

# Počítačové simulácie v procese vývoja automatickej práčky

Maroš Bohunčák  
SvF STU  
13.4.2013

# Obsah

- Typy práčiek
- SBD, Typy simulácií
- Základné princípy výpočtových softvérov
  - FEA
  - Lineárna statika
  - Nelineárna statika
  - Dynamická analýza
  - Optimalizačné metódy
- Altair Hyperworks, Ansys, LS-Dyna, LS PrePost, Msc Adams
- Problém 1 – Simulácia pádovej skúšky AP
- Problém 2 – Optimalizácia tvaru prelisov a simulácia tvárnenia bočnice AP

## Typy práčiek

Horizontálna os otáčania bubna:

Zvrchu plnená práčka



Spredu plnená práčka



## Typy práčiek

Vertikálna os otáčania bubna:



## SBD, Typy simulácií

- SBD (Simulation Based Design) – Analytický proces, ktorý využíva počítačové simulácie pri navrhovaní, overovaní a optimalizácii dizajnu produktu/komponentu

### Výhody:

- Predikcia správania sa navrhovaného komponentu ešte pred zostavením a testovaním reálneho prototypu
- Možnosť vyhodnotenia a overenia veľkého množstva dizajnov už na začiatku vývojového cyklu komponentu
- Zníženie časových a finančných nákladov na výrobu prototypov

### Predikcia pomocou SBD:

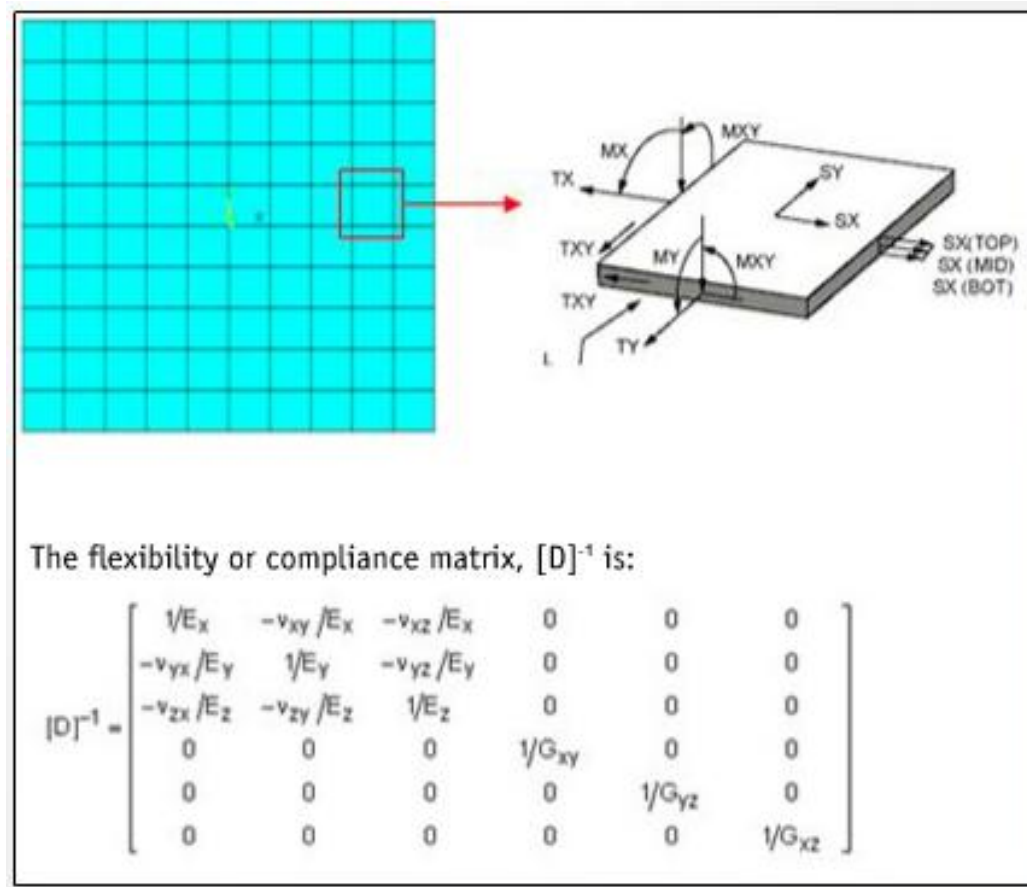
- Deformácie, distribúcia napätia, únava a lomy, vibrácie a hluk, teplota, tepelný tok, tok tekutín, spalovanie, optimalizácia tvaru...

## SBD, Typy simulácií

- Relatívne jednoduché a rýchle „ručné“ výpočty
- Komplexné simulácie poskytujúce detailné odpovede napríklad na otázky ohľadom tuhosti, resp. vplyvu materiálových vlastností na správanie sa komponentu
  - Finite element analysis (štrukturálne, distrib. teploty, vibrácie, vstrekovanie, pádové simulácie)
  - Computational fluid dynamics (tepelný tok, spalovanie, tok tekutín)
  - Multi-body dynamics (simulácie pohybujúcich sa častí)

## Základné princípy výpočtových softvérov

- FEA (Finite Element Analysis) – Matematická technika, ktorá používa PDR na simulovanie geometrie, materiálových vlastností a zaťaženia reálneho fyzikálneho systému



# Základné princípy výpočtových softvérov

## Štruktúrálna FEA

- Pomocou štruktúrálnej FEA môžeme analyzovať:
  - Tuhosť a pevnosť
  - Deformácie (ohyb, krútenie, vzper...)
  - Distribúciu napätí a posunutia

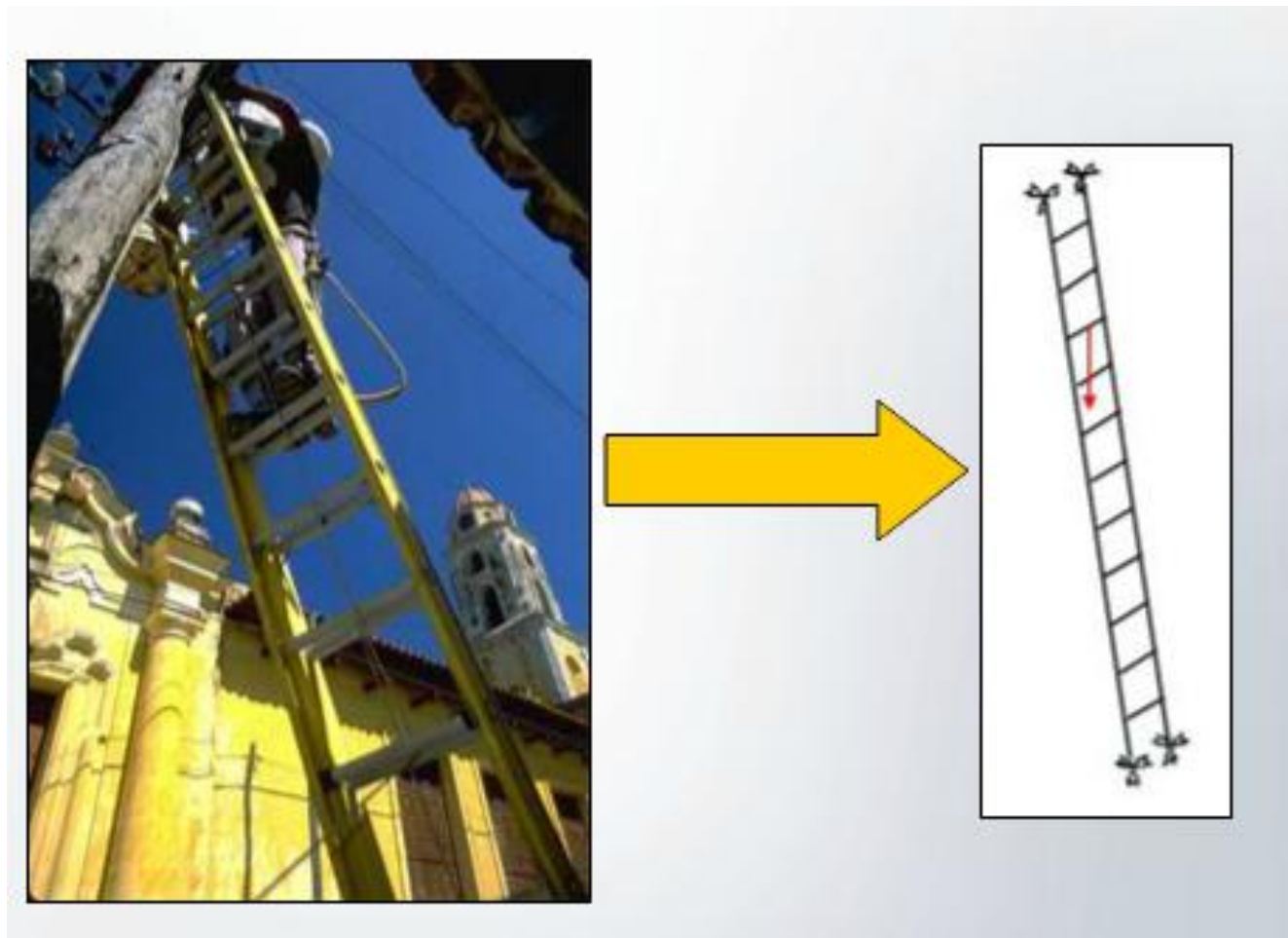


# Základné princípy výpočtových softvérov

## Aproximácia reality

Ako dobre FEA aproximuje realitu závisí od:

- Typ simulácie
- Simulačná technika
- Vstupné dáta
- Jemnosť siete
- Intuícia analytika



# Základné princípy výpočtových softvérov

## Vhodné a nevhodné použitie FEA



- Určenie citlivosti parametrov dizajnu
- Predpovedanie napätí a deformácií alebo distribúcie teploty
- Optimalizácia dizajnu (redukcia hmotnosti a množstva použitého materiálu pri zachovaní resp. zvýšení tuhosti)



- Snaha reprezentovať namerané dáta presne
- Vyrábať pekné obrázky...

# Základné princípy výpočtových softvérov

## Výhody FEA

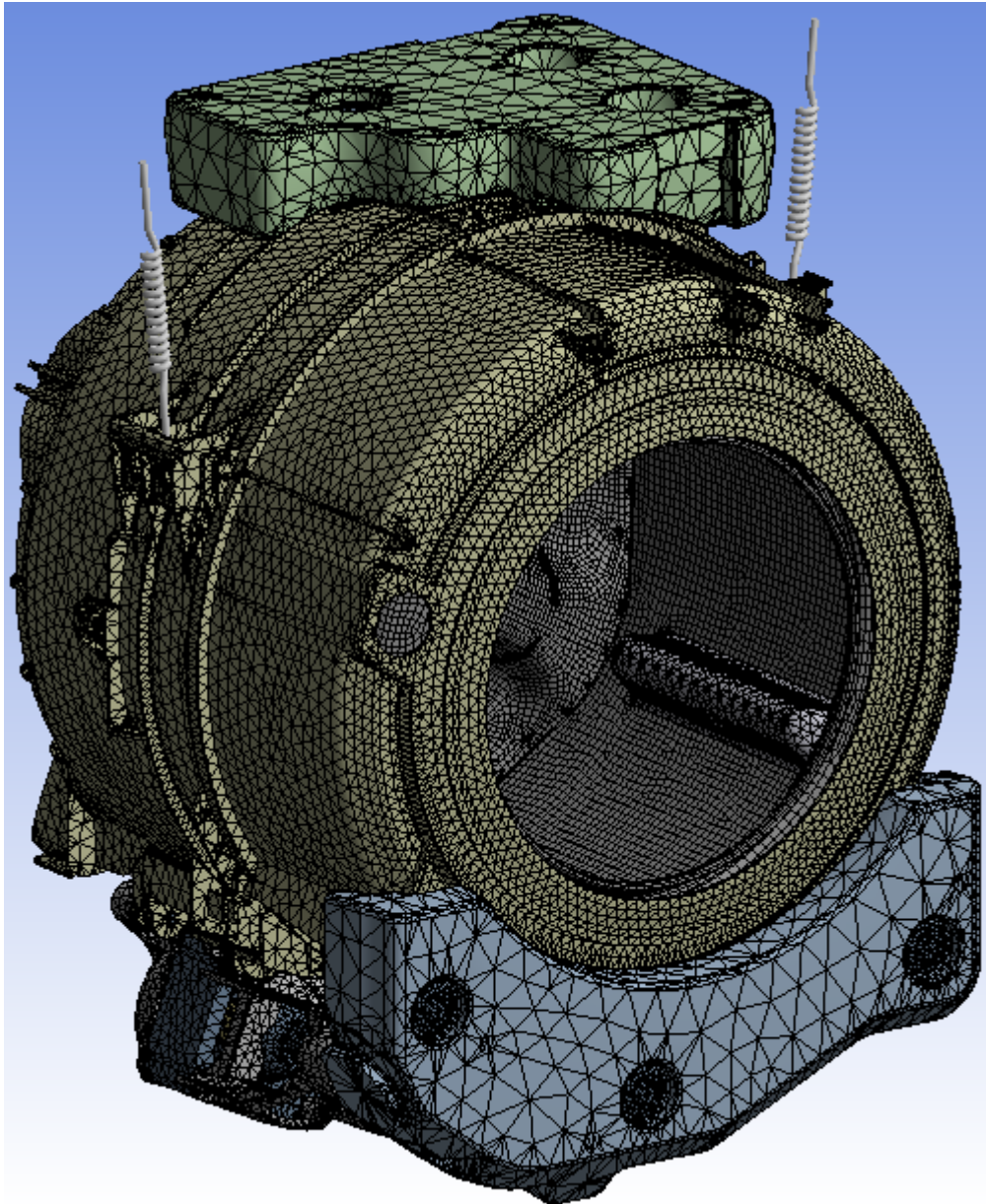
- Zvyšuje produktivitu, znižuje náklady, šetrí čas, skracuje vývojový cyklus, vytvára spoľahlivejšie dizajny
- Redukuje náklady na prototypovanie
- Simuluje ťažko výrobitelné prototypy
- Poskytuje detailnejší pohľad na dôležité parametre

# Základné princípy výpočtových softvérov

## Postup FEA

- Pre-processing
- Solving
- Post-processing

# Základné princípy výpočtových softvérov



BLOCK LANCZOS CALCULATION OF UP TO 20 EIGENVECTORS.

|                      |   |             |
|----------------------|---|-------------|
| NUMBER OF EQUATIONS  | = | 3602820     |
| MAXIMUM WAVEFRONT    | = | 10986       |
| MAXIMUM MODES STORED | = | 20          |
| MINIMUM EIGENVALUE   | = | 0.00000E+00 |
| MAXIMUM EIGENVALUE   | = | 0.10000E+31 |

|   |              |
|---|--------------|
| Memory allocated for solver =             | 7070.203 MB  |
| Memory required for in-core =             | 30541.493 MB |
| Optimal memory required for out-of-core = | 3257.631 MB  |

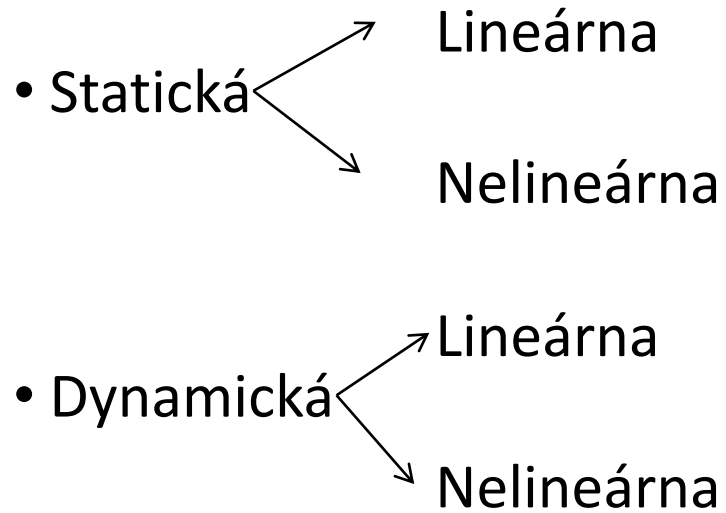
Minimum memory required for out-of-core = 2213.859 MB

**No. of nodes: 1239223**

**No. of elements: 719520**

# Základné princípy výpočtových softvérov

## Typy analýz



# Základné princípy výpočtových softvérov

## Typy analýz (pokračovanie)

### Statická analýza

- Zaťaženie sa nemení v čase
- Kvázy statická - ak sa zaťaženie mení veľmi pomaly a zotrvačné vlastnosti sú zanedbateľné
- Ak je to potrebné je možné zahrnúť nelineárne efekty


Static Analysis Equation

Inertia Portion

Damping Portion

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\}$$

0 0 Constant


$$[K]\{u\} = [F]$$

The general equation of motion is simplified for the static condition.

# Základné princípy výpočtových softvérov

## Typy analýz (pokračovanie)

### Dynamická analýza

- Zohľadňuje hustotu
- Ak je to potrebné je možné zahrnúť nelineárne efekty
- Explicitné výpočty

Dynamic Analysis Equation

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\}$$

The general equation of motion applies fully.

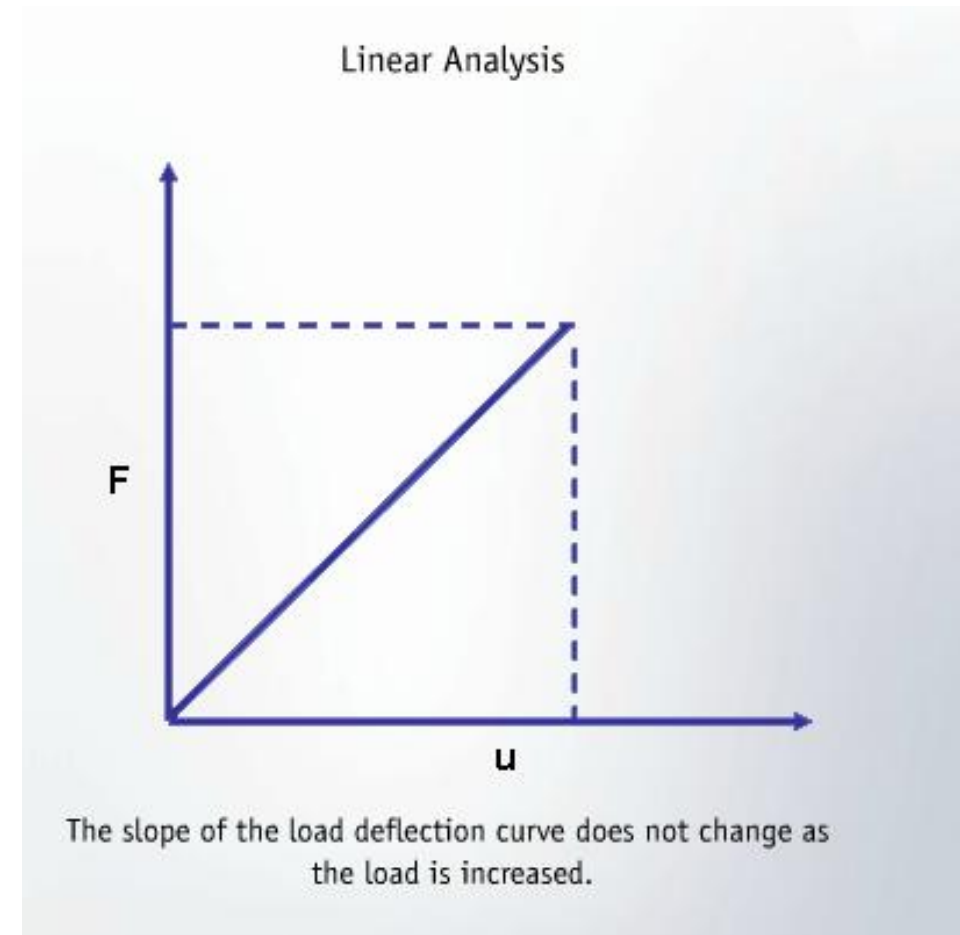


# Základné princípy výpočtových softvérov

## Typy analýz (pokračovanie)

### Lineárna analýza

- Ak sa vstupné dáta zdvojnásobia, zdvojnásobia sa aj výstupné dáta
- Deformovaný stav môže byť aproximovaný nedeformovaným
- Nezáleží na poradí aplikovania zaťažení
- Časovo nenáročná

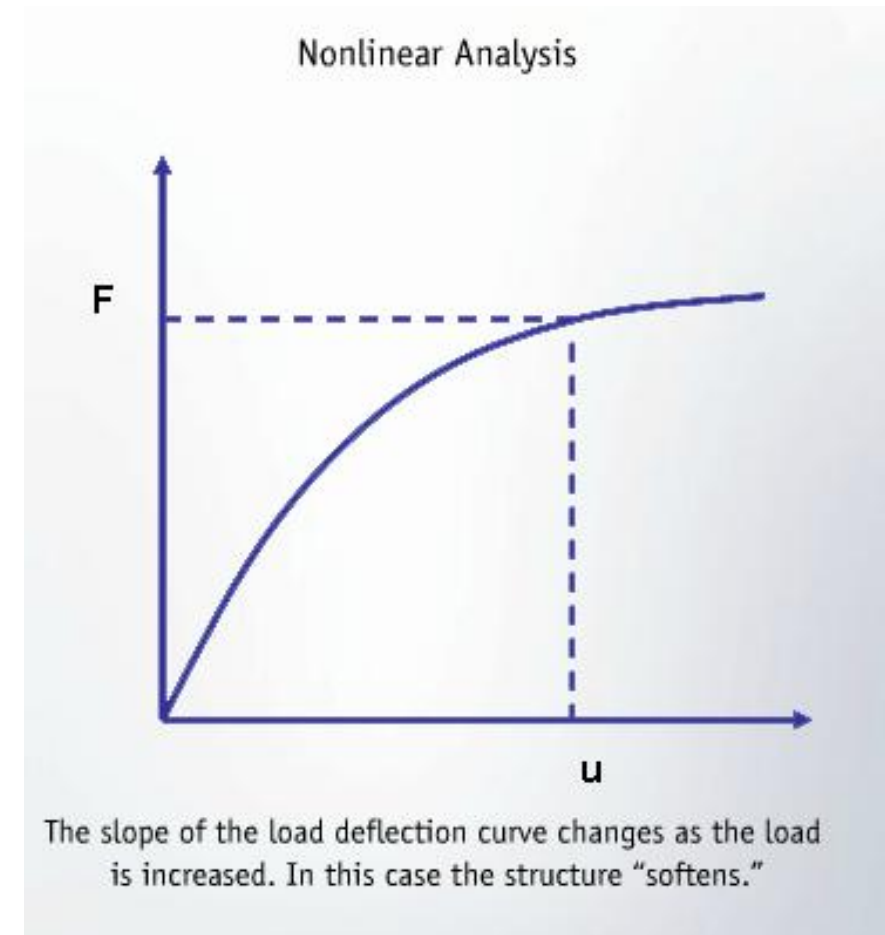


# Základné princípy výpočtových softvérov

## Typy analýz (pokračovanie)

### Nelineárna analýza

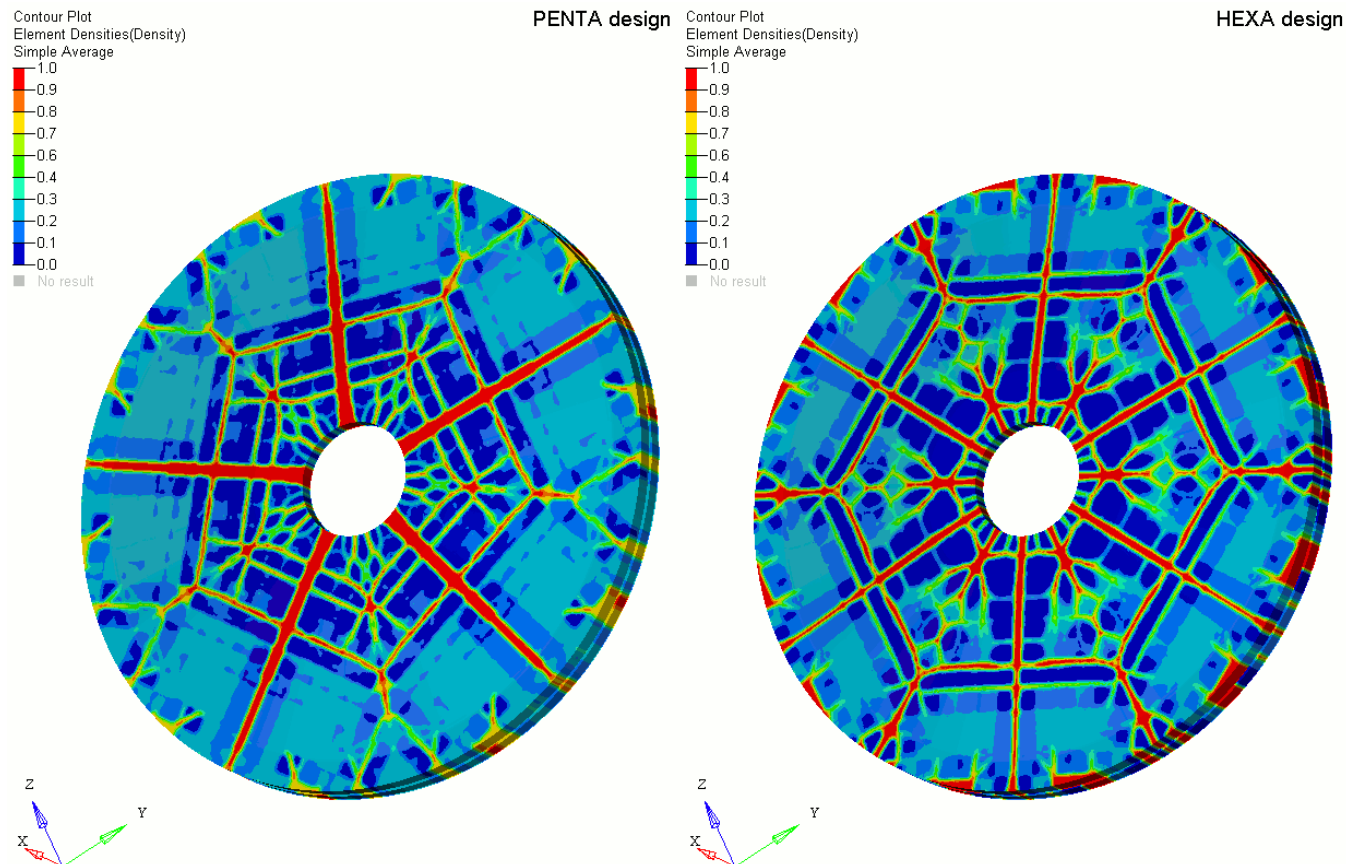
- Ak sa vstupné dáta zdvojnásobia, výstupné dáta nemusia byť dvojnásobné
- Vzťah medzi zaťažením a odozvou nie je dopredu známy
- Poradie aplikovania zaťažení môže byť dôležité
- Iteračný proces



# Základné princípy výpočtových softvérov

## Optimalizačné metódy

- Topologická optimalizácia – optimalizácia rebrovej štruktúry remenice



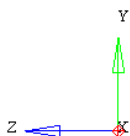
# Základné princípy výpočtových softvérov

## Optimalizačné metódy

- Topologická optimalizácia – optimalizácia rebrovej štruktúry remenice
- Topografická optimalizácia – optimalizácia tvaru prelisov bočnice

Contour Plot  
Shape Change(Mag)  
Analysis system  
3.000E+00  
2.667E+00  
2.333E+00  
2.000E+00  
1.667E+00  
1.333E+00  
1.000E+00  
6.667E-01  
3.333E-01  
0.000E+00  
■ No result  
Max = 3.000E+00  
Grids 641177  
Min = 0.000E+00  
Grids 634498

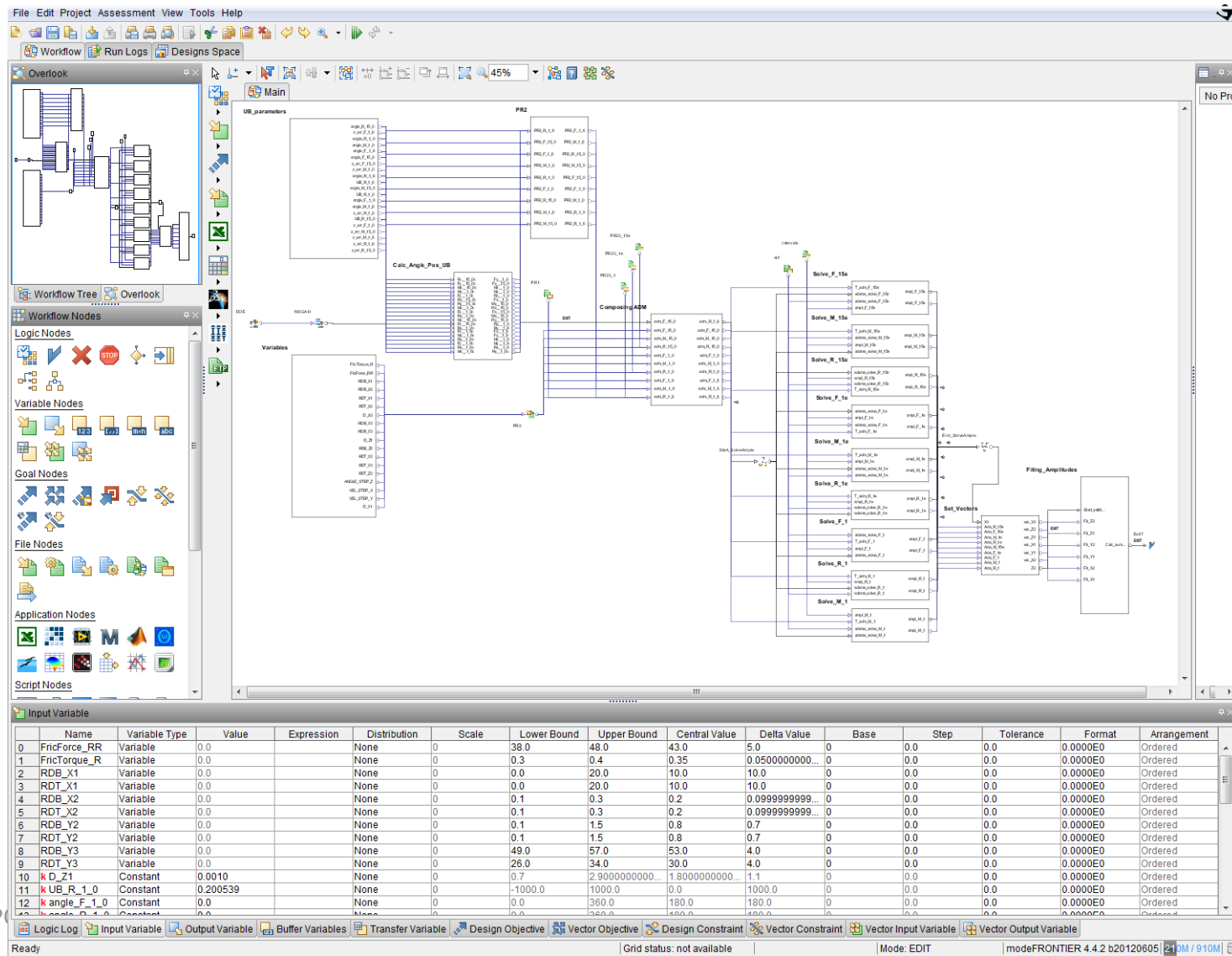
Model info: D:\temp\Svf\_130413\examples\panel\_des.h3d  
Result: D:\temp\Svf\_130413\examples\panel\_des.h3d  
Design : Iteration 0  
Frame 1



# Základné princípy výpočtových softvérov

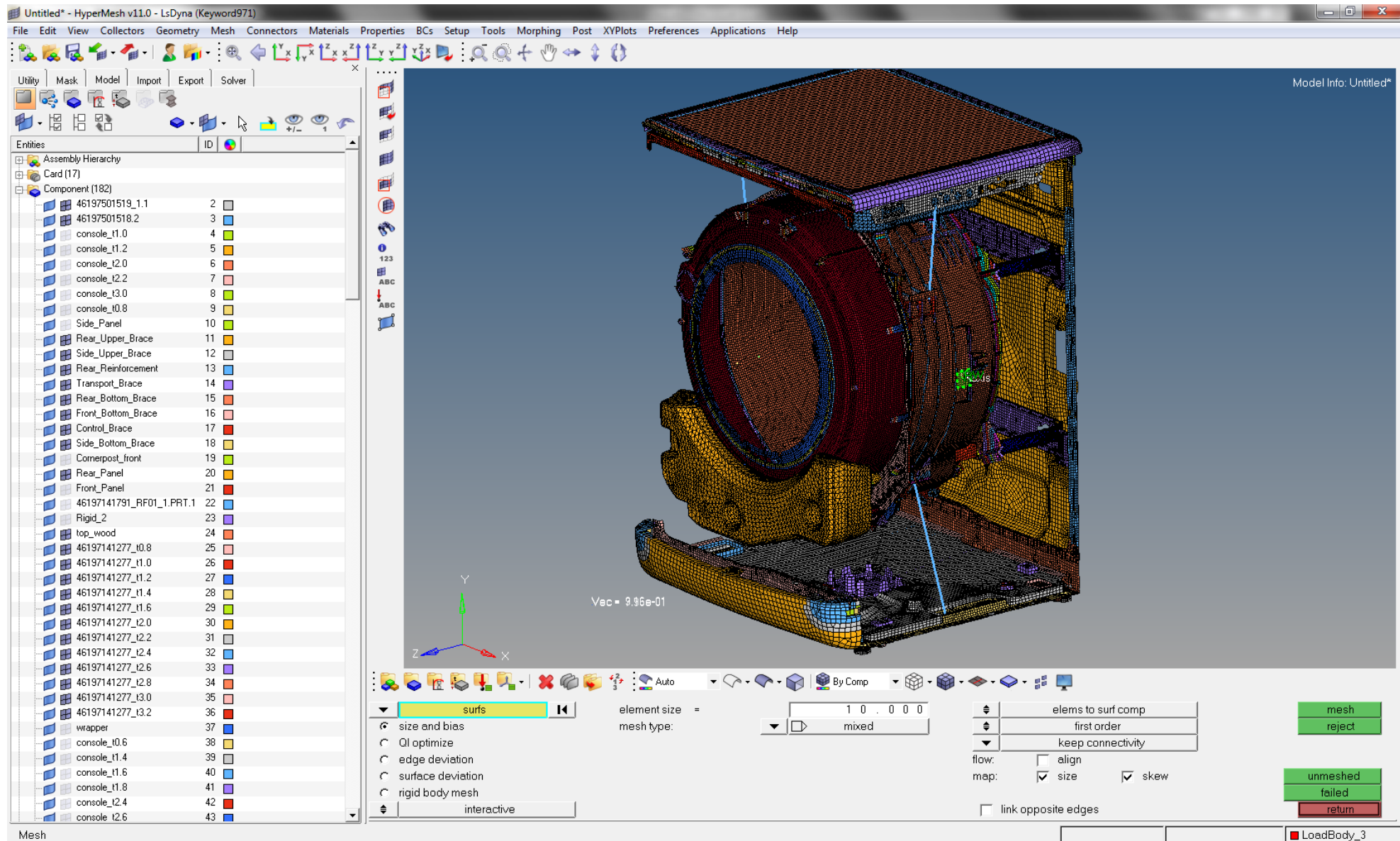
## Optimalizačné metódy

- modeFrontier – optimalizácia parametrov matem. modelu tlmičov



# Altair HyperWorks, Ansys, LS-PrePost, LS-Dyna, Msc Adams

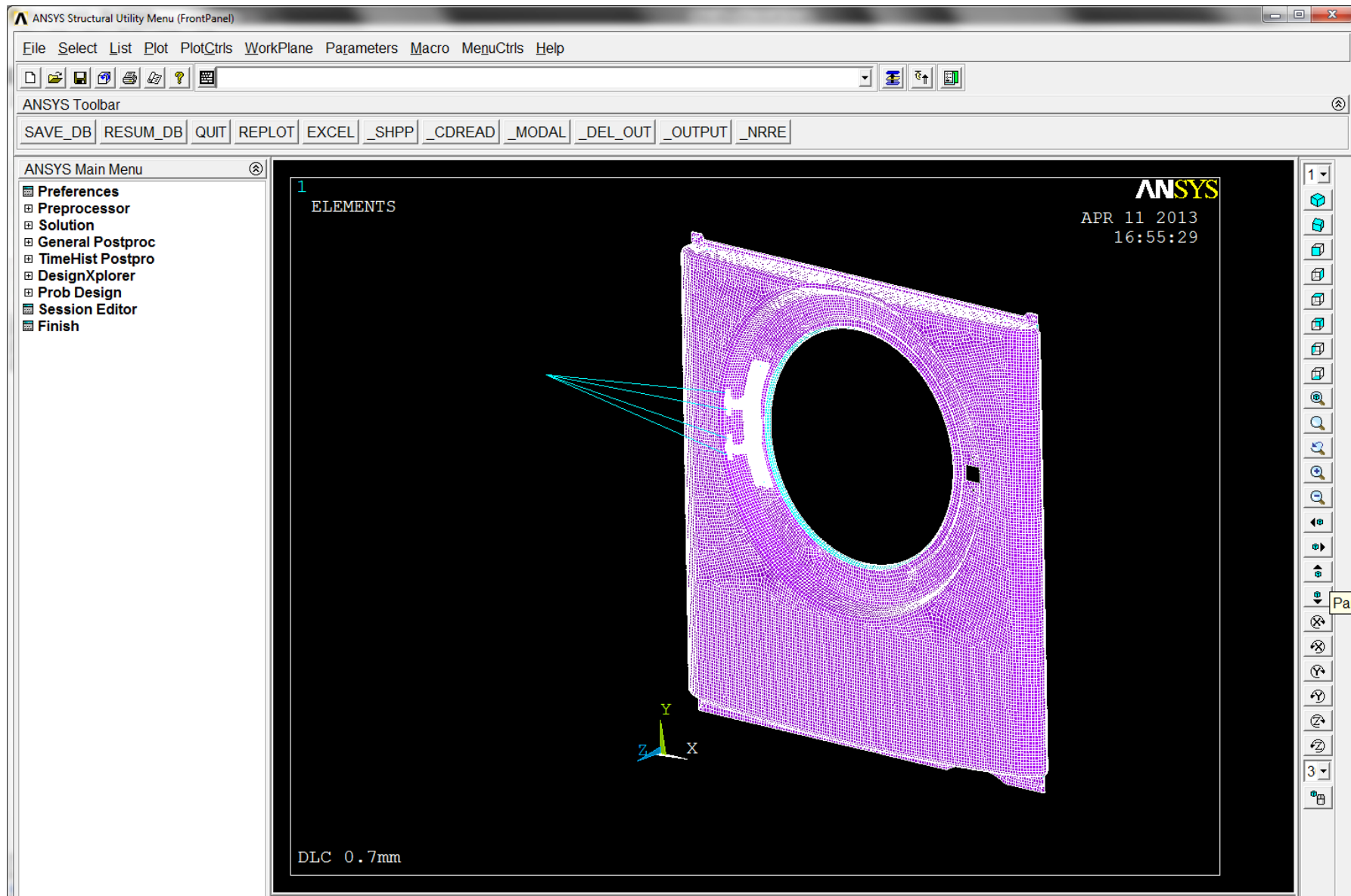
- HyperMesh, HyperView, HyperGraph, OptiStruct





# Altair HyperWorks, Ansys, LS-PrePost, LS-Dyna, Msc Adams

- Ansys classic



# Altair HyperWorks, Ansys, LS-PrePost, LS-Dyna, Msc Adams

## • Ansys Workbench

**Brace\_current - Workbench**

File Edit View Tools Units Help

New Open... Save Save As... Import... Reconnect Refresh Project Update Project Project Compact Mode

**Toolbox**

- Analysis Systems
  - Design Assessment
  - Harmonic Response
  - Linear Buckling
  - Model
  - Random Vibration
  - Response Spectrum
  - Rigid Dynamics
  - Shape Optimization (Beta)
  - Static Structural
  - Steady-State Thermal
  - Thermal-Electric
  - Transient Structural
  - Transient Thermal
- Component Systems
- Custom Systems
- Design Exploration

**Project Schematic**

Outline of Schematic P5: Setup

Properties of Schematic P5: Setup

|   | A                  | B                 |
|---|--------------------|-------------------|
| 1 | Property           | Value             |
| 2 | General            |                   |
| 3 | Component ID       | Setup 7           |
| 4 | Directory Name     | SYS-8             |
| 5 | System Information |                   |
| 6 | Physics            | Structural        |
| 7 | Analysis           | Static Structural |
| 8 | Solver             | Mechanical APDL   |

**Messages**

|   | A             | B   | C           | D                    |
|---|---------------|---|-------------|----------------------|
| 1 | Type          | Text  | Association | Date/Time            |
| 2 | Informational | ANSYS news messages could not be loaded because no external internet connection was found.<br><a href="http://www.ansys.com/rss/ansys-news.rss">http://www.ansys.com/rss/ansys-news.rss</a> |             | 11. 4. 2013 11:38:23 |
| 3 | Error!        | Unable to view geometry. Unable to get model.   |             | 22. 3. 2013 17:17:25 |
| 4 | Warning!      | Unable to obtain linked environment IDs. Unable to get model.   |             | 22. 3. 2013 17:17:24 |
| 5 | Warning!      | Unable to set generate input file. Unable to get environment.   |             | 22. 3. 2013 17:17:24 |
| 6 | Error!        | Unable to view qeometry. Unable to get model.   |             | 22. 3. 2013 17:17:03 |

**Progress**

|   | A      | B       | C        |
|---|--------|---------|----------|
| 1 | Status | Details | Progress |

View All / Customize...

Starting Mechanical...

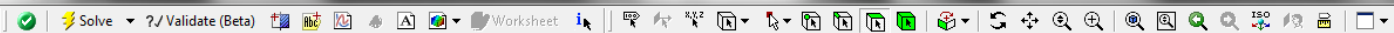

Hide Progress Hide 33 Messages



# Altair HyperWorks, Ansys, LS-PrePost, LS-Dyna, Msc Adams

## • Mechanical

**I: Bosch R8 - Mechanical [ANSYS Structural]**

File Edit View Units Tools Help |  | Worksheet |  | Show Mesh | Show Coordinate Systems

Model | Construction Geometry | Virtual Topology | Symmetry | Remote Point | Connections | Mesh Numbering | Solution Combination | Named Selection

Outline

- Project
  - Model (I4)
    - Geometry
    - Virtual Topology
    - Coordinate Systems
    - Connections
    - Mesh
  - Static Structural (I5)
    - Analysis Settings
    - Fixed Support
    - Fixed Support 2
    - Force
    - Remote Displacement
  - Solution (I6)
    - Solution Information
    - Equivalent Stress
    - Total Deformation

Details of "Model (H4)"

Filter Options

Control Enabled

Lighting

Ambient 0.1

Diffuse 0.6

Specular 1

Color

**ANSYS 14.0**

0.00 35.00 70.00 (mm)

17.50 52.50

Geometry | Print Preview | Report Preview

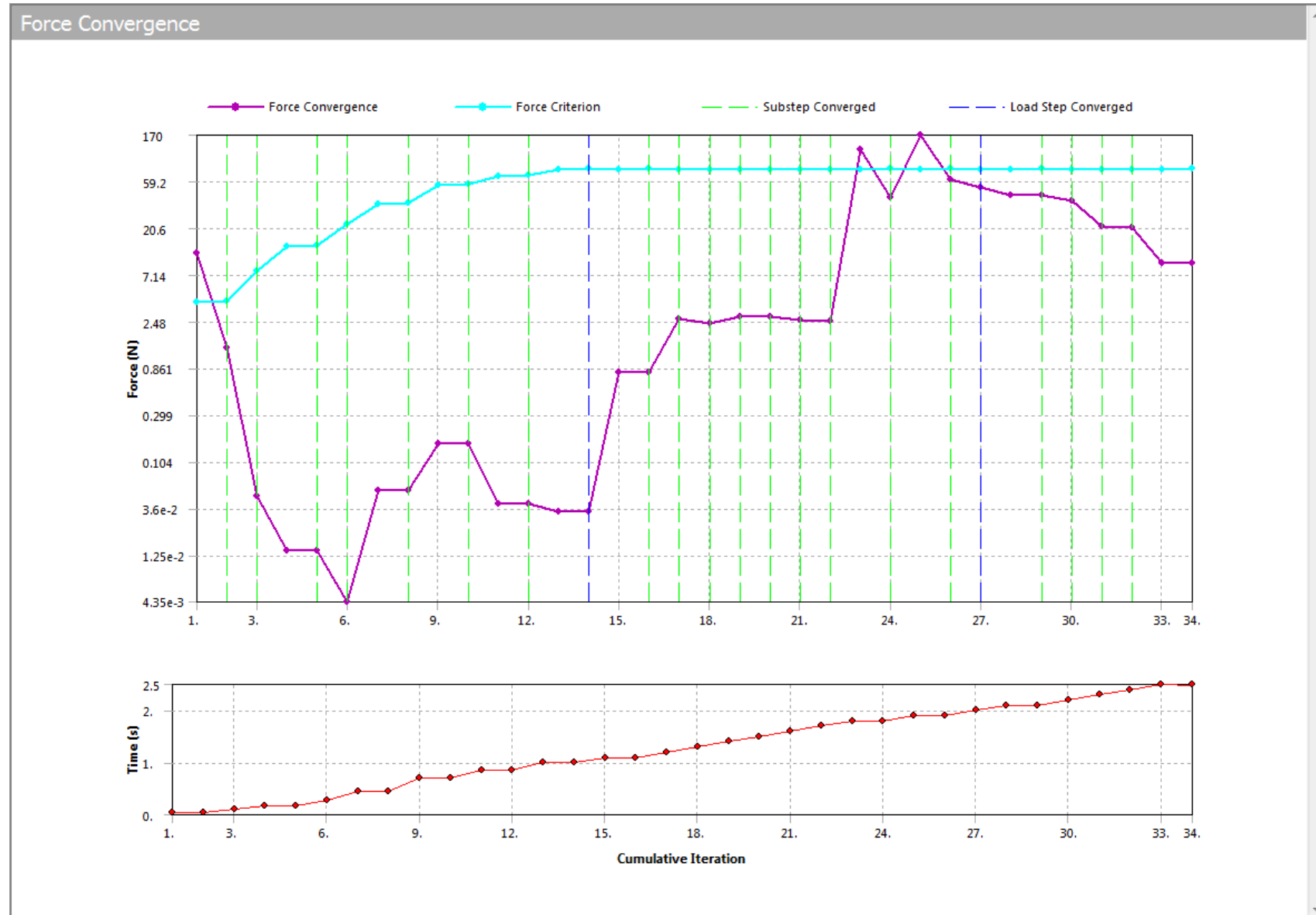
Messages

| Text   | Association                                   | Timestamp            |
|--|---|----------------------|
| Error A geometry selection is required   | Project>Model>Virtual Topology>Virtual Face 2 | 1/25/2013 8:39:06 AM |
| Error A geometry selection is required   | Project>Model>Virtual Topology>Virtual Face   | 1/25/2013 8:39:06 AM |
| Warning One or more contact regions may not be in initial contact. Check results carefully. Ref: | Project>Model>Static Structural>Solution      | 1/25/2013 8:39:05 AM |
| Warning An iterative solver was used for this model. However, a direct solver may enhance perf:  | Project>Model>Static Structural>Solution      | 1/25/2013 8:39:05 AM |
| Warning One or more bodies may be underconstrained and experiencing rigid body motion. We        | Project>Model>Static Structural>Solution      | 1/25/2013 8:39:05 AM |

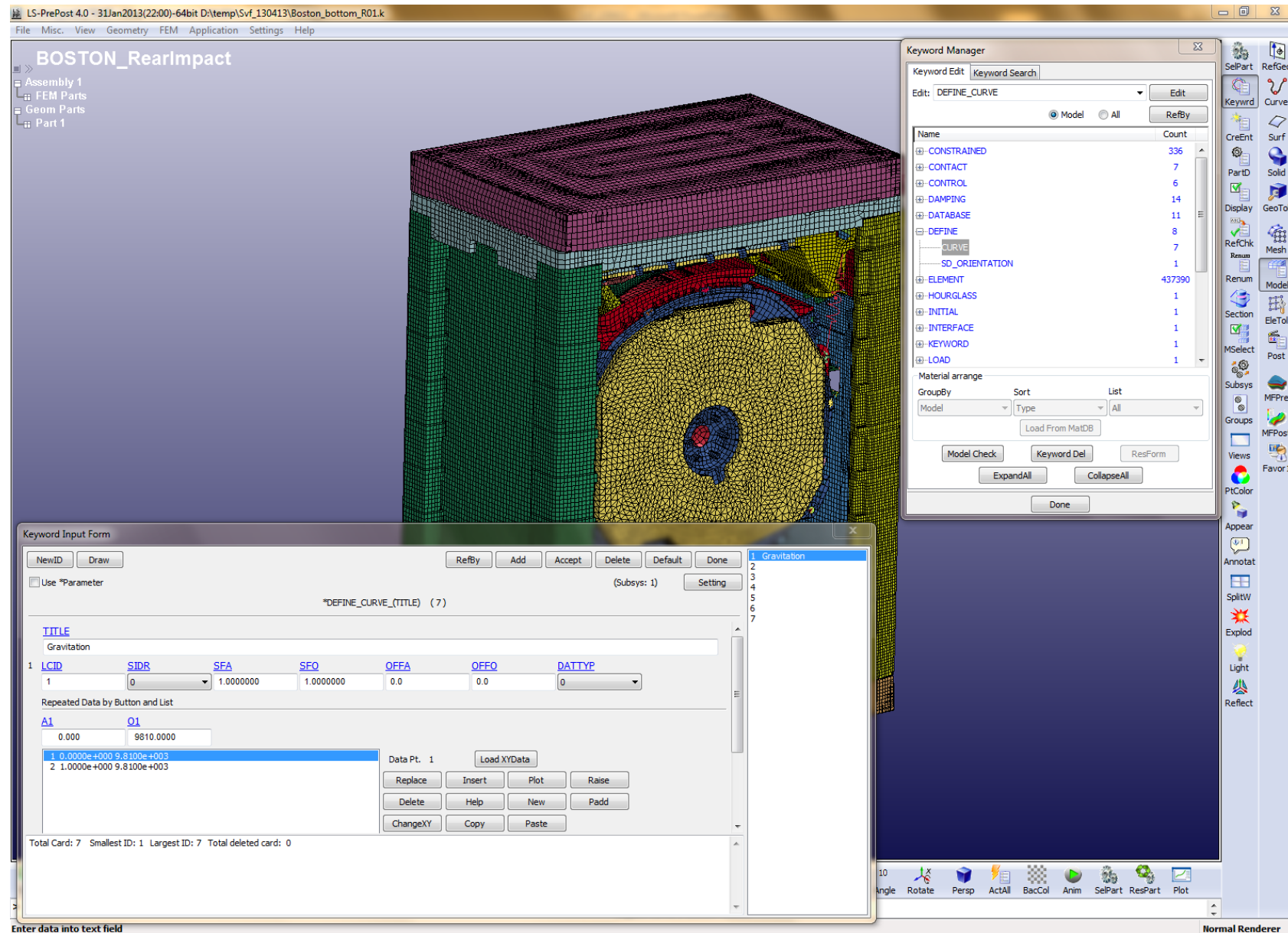
Press F1 for Help | 5 Messages | No Selection | Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees RPM Celsius

# Altair HyperWorks, Ansys, LS-PrePost, LS-Dyna, Msc Adams

- Mechanical



# Altair HyperWorks, Ansys, LS-PrePost, LS-Dyna, Msc Adams



# Altair HyperWorks, Ansys, LS-PrePost, LS-Dyna, Msc Adams

```

C:\Windows\system32\cmd.exe

initialization completed

calculation with mass scaling for minimum dt
  added mass      = 5.9464E-06
  physical mass   = 5.4088E-02
  ratio           = 1.0994E-04

dt of cycle      1 is controlled by shell      element 453699

time..... 0.00000E+00
time step..... 2.07000E-07
kinetic energy..... 1.26886E+05
internal energy..... 2.90680E+03
stonewall energy..... 0.00000E+00 wall# 1
spring and damper energy..... 2.90680E+03
hourglass energy..... 0.00000E+00
system damping energy..... 0.00000E+00
sliding interface energy..... 0.00000E+00
external work..... 0.00000E+00
eroded kinetic energy..... 0.00000E+00
eroded internal energy..... 0.00000E+00
eroded hourglass energy..... 0.00000E+00
total energy..... 1.29792E+05
total energy / initial energy.. 1.00000E+00
energy ratio w/o eroded energy.. 1.00000E+00
global x velocity..... 0.00000E+00
global y velocity..... -2.11893E+03
global z velocity..... 0.00000E+00

number of shell elements that
reached the minimum time step.. 0
  1 t 0.00000E+00 dt 2.07E-07 flush i/o buffers      04/11/13 16:23:49
  1 t 0.00000E+00 dt 2.07E-07 write d3plot file      04/11/13 16:23:49

cpu time per zone cycle..... 2286 nanoseconds
average cpu time per zone cycle... 623 nanoseconds
average clock time per zone cycle.. 470 nanoseconds

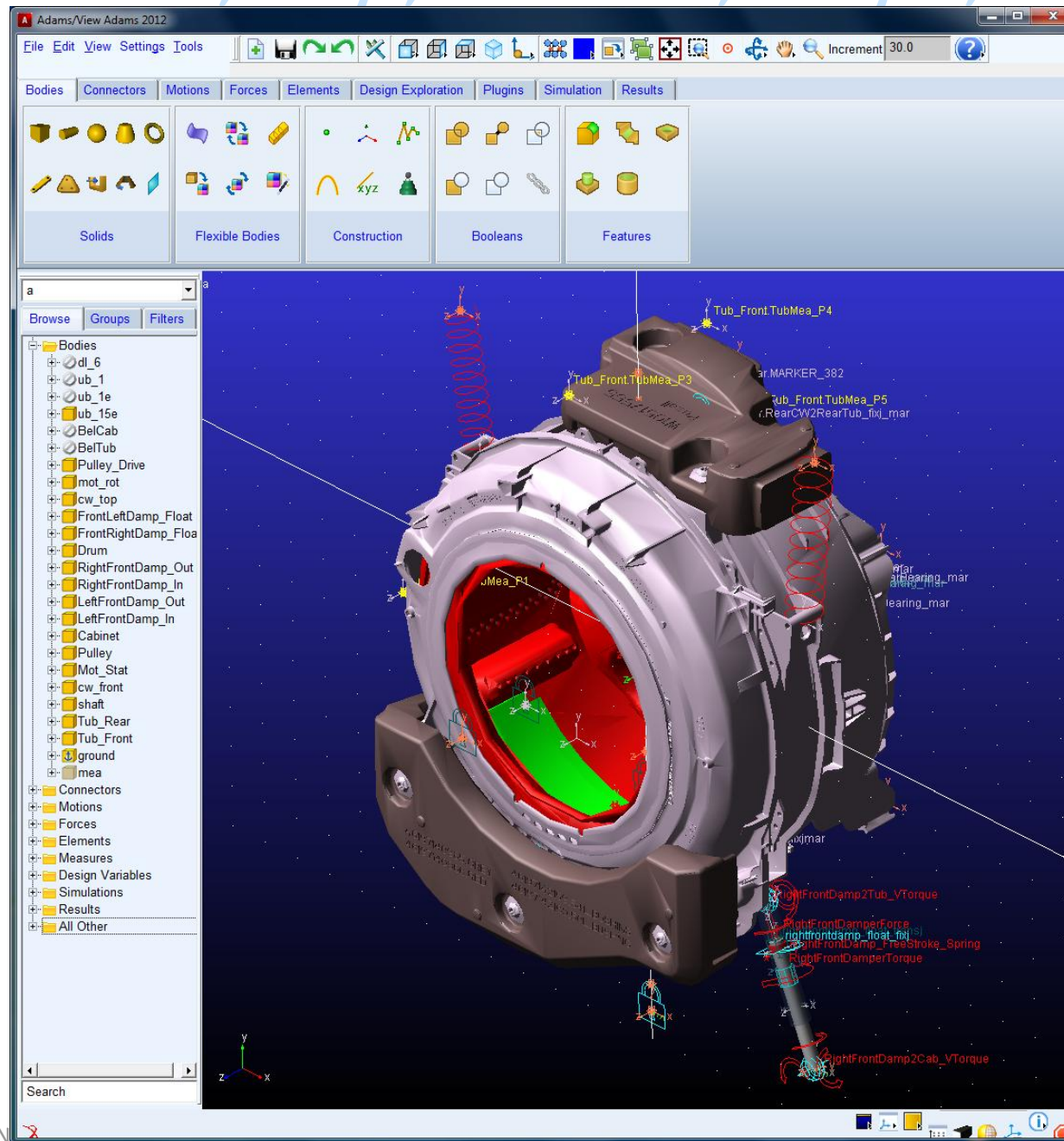
estimated total cpu time      = 65904 sec < 18 hrs 18 mins>
estimated cpu time to complete = 65873 sec < 18 hrs 17 mins>
estimated total clock time    = 49698 sec < 13 hrs 48 mins>
estimated clock time to complete = 49668 sec < 13 hrs 47 mins>

added mass      = 5.9464E-06
percentage increase = 1.0994E-02

  2416 t 4.9990E-04 dt 2.07E-07 write d3plot file      04/11/13 16:29:28
  4831 t 9.9981E-04 dt 2.07E-07 write d3plot file      04/11/13 16:35:21
  5000 t 1.0348E-03 dt 2.07E-07 flush i/o buffers      04/11/13 16:35:46
  7247 t 1.4999E-03 dt 2.07E-07 write d3plot file      04/11/13 16:41:14
  9662 t 1.9998E-03 dt 2.07E-07 write d3plot file      04/11/13 16:47:05
 10000 t 2.0698E-03 dt 2.07E-07 flush i/o buffers      04/11/13 16:47:55

```

# Altair HyperWorks, Ansys, LS-PrePost, LS-Dyna, Msc Adams



# Problém 1 – Simulácia pádovej skúšky AP

## Problém 2 – Optimalizácia tvaru prelisov a simulácia tvárnenia



**Ďakujem za pozornosť!**