for tree; 0.03 for wing	57200 for tree; 153398 for plane
I4 standard_pressure_jc	Orthotropic Elasticity plus Eroding	Mat 15 Johnson Cook	0.04 m for tree; 0.03 for wing	57200 for tree; 153398 for plane
I5 tandard_pressure_jc143	Mat 143 with rate effect	Mat 15 Johnson Cook	0.04 m for tree; 0.03 for wing	57200 for tree; 153398 for plane
I6 standard_pressure_refine	Orthotropic Elastic	Piece Wise Plasticity	0.02 m for tree; 0.03 for wing	228800 for tree; 153398 for plane
I7 standard_pressure_jc143_refine	Mat 143 with rate effect	Mat 15 Johnson Cook	0.02 m for tree; 0.03 for wing	228800 for tree; 153398 for plane

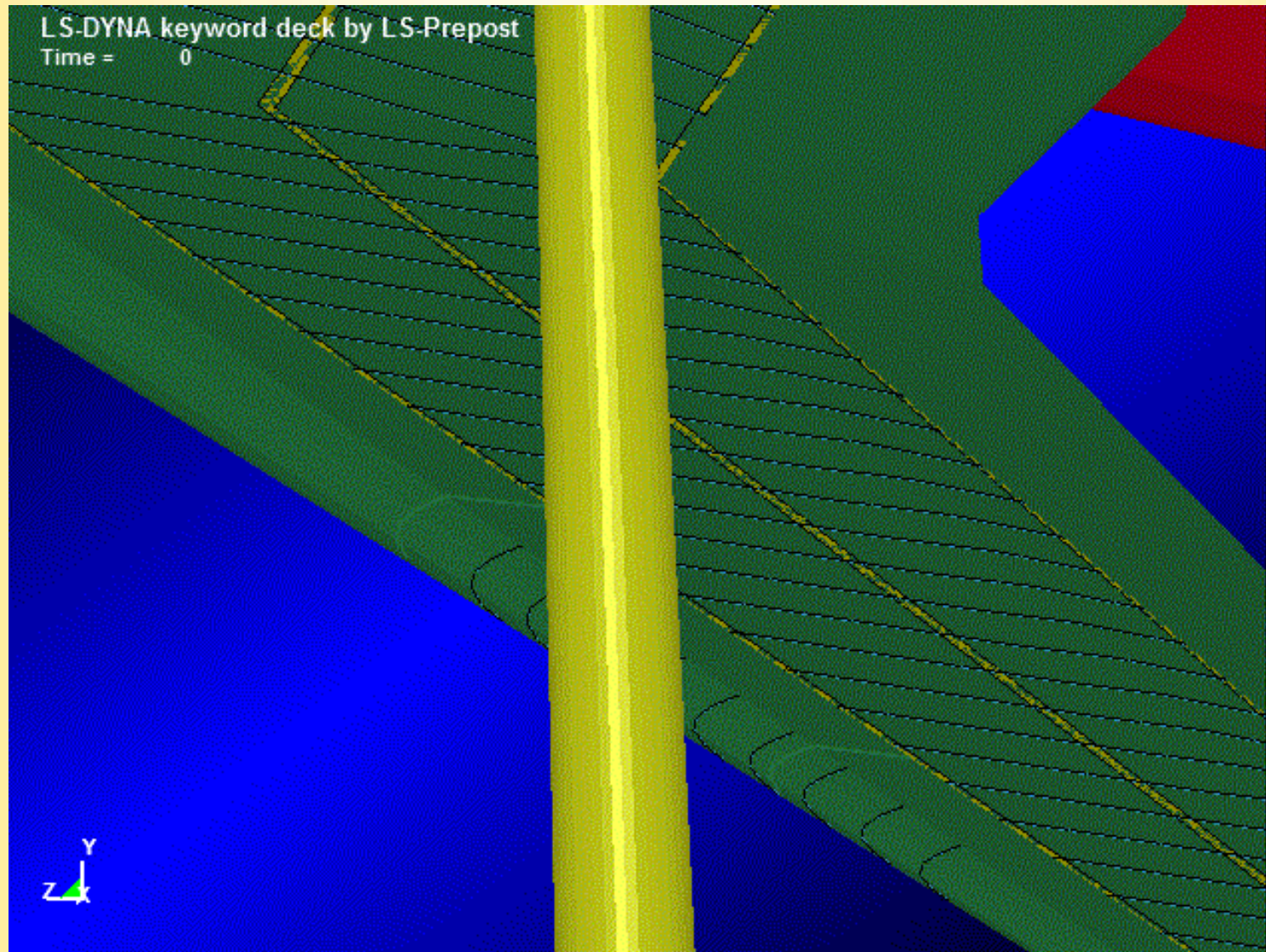


Symulacja Lotu Wznoszącego – Modele Materiałów Podstawowe



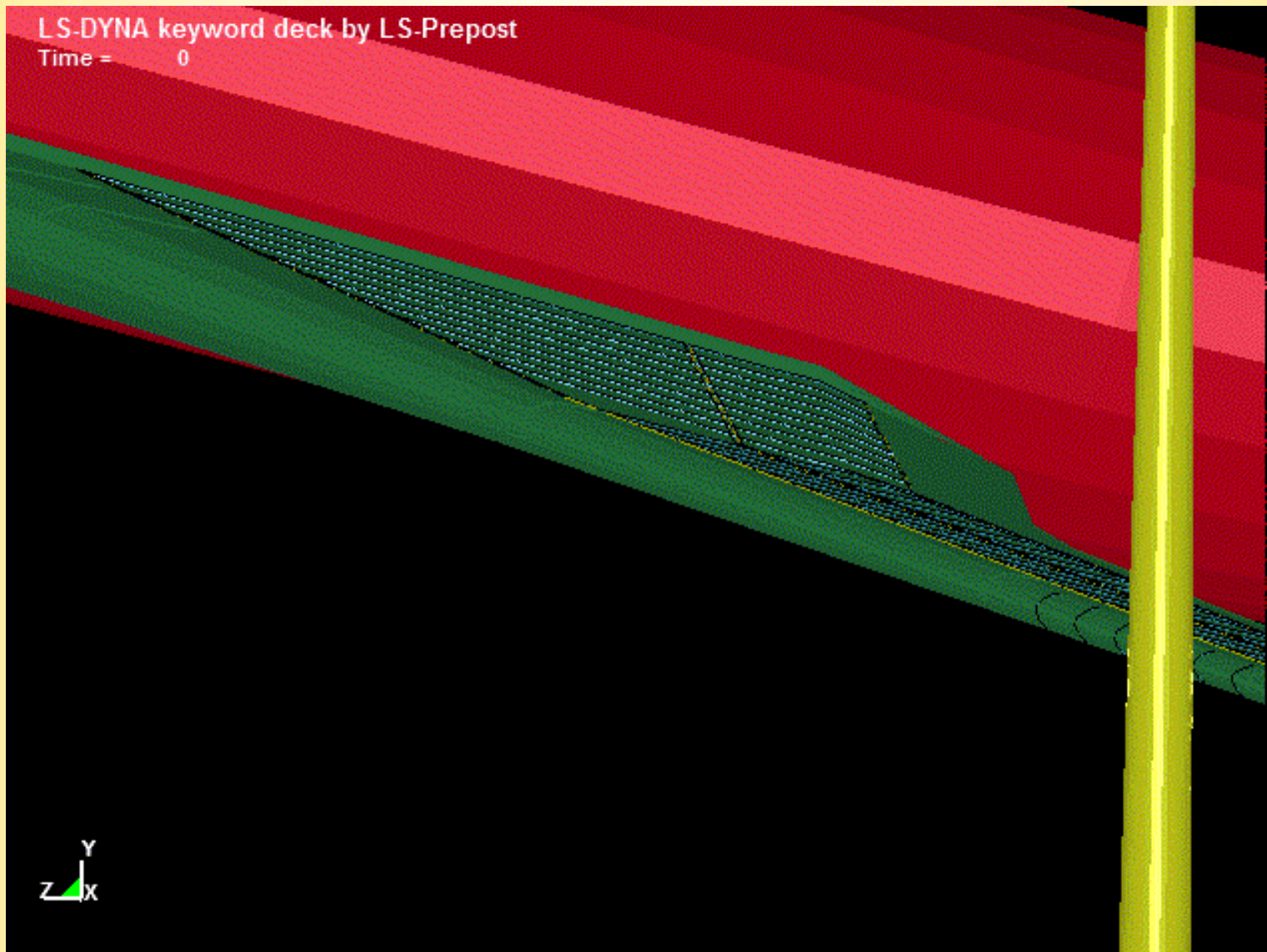


Symulacja Lotu Wznoszącego – Modele Materiałów Podstawowe



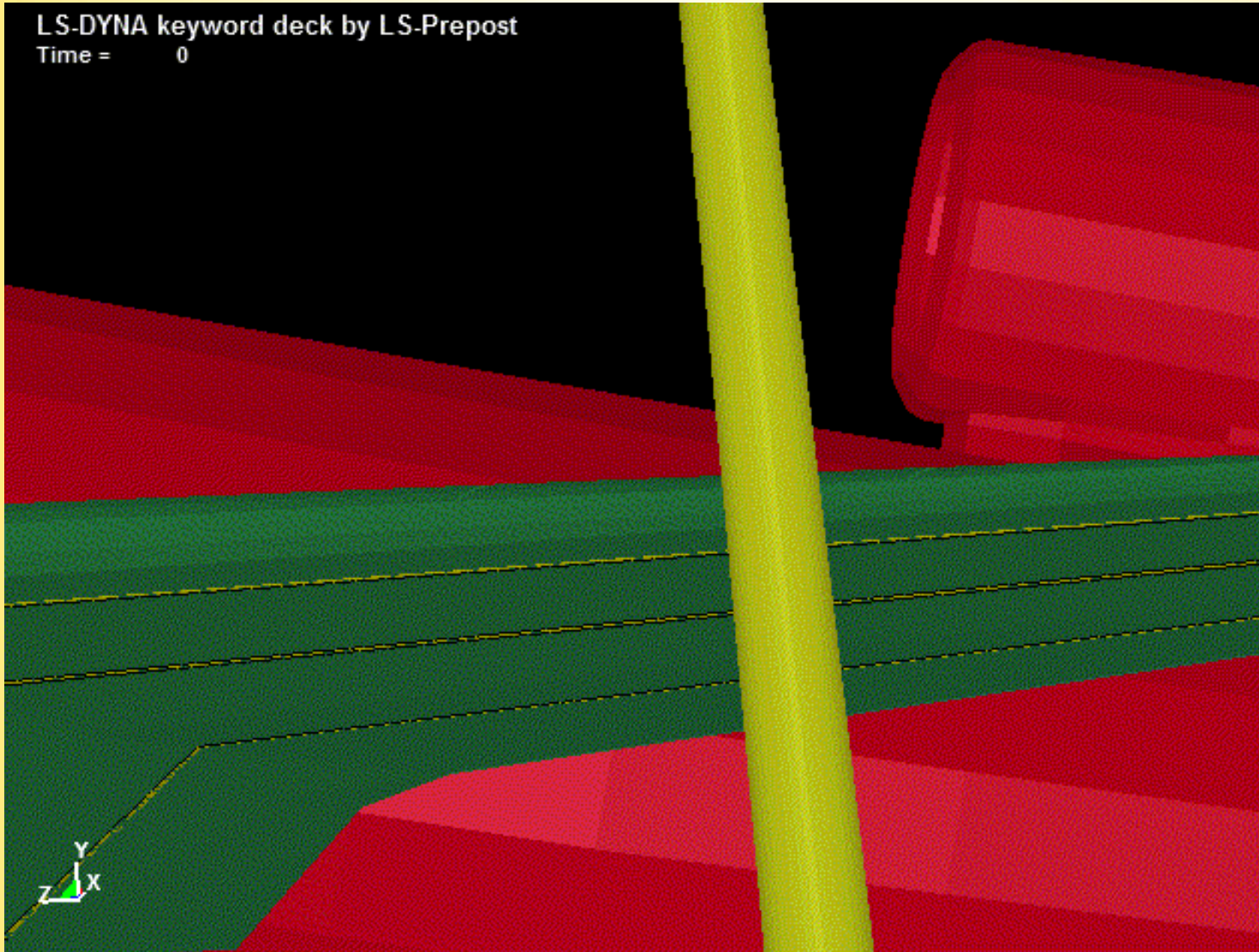


Lot Poziomy, Gęsta Siatka MES, Kąt Natarcia 14°, Mat143 oraz JC



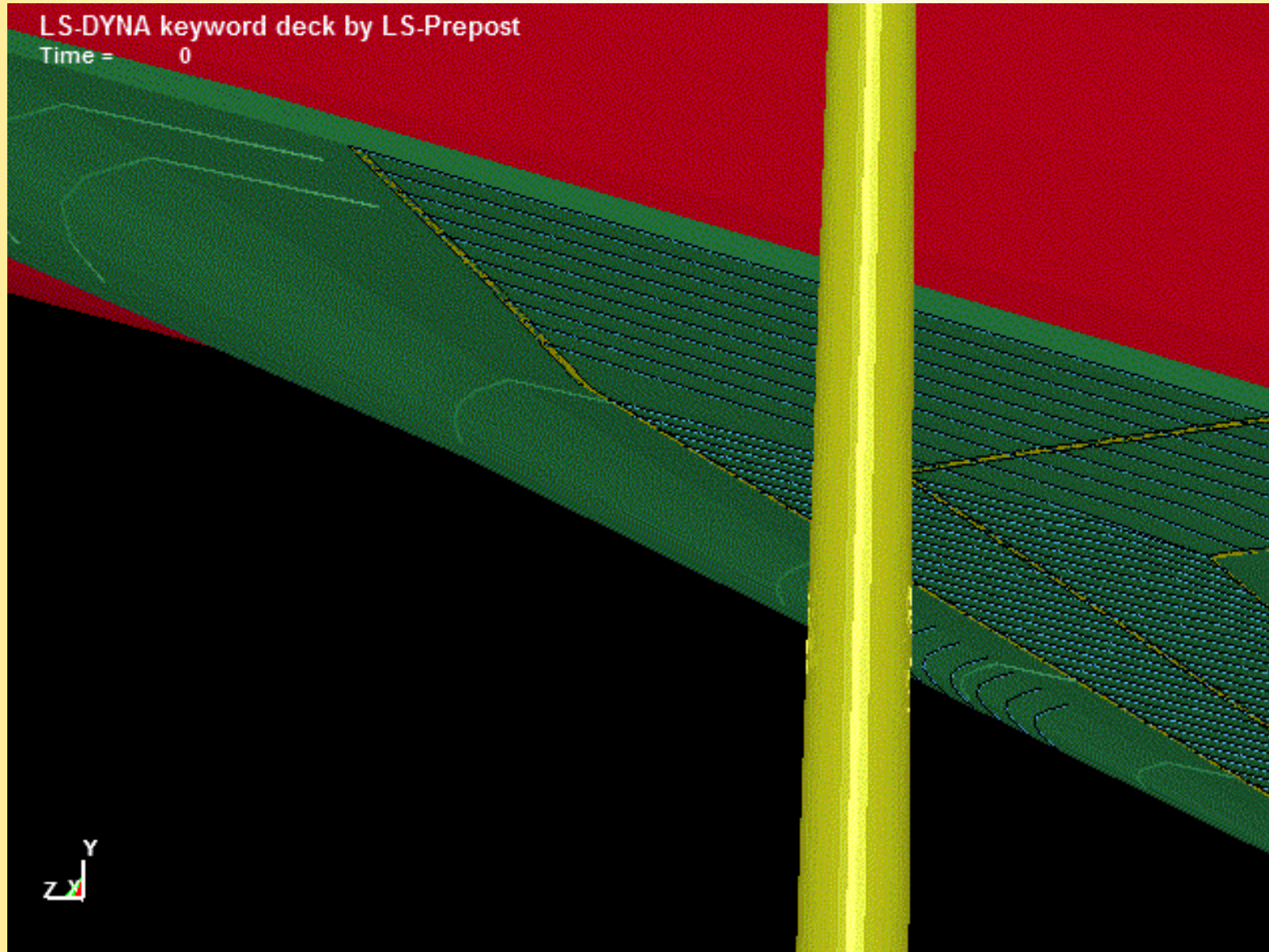


Lot Poziomy, Gęsta Siatka MES, Kąt Natarcia 14° , Mat143 oraz JC





Lot Wznoszący, Gęsta Siatka MES, Kąt Natarcia 14° , Mat143 oraz JC





Wnioski z Symulacji Uderzenia Skrzydła w Brzozę

- Na podstawie informacji wziętych z rosyjskiego i polskiego raportu, modele MES użyte do obliczeń symulacyjnych za pomocą LsDyna pokazały ze:

SKRZYDŁO SAMOLOTU TU-154M ZAWSZE PRZECINA DRZEWO

- Dla wszystkich możliwych konfiguracji samolotu i jego lotu
 - Niezależnie czy użyte są podstawowe czy nieliniowe modele materiałowe,
 - Niezależnie od gęstości siatki MES
- **KRAWĘDŹ PRZEDNIA SKRZYDŁA MUSI BYĆ ZNISZCZONA NA DŁUGOŚCI 60-80CM, ALE POWIERZCHNIA NOŚNA NIE JEST ZNISZCZONA, WIĘC DALSZY LOT JEST MOŻLIWY**

Powyższa analiza była skonsultowana oraz pozytywnie oceniona przez

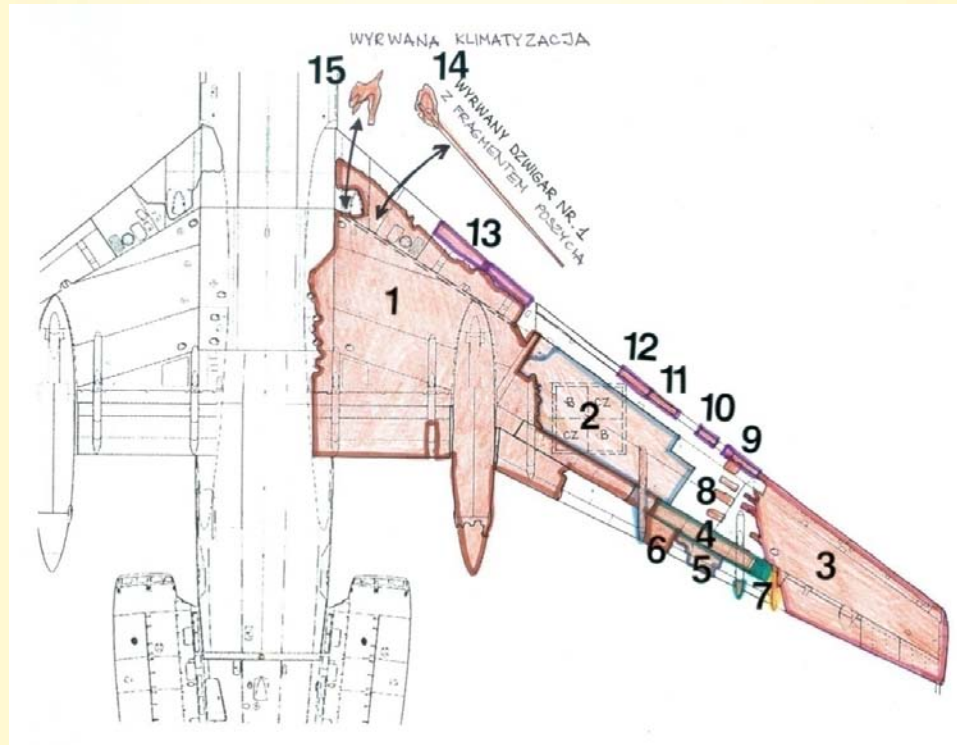
BOEING Principal Structural Engineer

Dr. Waclaw Berczyński.

Zdjęcia Wraku Pokazują że Krawędź Przednia nie jest Zniszczona!



Rekonstrukcja Rysunkowa Lewego Skrzydła



- Brak zniszczenia krawędzi przedniej w miejscu urwania skrzydła,
 - Zniszczenia wewnętrzne skrzydła
 - Wyrwane nity, oraz
 - Położenie złamanej brzozy w kierunku prostopadłym do lotu samolotu,
- SUGERUJĄ ŻE:
- **nie doszło do uderzenia skrzydła w brzozę**
 - **eksplozja może być przyczyną urwania końcówki skrzydła**

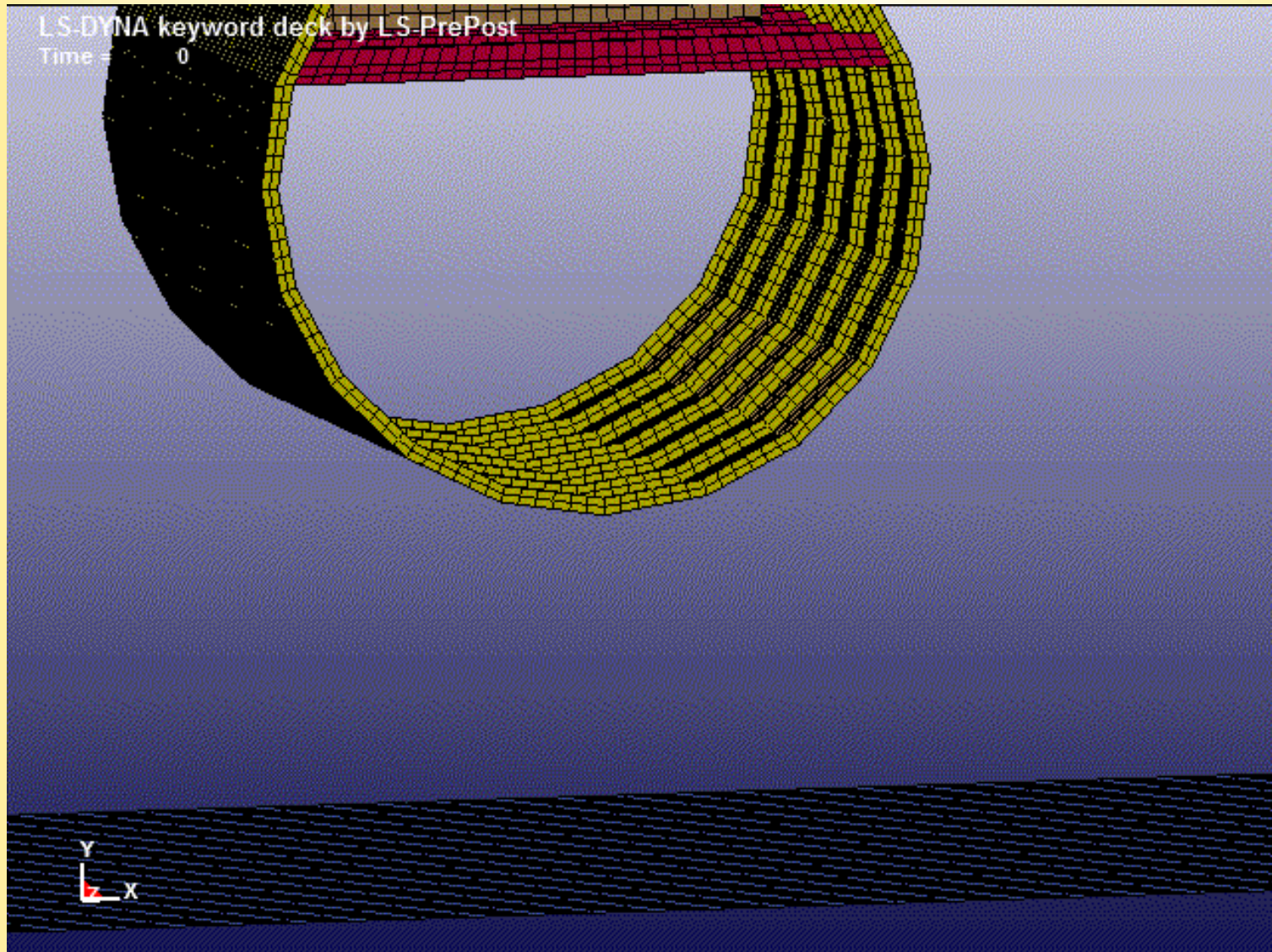


Główne Punkty

- **Rezultaty symulacji zderzenia lewym skrzydłem samolotu Tu154M w brzozę**
 - Opis nowego modelu materiału drzewa Mat143 opracowanego przez Federal Highway Administration (FHWA) w USA
 - Sprawdzenie Mat143 za pomocą zderzenia w drzewo pojazdu FHWA oraz przy użyciu eksperymentu Federal Aviation Administration (FAA) samolotu Lockheed Constellation z 1965 roku.
 - Opis modelu materiałowego Johnson-Cook dla aluminium opracowanego przez FAA
 - Rezultaty symulacji i analizy
- **Rezultaty symulacji pionowego upadku części kadłuba w pozycji odwróconej**
 - Zniszczenie kadłuba przy upadku pionowym
 - Zniszczenia kadłuba przy upadku pionowym po eksplozji
- **Resultaty analizy krateru od uderzenia samolotu w ziemię**
 - Opis nowego modelu zachowania się gruntu Mat147 opracowanego przez FHWA
 - Sprawdzenie modelu Mat147 za pomocą standardowych eksperymentów FHWA
 - Analiza gruntu, zniszczenia struktury samolotu, oraz przyspieszeń po uderzeniu całego samolotu w ziemię
- **Końcowe Wnioski**



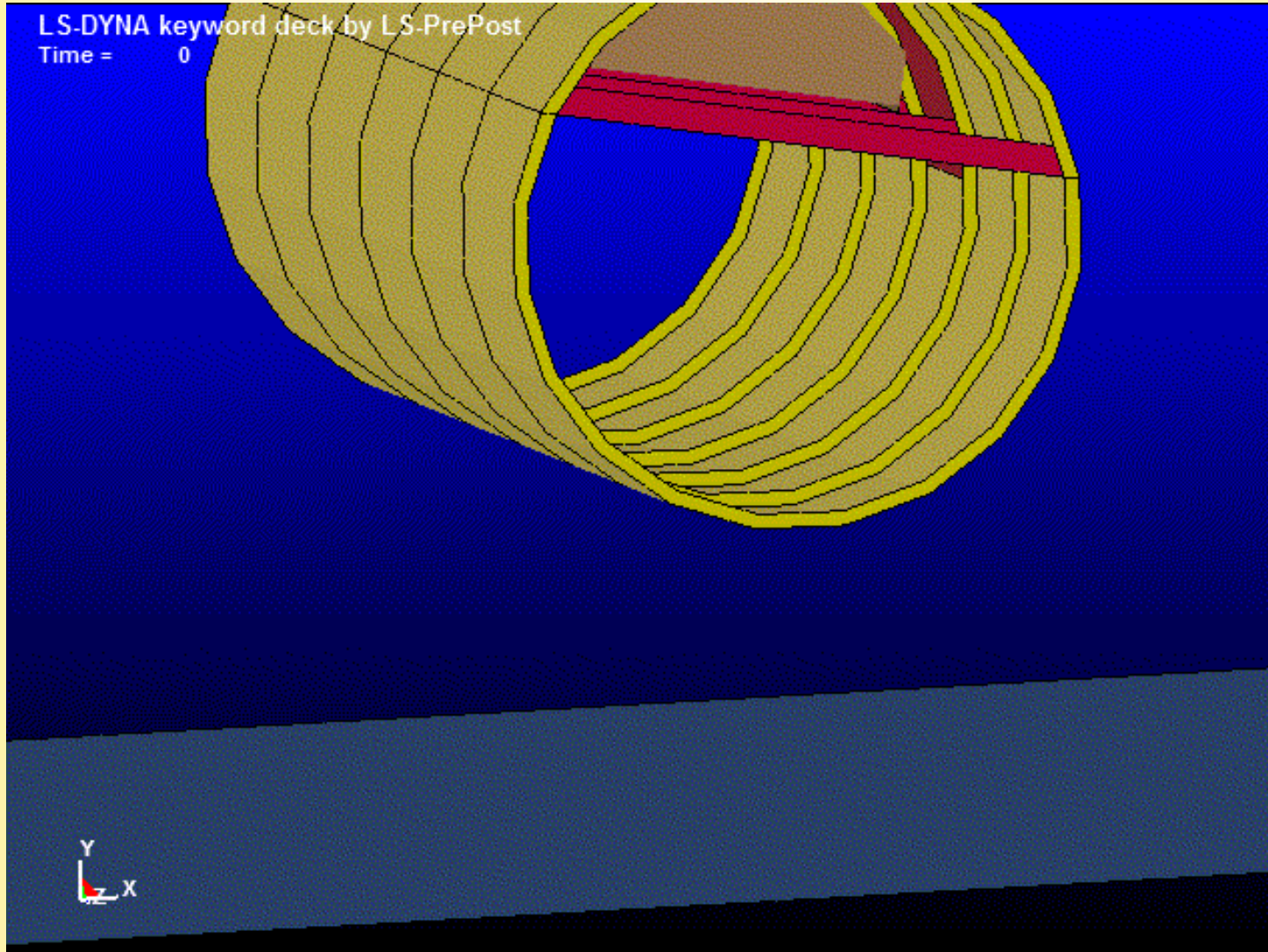
Upadek Kadłuba w Pozycji Do Góry Kołami



Pionowy upadek z $v_y = -9.8\text{m/sec}$

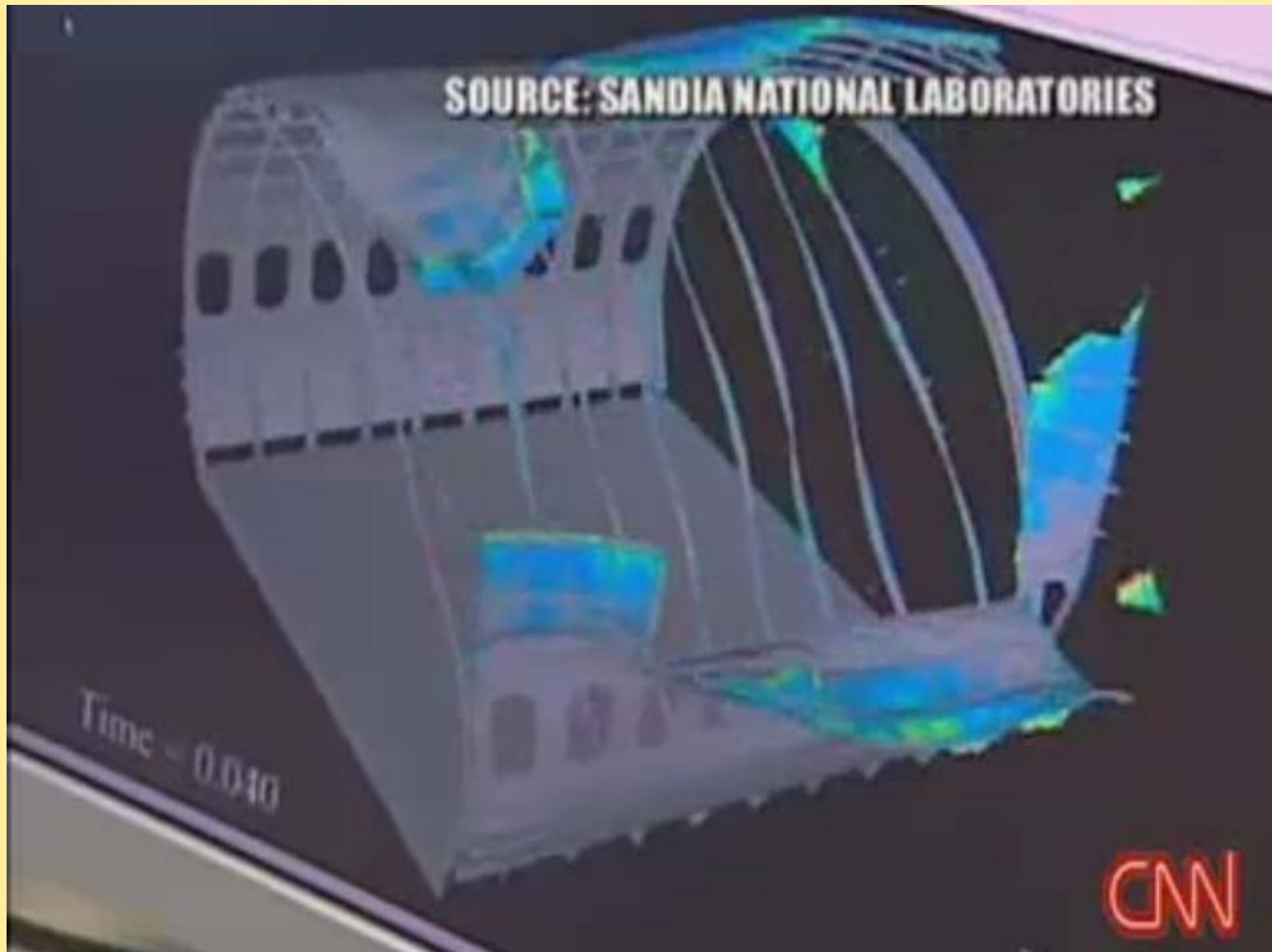


Upadek Kadłuba w Pozycji Do Góry Kołami z Obrotem Wokół Osi





Symulacja Wybuchu w Kadłubie Samolotu Sandia National Lab – CNN 2008

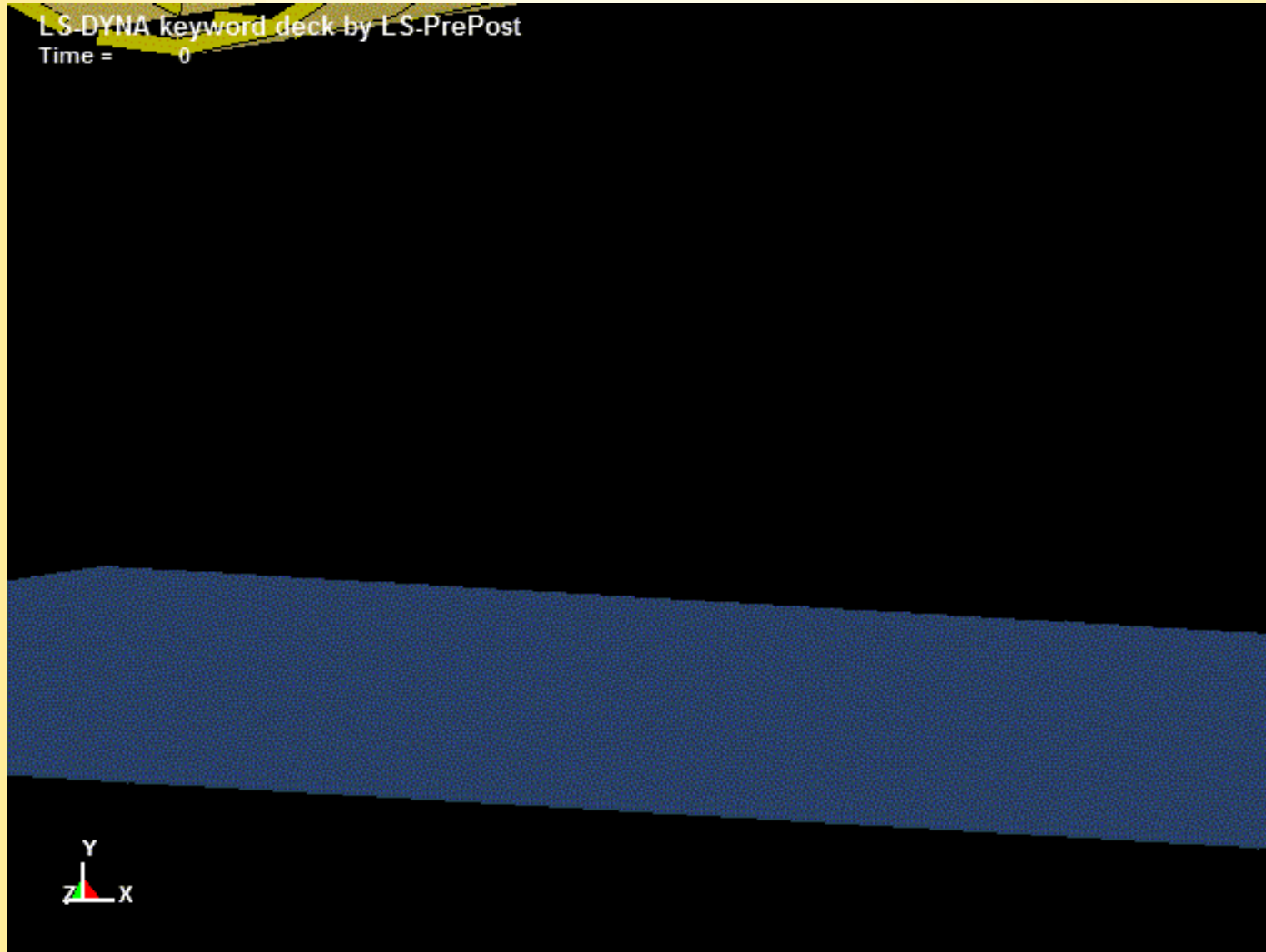


Wrak Samolotu Tu154M – Obie Ściany Kadłuba na Zewnątrz





Upadek Kadłuba po Wybuchu w Powietrzu





Główne Punkty

- **Rezultaty symulacji zderzenia lewym skrzydłem samolotu Tu154M w brzozę**
 - Opis nowego modelu materiału drzewa Mat143 opracowanego przez Federal Highway Administration (FHWA) w USA
 - Sprawdzenie Mat143 za pomocą zderzenia w drzewo pojazdu FHWA oraz przy użyciu eksperymentu Federal Aviation Administration (FAA) samolotu Lockheed Constellation z 1965 roku.
 - Opis modelu materiałowego Johnson-Cook dla aluminium opracowanego przez FAA
 - Rezultaty symulacji i analizy
- **Rezultaty symulacji pionowego upadku części kadłuba w pozycji odwróconej**
 - Zniszczenie kadłuba przy upadku pionowym
 - Zniszczenia kadłuba przy upadku pionowym po eksplozji
- **Rezultaty analizy krateru od uderzenia samolotu w ziemię**
 - Opis nowego modelu zachowania się gruntu Mat147 opracowanego przez FHWA
 - Sprawdzenie modelu Mat147 za pomocą standardowych eksperymentów FHWA
 - Analiza gruntu, zniszczenia struktury samolotu, oraz przyspieszeń po uderzeniu całego samolotu w ziemię
- **Końcowe Wnioski**



Model Materiałowy Mat147 Opracowany przez FHWA dla Analizy Zachowania Gruntu

Tabela 1 Parametry materiałowe

Input Deck	Material Parameter					
	RO	Nplot	Spgrav	Rhowat	V _n	Gammar
Baseline	2.350E-6	3	2.79	1.0E-6	1.1	0.0
Developer's e-mail	2.350E-6	3	2.79	1.0E-6	1.1	0.0
Input Deck	Itermax	K	G	Phimax	Ahyp	Coh
Baseline	10	0.465	0.186	1.1	1.0E-7	6.2e-6
Developer's e-mail	10	0.00325	0.0013	1.1	1.0E-7	6.2e-6
Input Deck	Eccen	A _n	E _t	Mcont	Pwd1	PwKsk
Baseline	0.7	0.0	0	0.034	0.0	0.0
Developer's e-mail	0.7	0.0	0	0.034	0.0	0.0
Input Deck	Pwd2	Phires	Dint	Vdfm	Damlev	Epsmax
Baseline	0.0	0.0E-0	2.5E-3	5.0E-0	1.00	1.00
Developer's e-mail	0.0	1.0E-3	1.0E-5	6.0E-8	0.99	0.80

EVALUATION OF LS-DYNA SOIL MATERIAL MODEL 147 **Report No. FHWA-HRT-04-094**

J.D. Reid and B.A. Coon, Midwest Roadside Safety Facility (MwRSF)

B.A. Lewis, S.H. Sutherland, and Y.D. Murray, APTEK, Inc.

Tabela 2 Parametry użyte w LsDyna (Mohr-Coulomb)

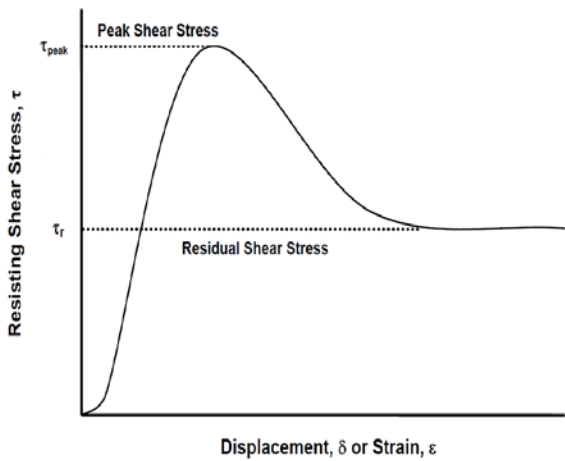
```

$
*MAT_FHWA_SOIL
$      mid      ro      NPLOT      SPGRAV      RHOWAT      VN      GAMMAR      ITERMAX
$      1      2.350E-6      3      2.79      1.0e-6      1.1      0.0      10
$      K      G      PHIMAX      AHYP      COH      ECCEN      AN      ET
$      0.00325      0.00130      1.1      1.0E-7      6.2E-6      0.7      0.0      0.0
$      MCONT      PWD1      PWKSK      PWD2      PHIRES      DINT      VDFM      DAMLEV
$      0.034      0.00      0.0      0.0      0.001      0.00001      6.0E-08      0.99
$ EPSMAX
$      0.80
$

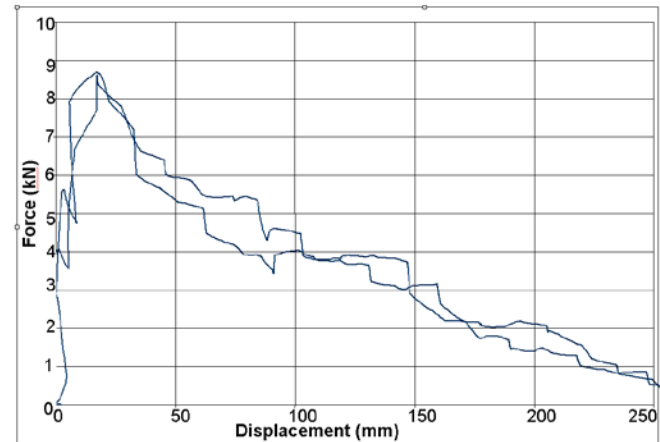
```



Charakteryzacja Materiału Mat147 za Pomocą Testu Ścinania Próbki Gruntu (FHWA)



Teoretyczny rezultat testu ścinania

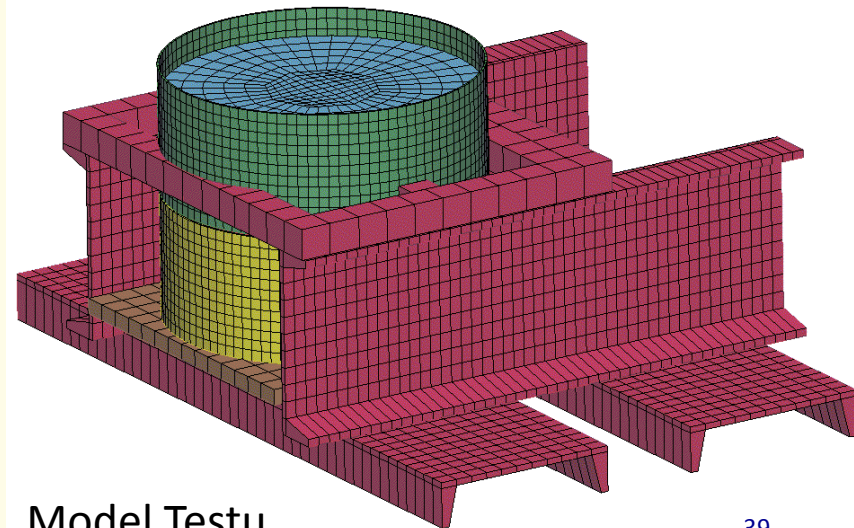


Rezultaty dwóch testów ścinania



Test

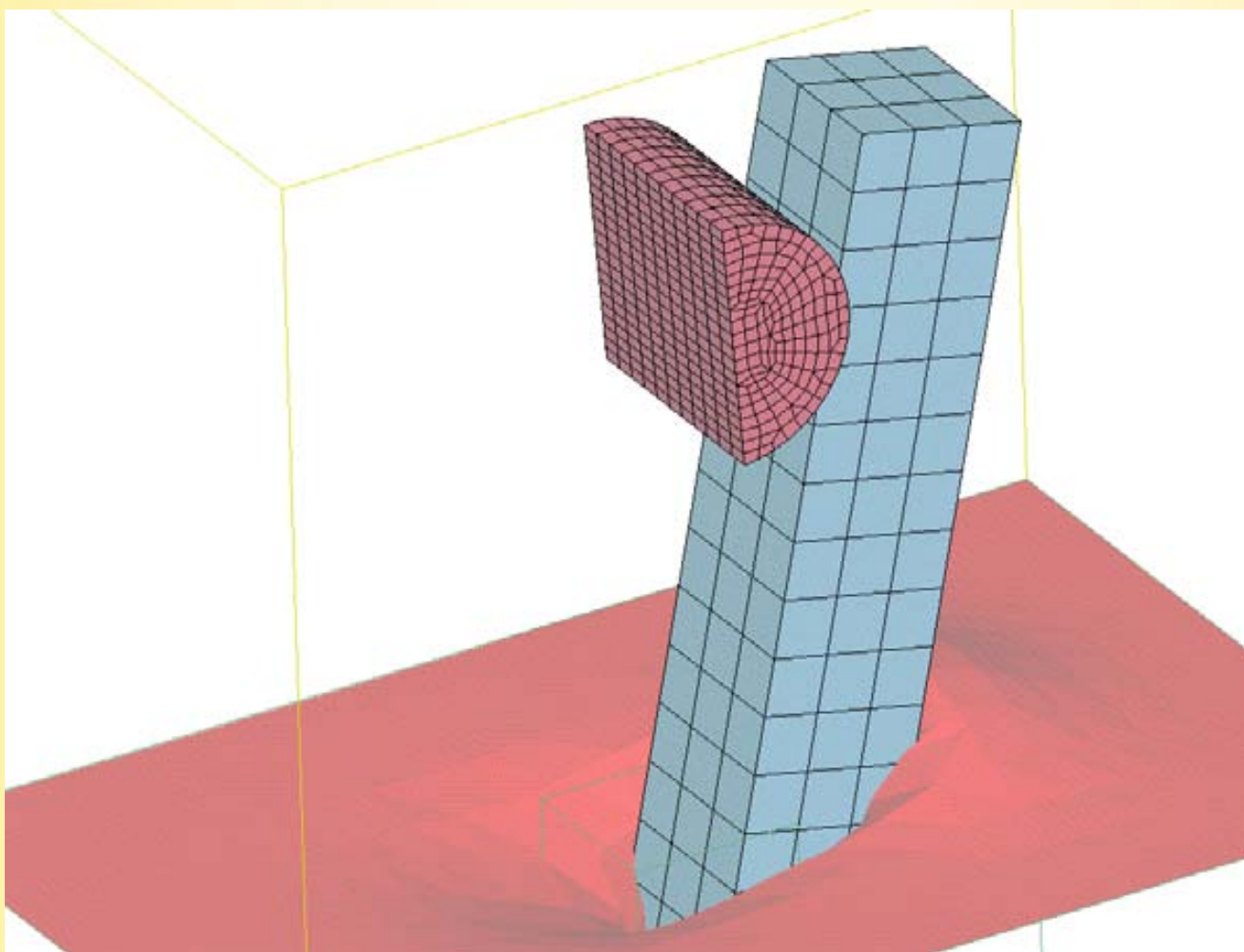
Direct Shear Test - Baseline Model
Time = 0



Model Testu



Weryfikacja Materiału Mat147 - FHWA



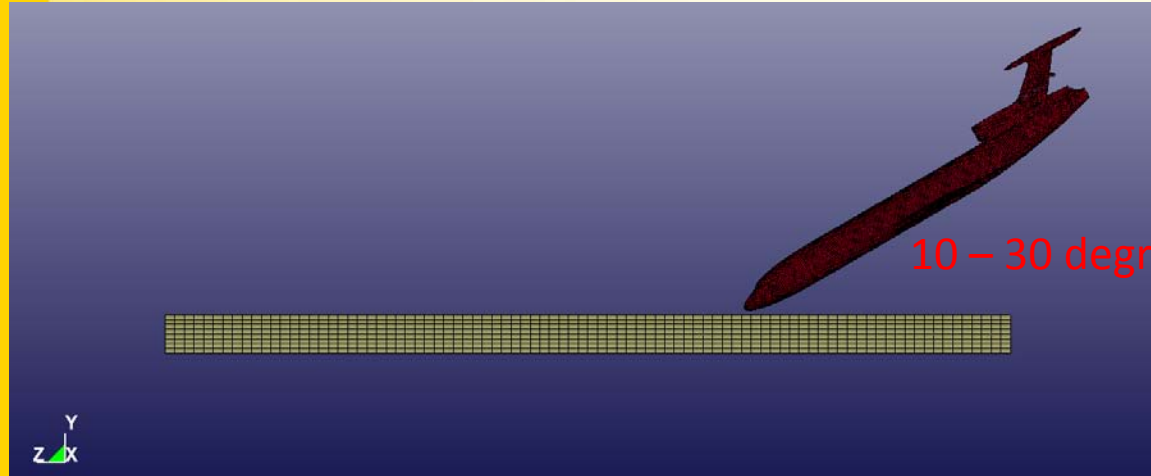
EVALUATION OF LS-DYNA SOIL MATERIAL MODEL 147 **Report No. FHWA-HRT-04-094**

J.D. Reid and B.A. Coon, Midwest Roadside Safety Facility (MwRSF)

B.A. Lewis, S.H. Sutherland, and Y.D. Murray, APTEK, Inc.

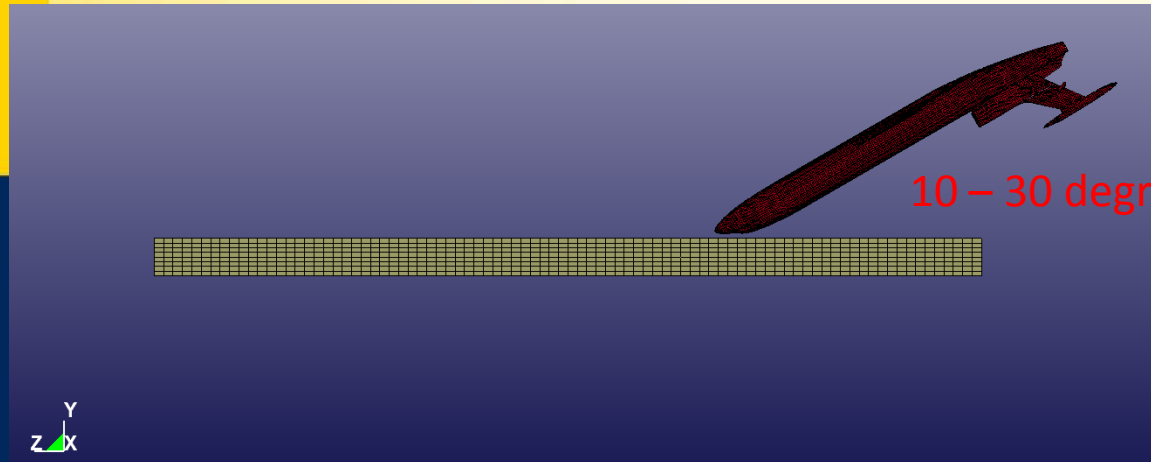


Symulacje Uderzenia Tu154M w Ziemie = Mat147



Normalna konfiguracja

Elementy (Unit-meter):
Ziemia: 1by1 in plane (x-z)
and 0.5 thick (y) solid
elements;
Kadłub samolotu: 0.2by0.2
shell elements



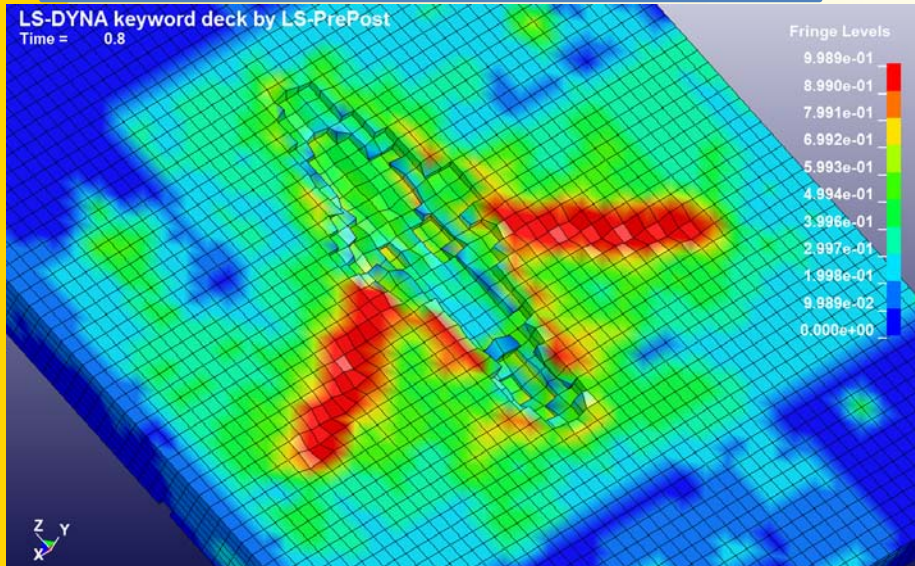
Do góry kolami

Ilość elementów:
Ziemia: 18304 elements;
Samolot: 32450 elements



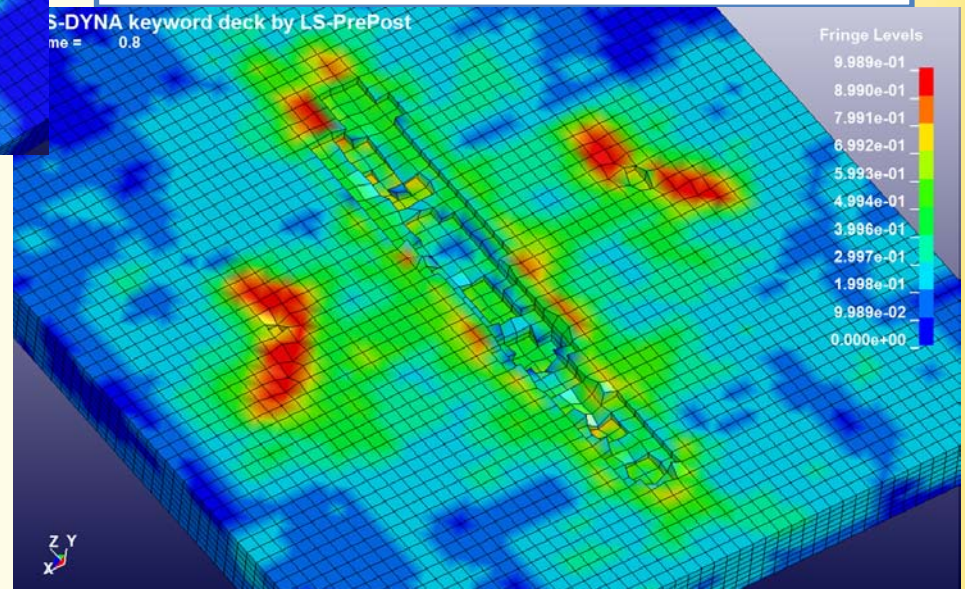
Krater Utworzony przez Uderzenie Samolotu w Ziemi = Mat147

Uderzenie samolotu kołami do ziemi



Wektor prędkości uderzenia
poziomy(z): 69.28 m/s;
pionowy (y): -40 m/s

Uderzenie samolotu do góry kołami

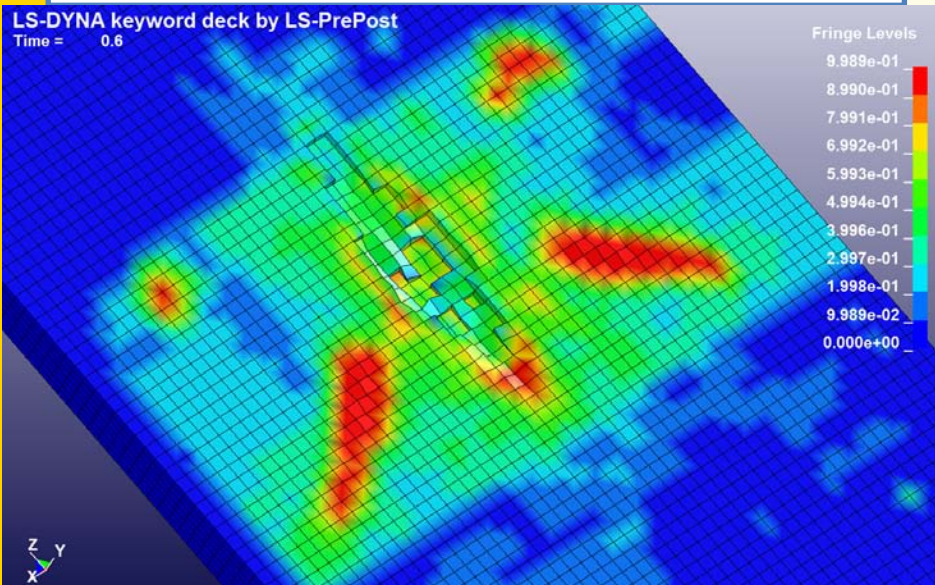


Głębokość krateru 1-2 m



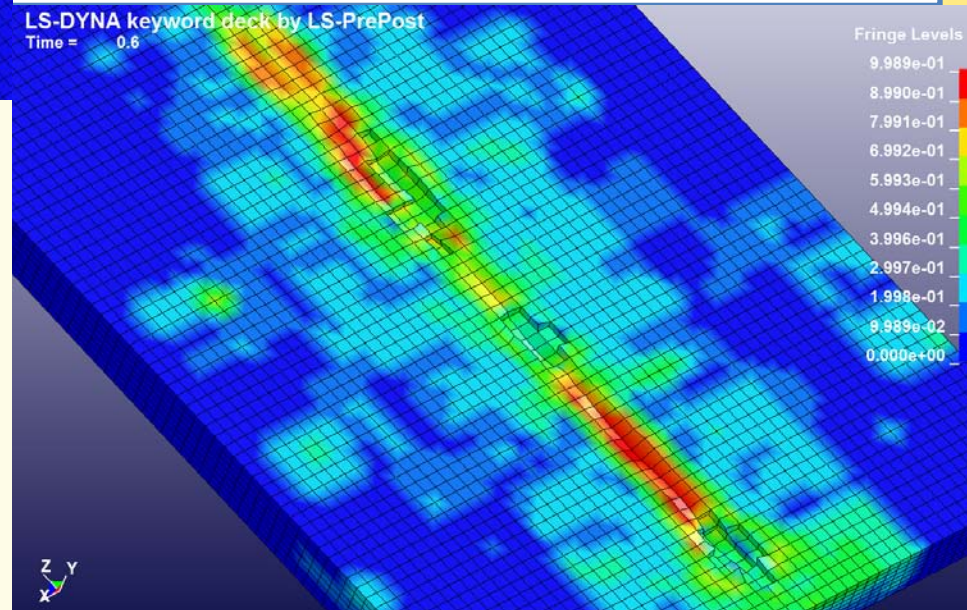
Krater Utorzony przez Uderzenie Samolotu w Ziemi = Mat147

Uderzenie samolotu kołami do ziemi



Wektor prędkości:
Poziomy (z): 78.78 m/s;
Pionowy (y): -13.89 m/s

Uderzenie samolotu do góry kołami

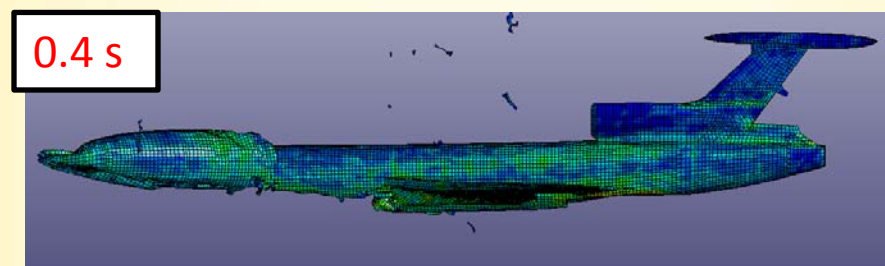
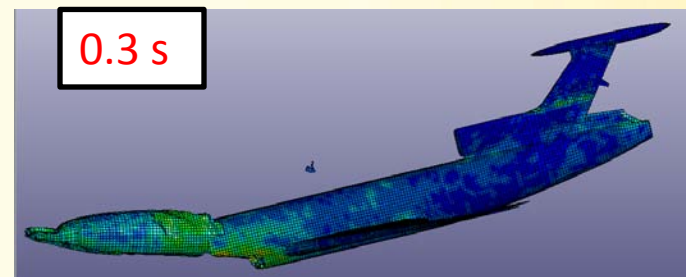
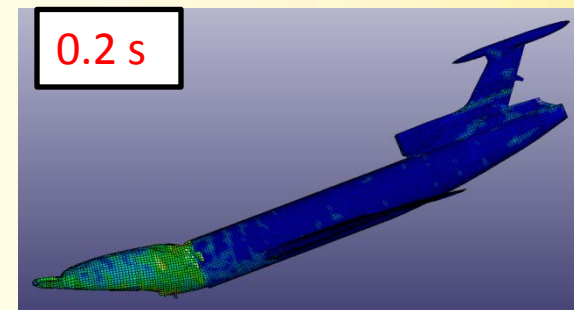
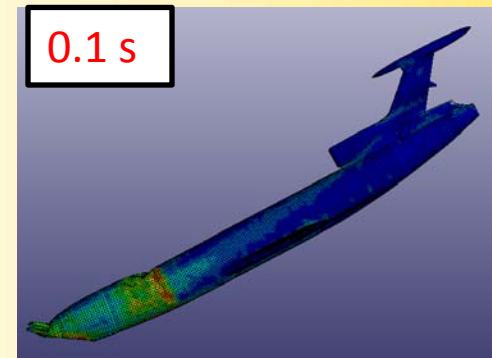
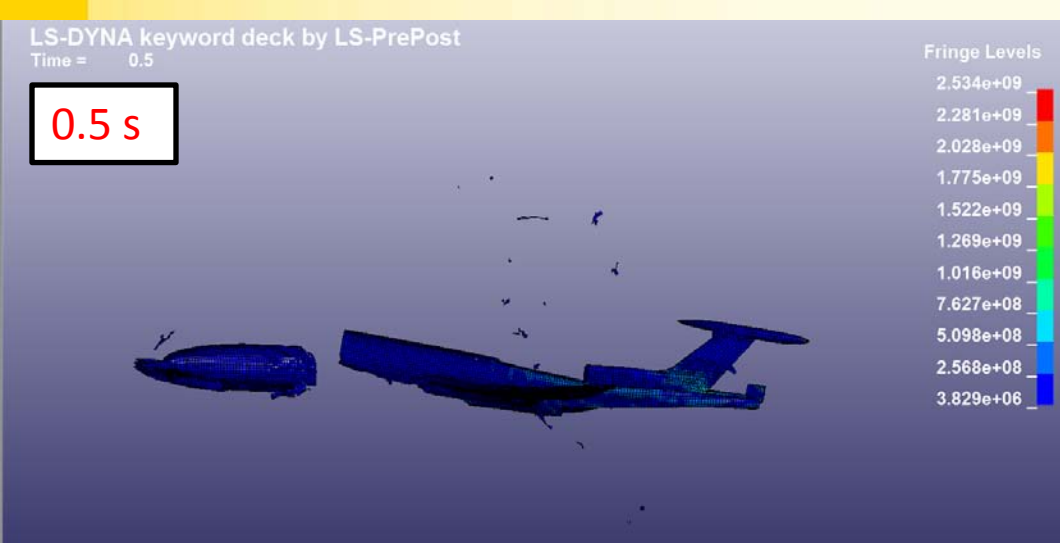


Wnioski na podstawie analizy kraterów

- Jeżeli cała masa samolotu uderzyła w nieskalisty miękki grunt to powinien zostać głęboki krater na obszarze większym od wielkości samolotu
- Brak krateru wskazuje na rozpad samolotu w powietrzu



Rozpad Samolotu na Skutek Uderzenia w Ziemi w Normalnej Pozycji



Boeing 727 Eksperyment z 2012 roku



Podziękowania dla Prof. J. F. Gieras za udostępnienie zdjęć

Można znaleźć video na Discovery oraz YouTube:
http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=6mtM8R7KWyYView Case Studies >>

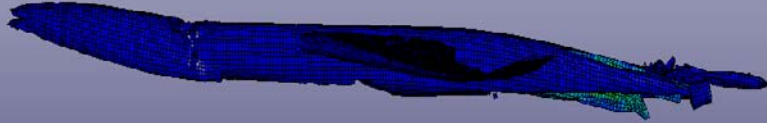


Rozpad Samolotu na Skutek Uderzenia w Ziemię w Pozycji do Góry Kolami

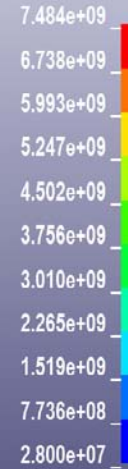
LS-DYNA keyword deck by LS-PrePost

Time = 0.5

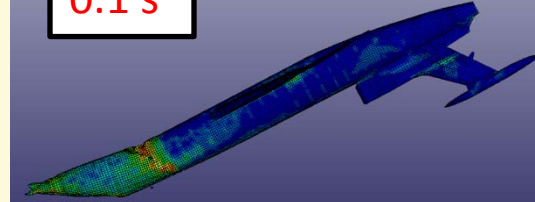
0.5 s



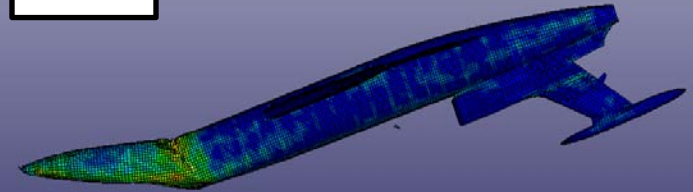
Fringe Levels



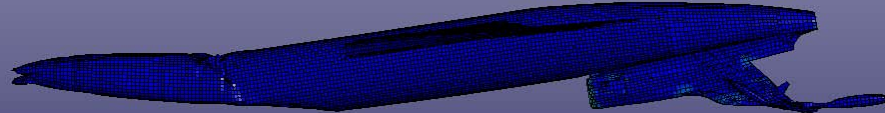
0.1 s



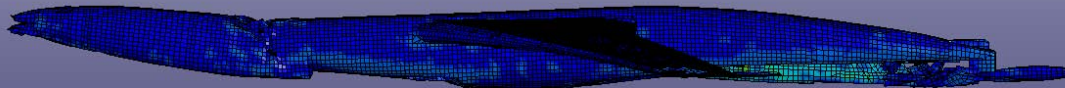
0.2 s



0.3 s



0.4 s



Przykład Katastrofy - Kirgizstan



Nie było wybuchu, wylądował do góry kołami, wszyscy przeżyli, 31 rannych.

Przykład Katastrofy Samolotu TU-154 z Grudnia 2010 roku



Tupolev Tu-154 passenger plane belonging to Dagestan Airlines, as it crashes at Domodedovo airport in Russia
Photograph: AFP/Getty Images

**Nie było wybuchu, rozłamał się przy lądowaniu
w lesie, wszyscy przeżyli, 83 rannych.**

Katastrofa Tu-154M w Smoleńsku 10 Kwietnia 2010



Samolot rozpadł się w powietrzu, wszyscy zginęli





Wnioski Końcowe

- Lewe skrzydło nie mogło urwać się w wyniku uderzenia w brzozę.
- Brak krateru i duże wrakowisko świadczy o rozpadzie samolotu w powietrzu.
- Otwarcie ścian kadłuba na zewnątrz świadczy o wybuchu w kadłubie.
- Gdyby nie było wybuchu, tylna część kadłuba oraz prawe skrzydło powinno być w całości.
- Gdyby nie było wybuchu, większość pasażerów powinna przeżyć w środkowej i tylnej części samolotu.
- Przyspieszenia uderzenia samolotu w ziemi nie są większe od 25G.
- Stwierdzenie w raporcie MAK, że pasażerowie zginęli w wyniku przeciążeń 100G potwierdzają wybuch w kadłubie samolotu.