



Kalibrace strukturálního modelu baterie

Marie Jandoušová

SVS FEM



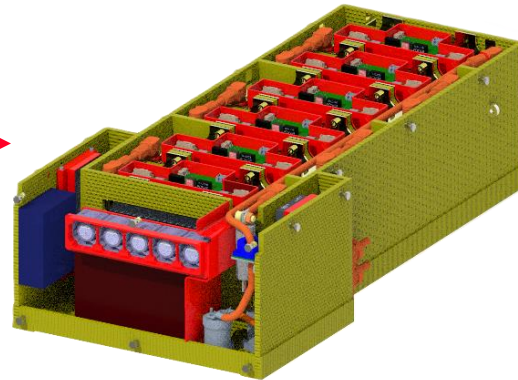
Motivace

...aneb na co nám model baterie vůbec je?





- Pravidla soutěže Formula Student vyžadují napěťové analýzy pro kritické komponenty
- Pytlíkové články jsou náchylné k mechanickému poškození
- Limity pro strukturální selhání baterií nejsou uvedeny v technických listech



▪ Je bezpečný rám/monokok?



▪ Je bezpečný také battery pack?



▪ A co vůbec samotný článek?





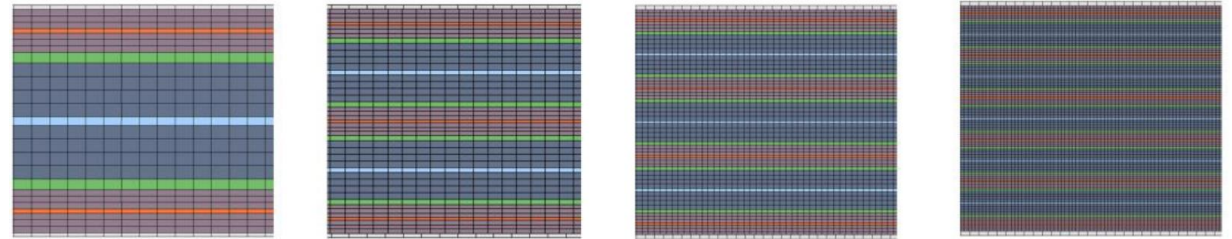
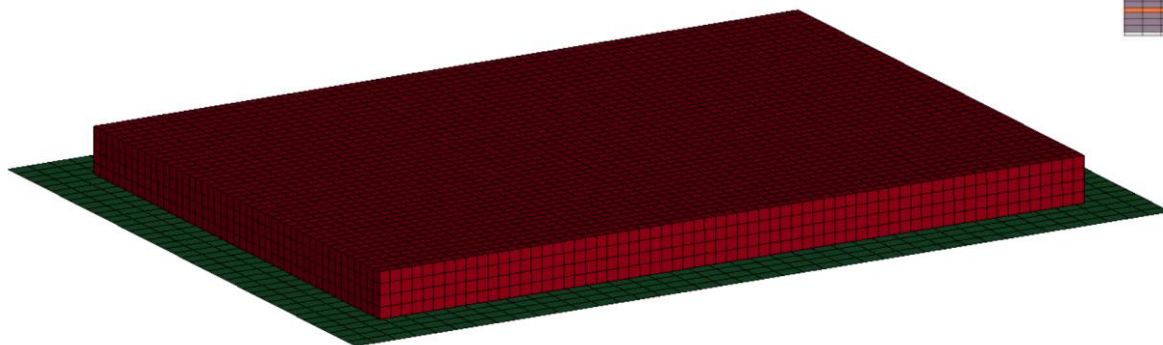
Přístupy k modelování článků

■ HOMOGENIZOVANÝ MODEL

- Globální chování celého článku
- Isotropní/ortotropní
- Žádné interakce mezi vrstvami
- Zkrat vyhodnocován na základě celkové deformace
- Rychlejší a jednodušší přístup

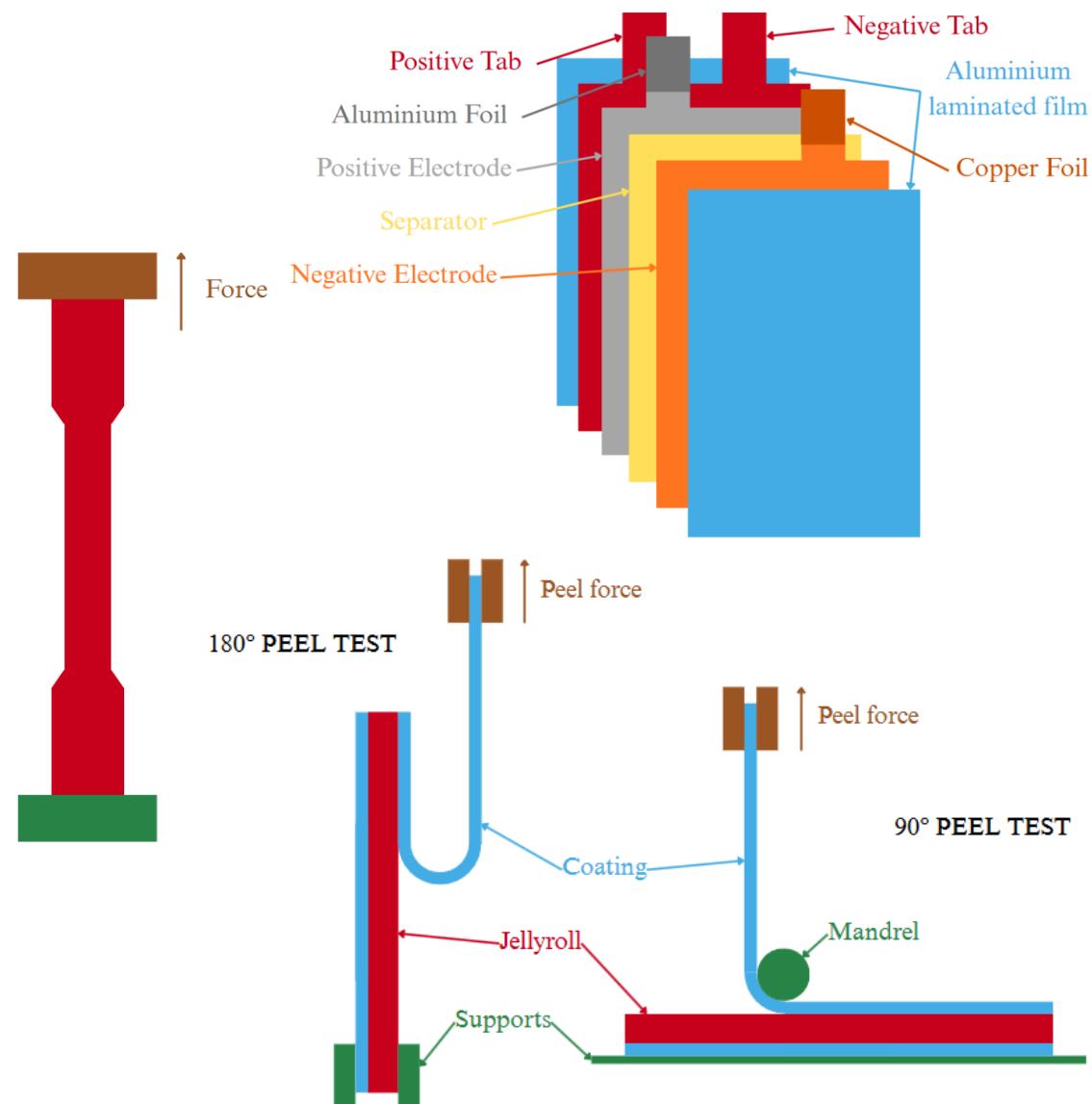
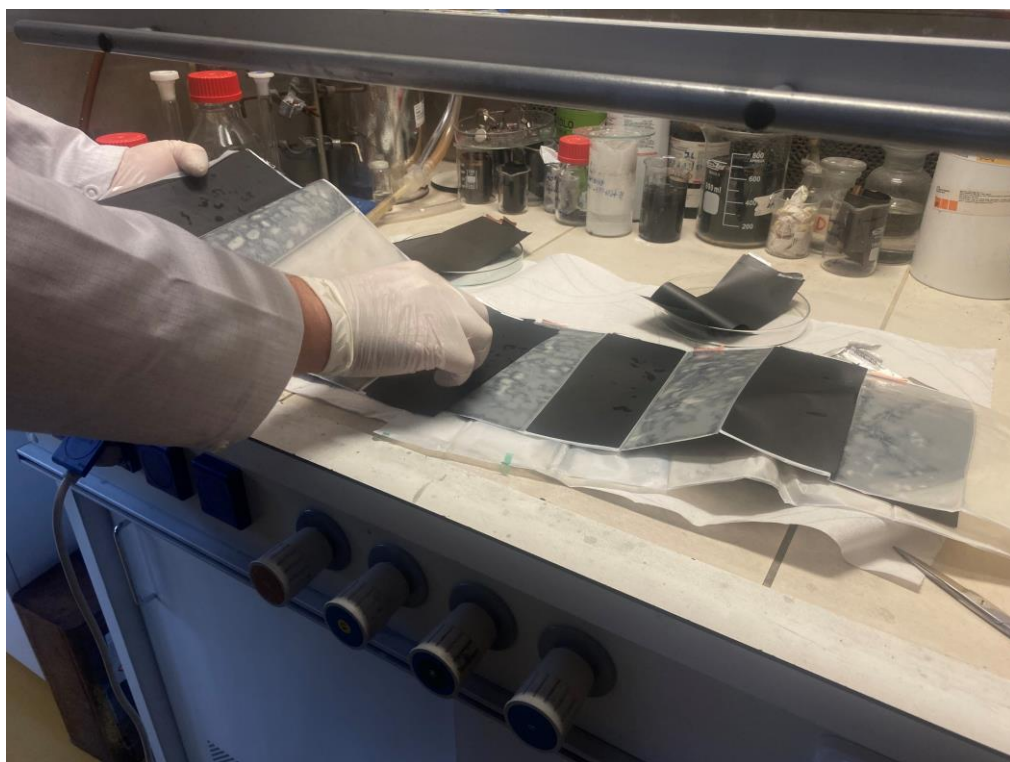
■ VRSTVENÝ MODEL

- Každá vrstva modelována zvlášť
- Anisotropní
- Adheze/delaminace/tření
- Selhání ve specifické vrstvě
- Přesnější ale komplexnější

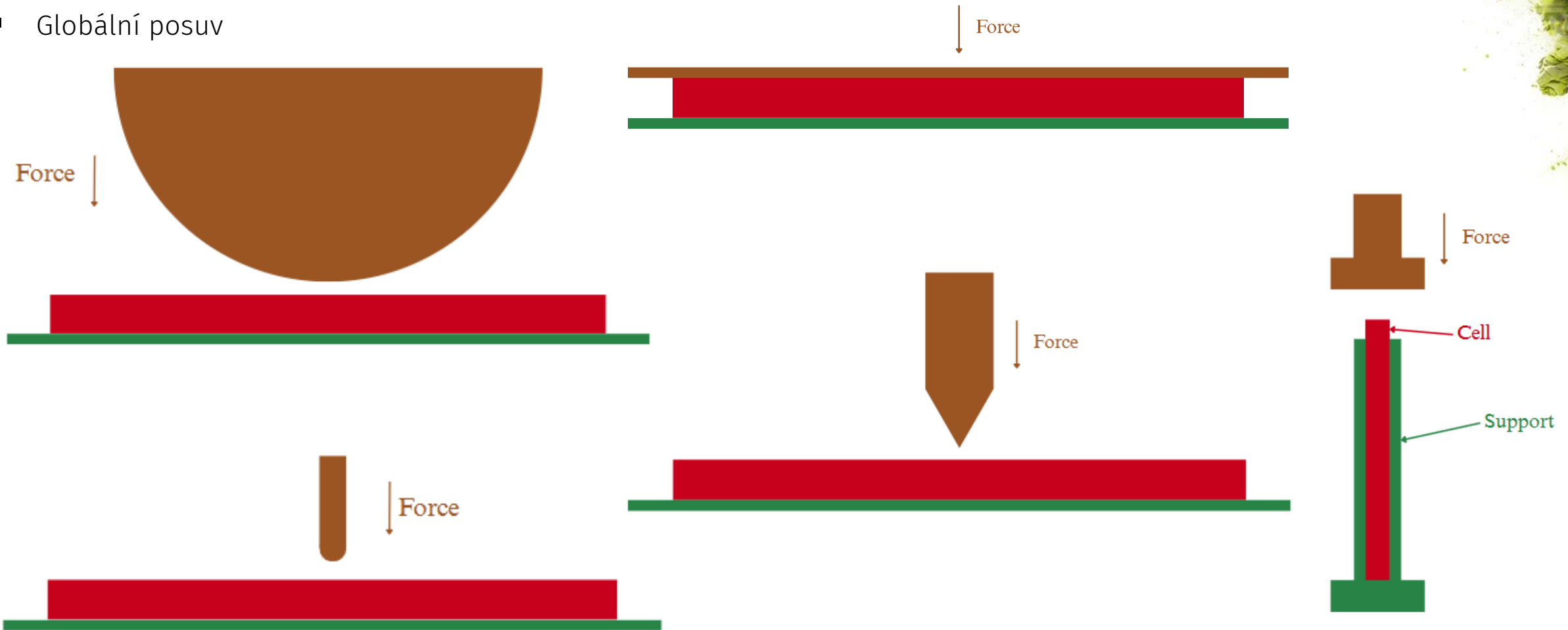


Pouch Copper Graphite Aluminium NMC Separator

- Modelování jednotlivých vrstev na základě tahové zkoušky
- Modelování interakce mezi jednotlivými vrstvami



- Modelování homogenního materiálu
- Globální posuv





Experimentální testování

...aneb pokud se vám povede experiment na první pokus, měření hlavně neopakovat...

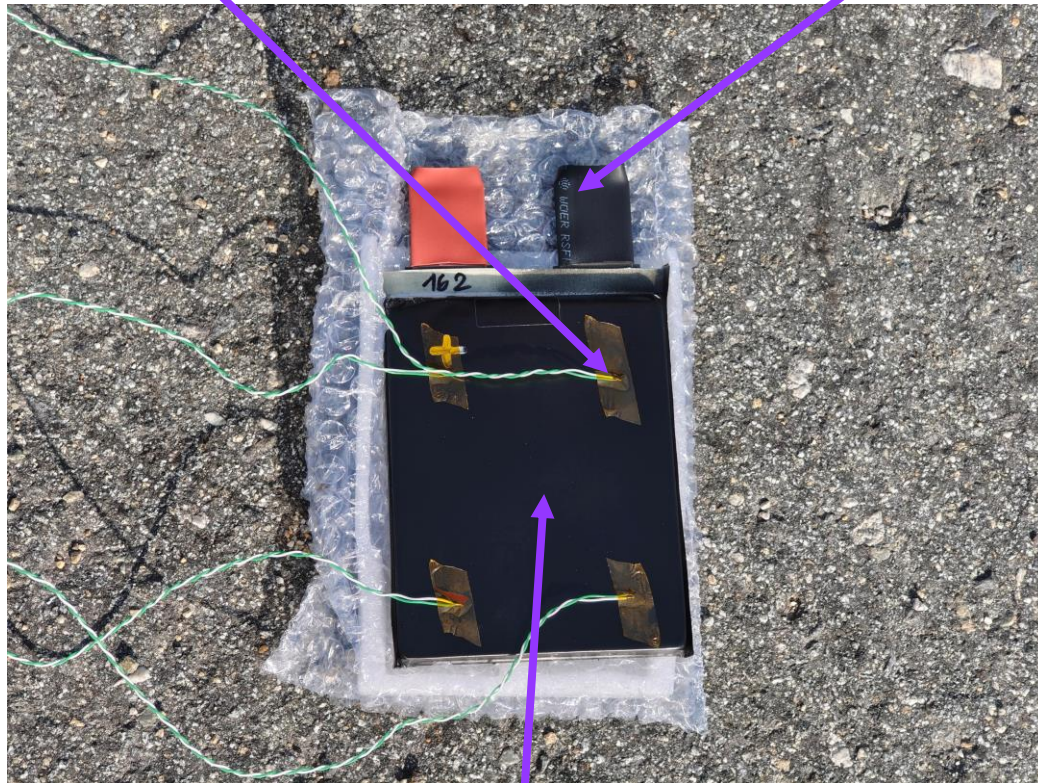
Termočlánky typu K

Měření napětí

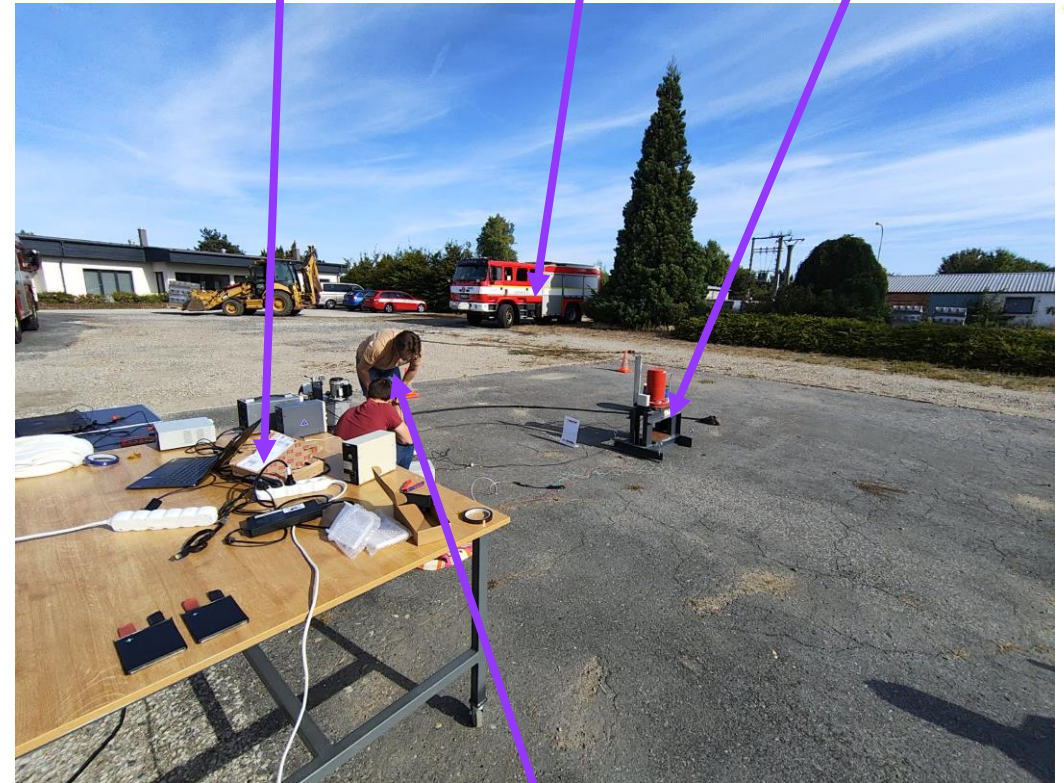
Odborný dozor

Záznamníky dat & zdroje

Hydraulický lis

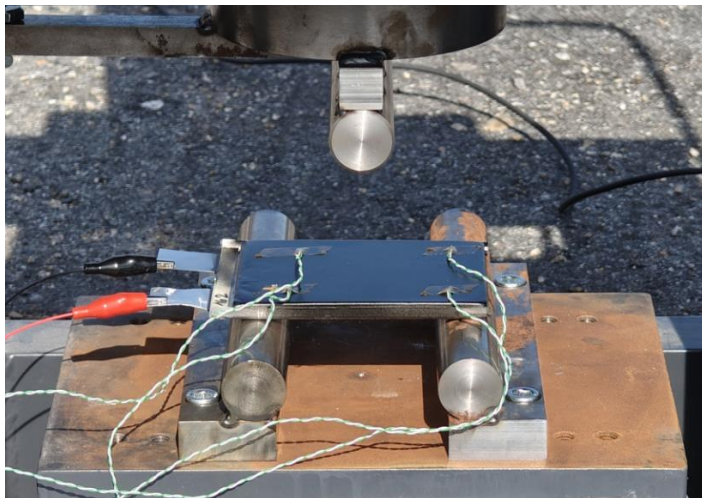


Černý povlak proti odražení světla



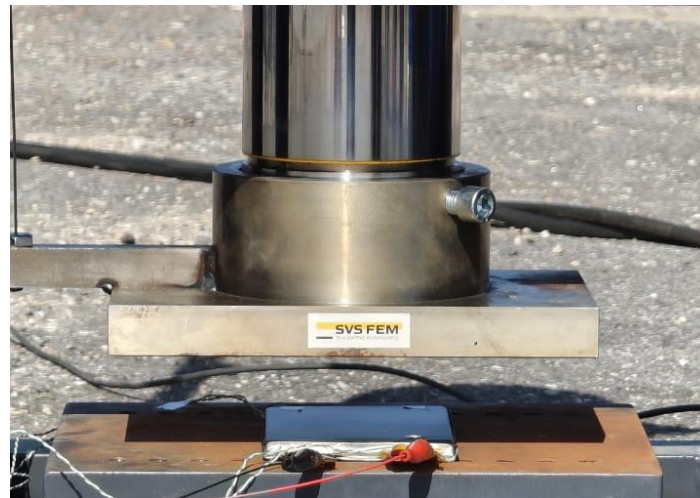
Profesionální obsluha lisu z SVSFEM

- 3-bodý ohyb



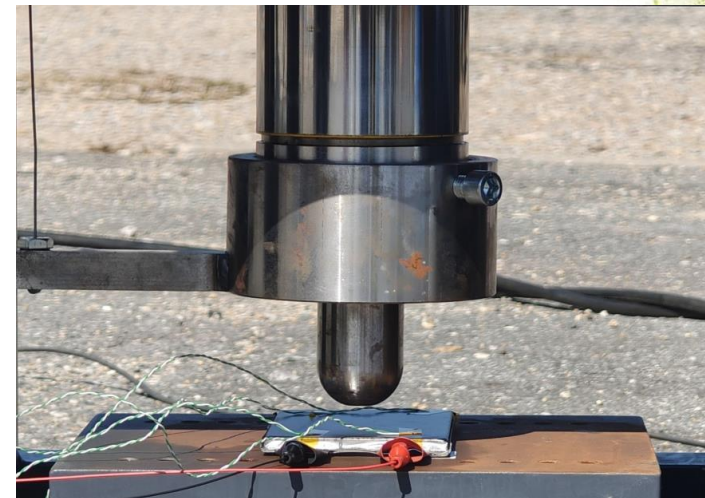
OHYBOVÁ TUHOST

- Tlak na celou plochu článku

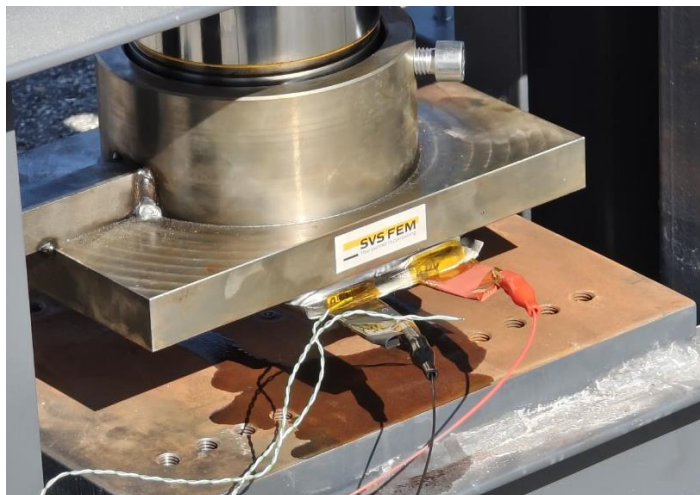


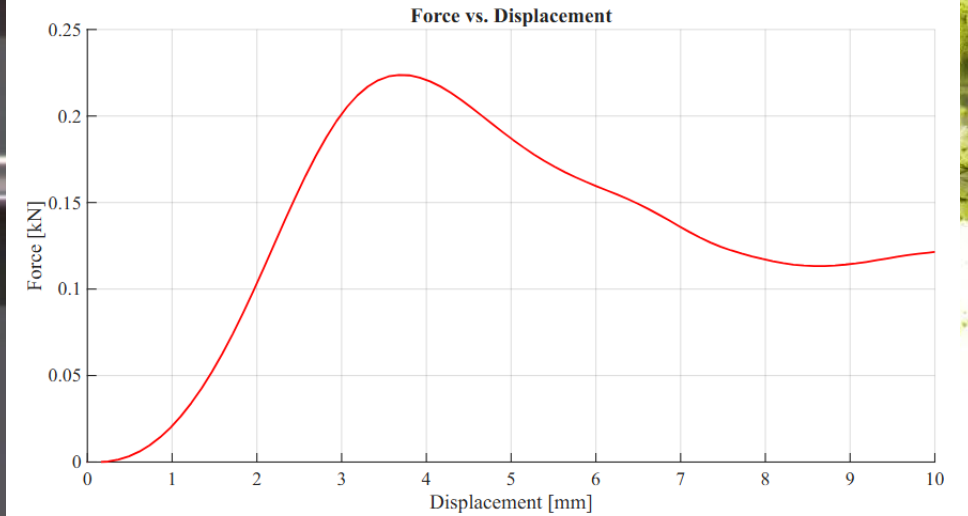
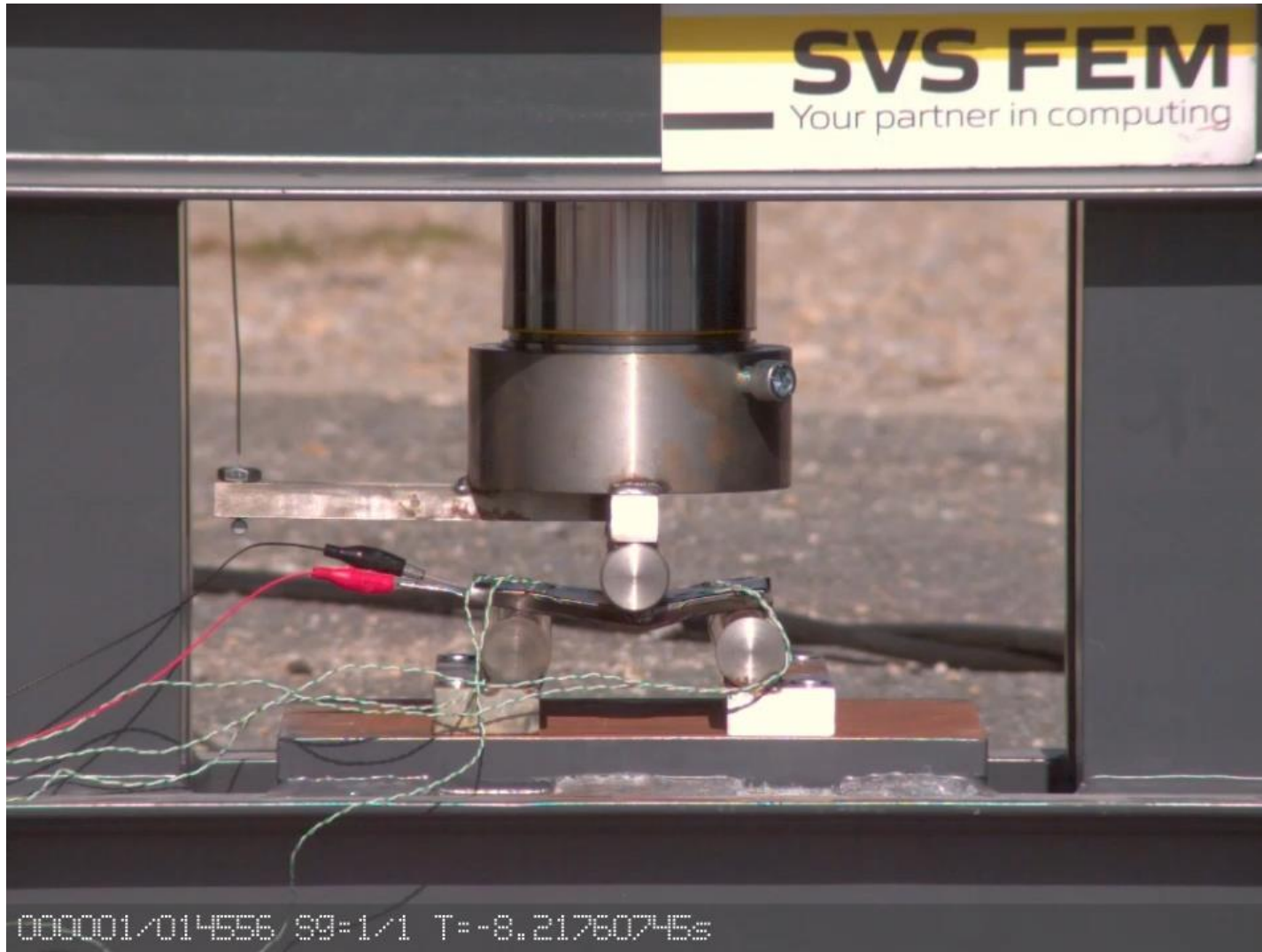
PLOŠNÉ ZATÍŽENÍ

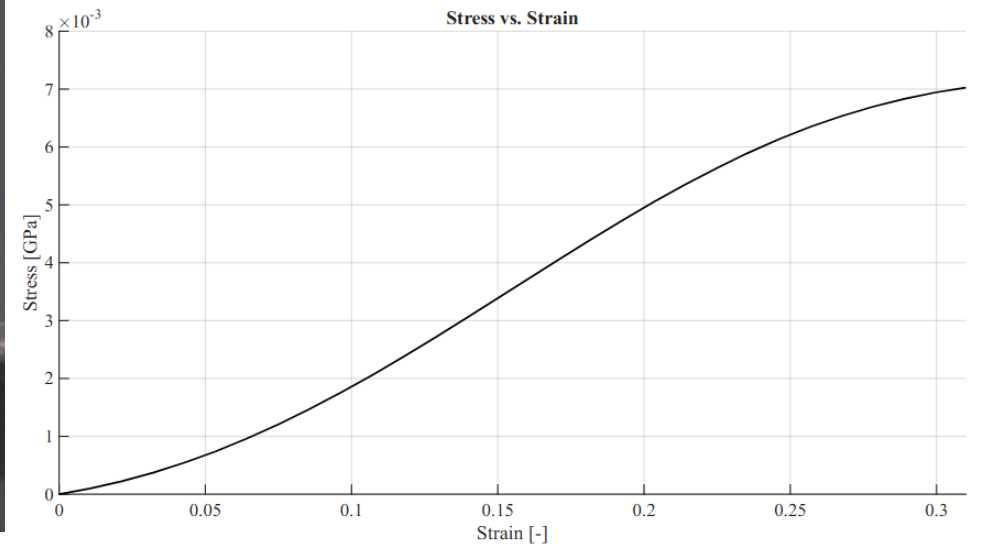
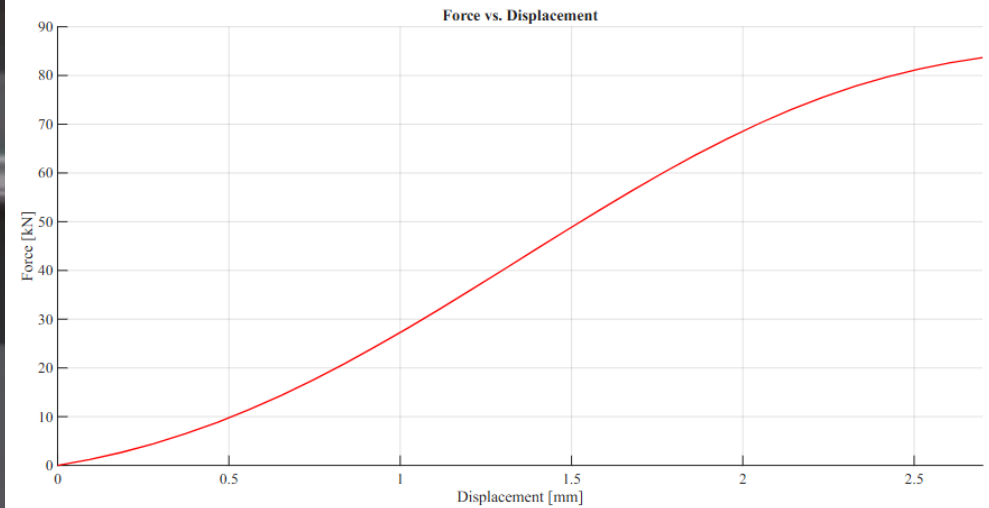
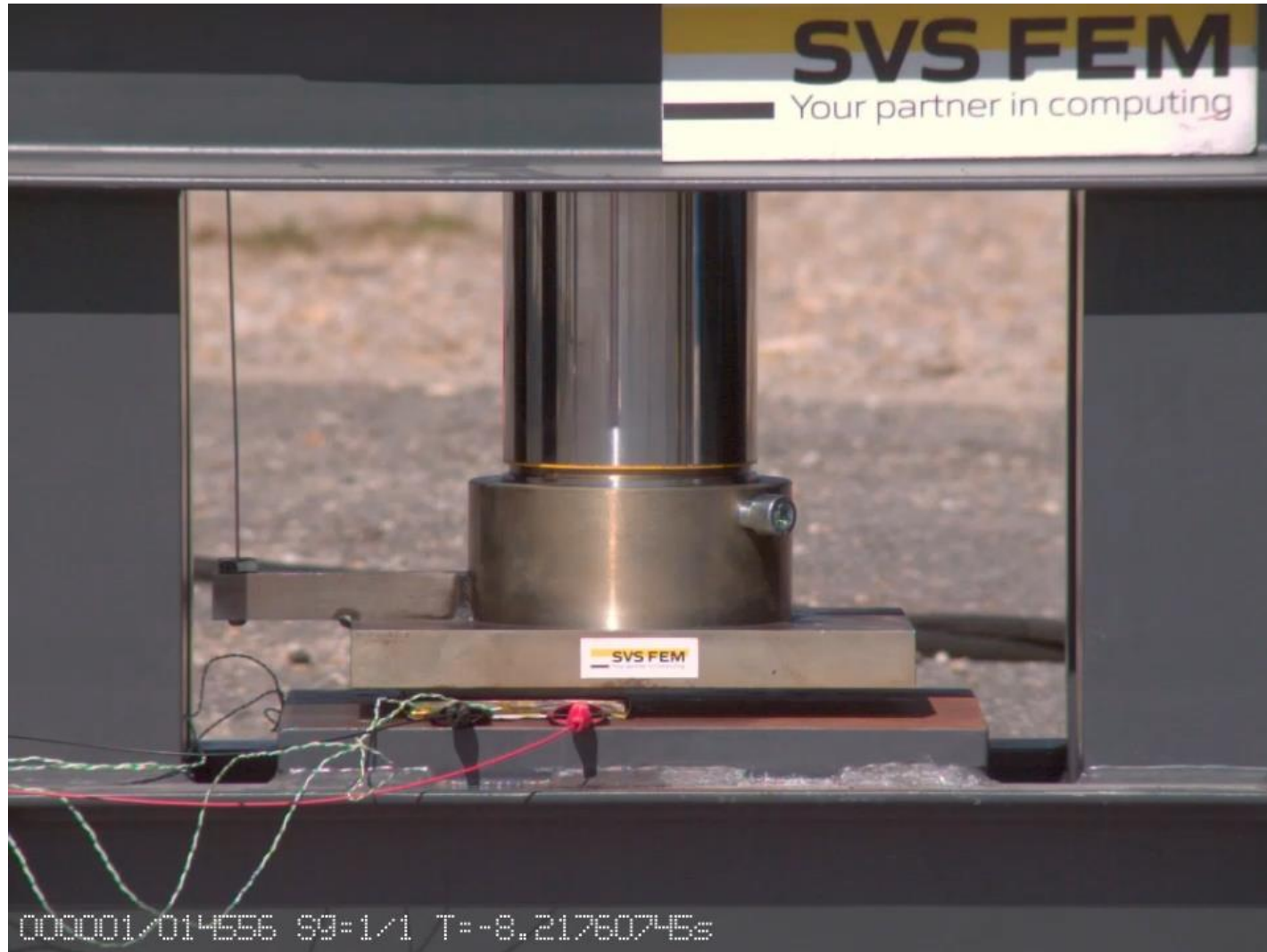
- Tlak kulovou plochou

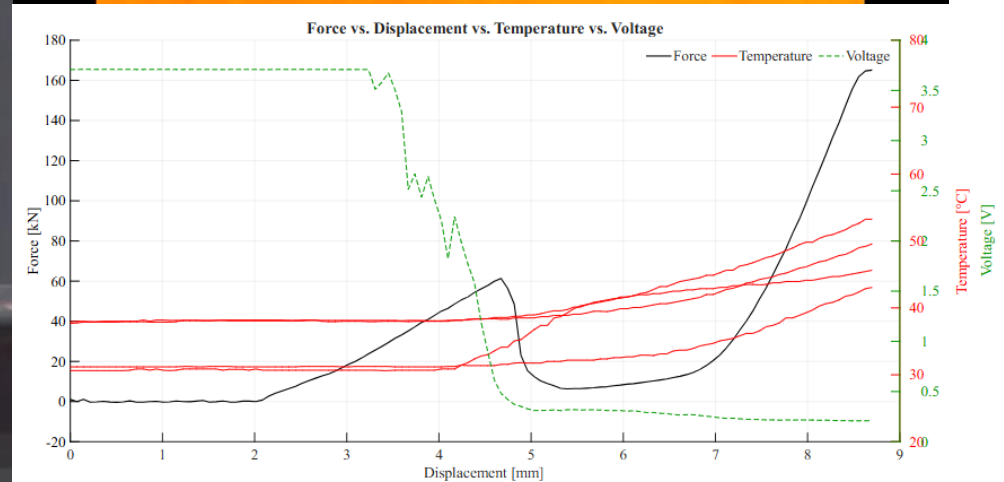
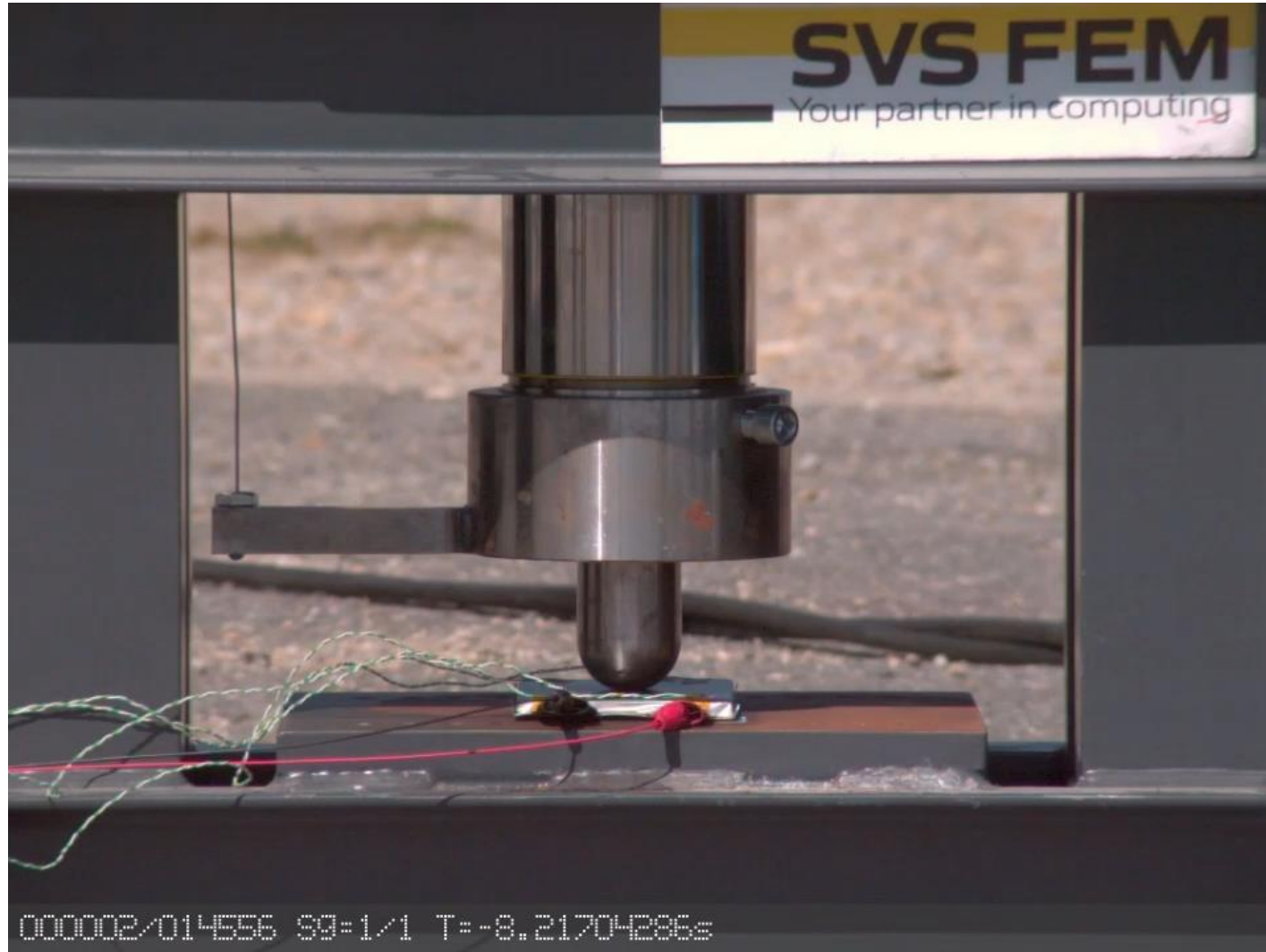


BODOVÉ ZATÍŽENÍ







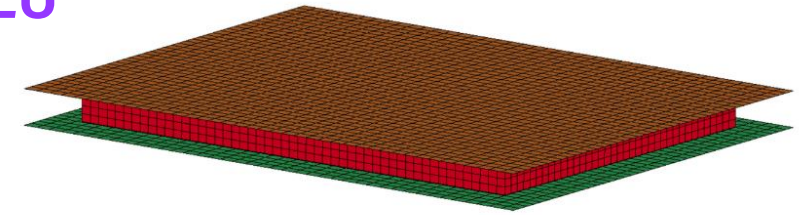




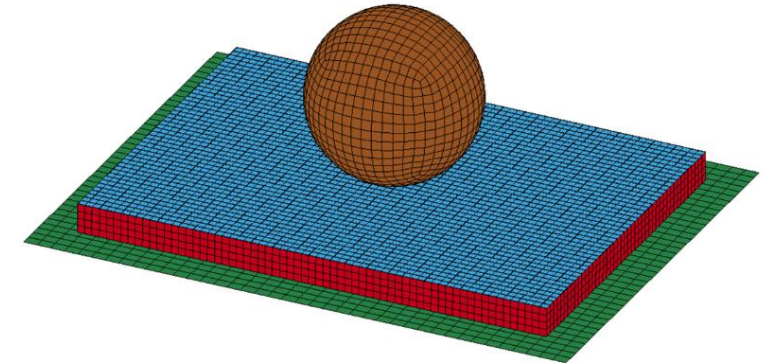
Numerický model

...aneb když experiment modelujete, hlavně neporovnávejte výsledky...

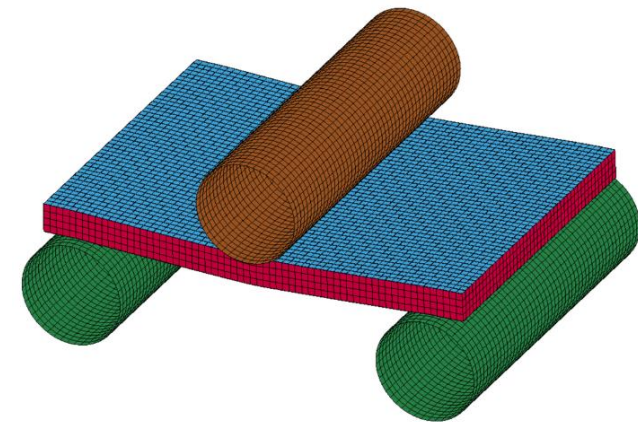
- ***MAT_063** – Crushable foam - *DEFINE_CURVE
- ***MAT_024** – Piecewise linear plasticity
 - $t = 0.12mm$
- ***MAT_RIGID**
 - 0 DOF
 - 1 DOF (předepsaný pohyb v ose Z)



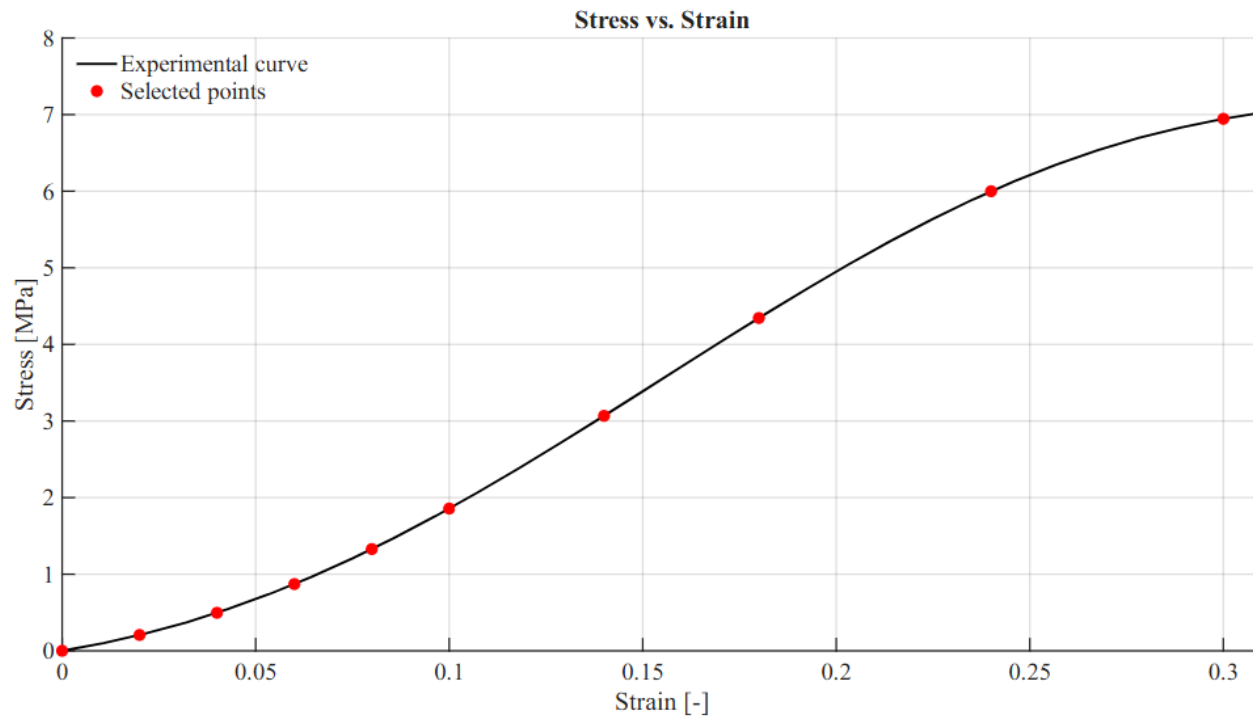
FLAT PUNCH TEST



INDENTATION TEST



3-POINT BENDING TEST



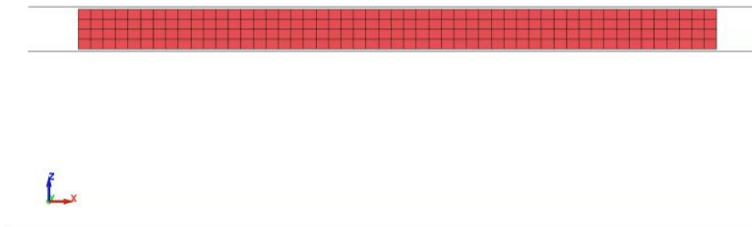
- *CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE
 - $F_n = k_p * g$
 - F_n ... Normal contact force
 - k_p ... Penalty stiffness
 - g ... Penetration
- *CONTACT_TIED_SURFACE_TO_SURFACE
- *BOUNDARY_PRESCRIBED_MOTION_RIGID
- *CONTROL_IMPLICIT
 - _AUTO – Optimální okno pro časové kroky (iteopt, itewin, dtmin, dtmax)
 - _GENERAL – Počáteční časový krok (dt0), nelinearita modelu (imform=2)
- *CONTROL_HOURLASS
 - Důležité pro předejití „hourglassingu“ u explicitní analýzy
- *CONTROL_ENERGY
- *CONTROL_TERMINATION
 - Může zastavit simulaci dříve při poklesu celkové energie či selhání mnoha elementů
- *CONTROL_TIMESTEP
 - Velikost časového kroku

Numerický model – POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ

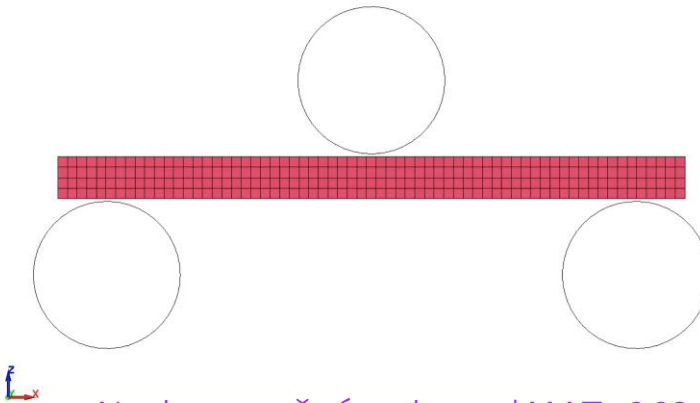
- 3-bodý ohyb

- Tlak na celou plochu článku

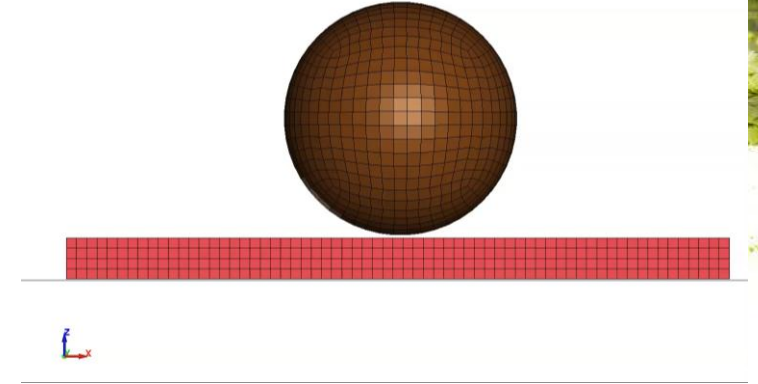
- Tlak kulovou plochou



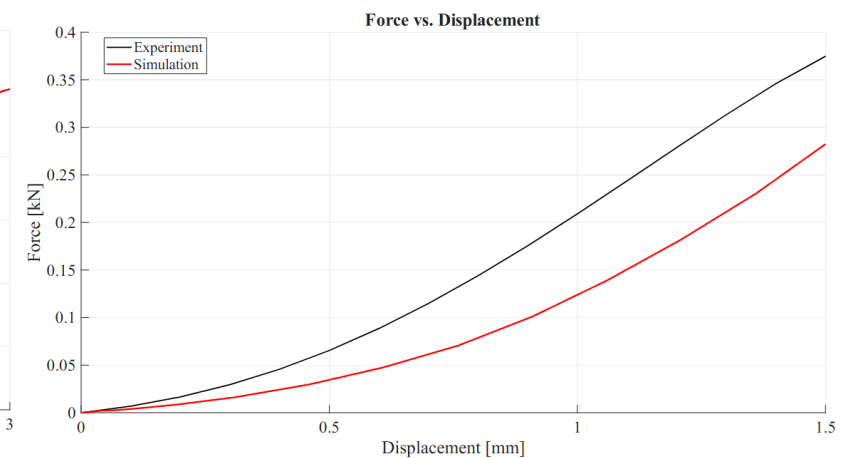
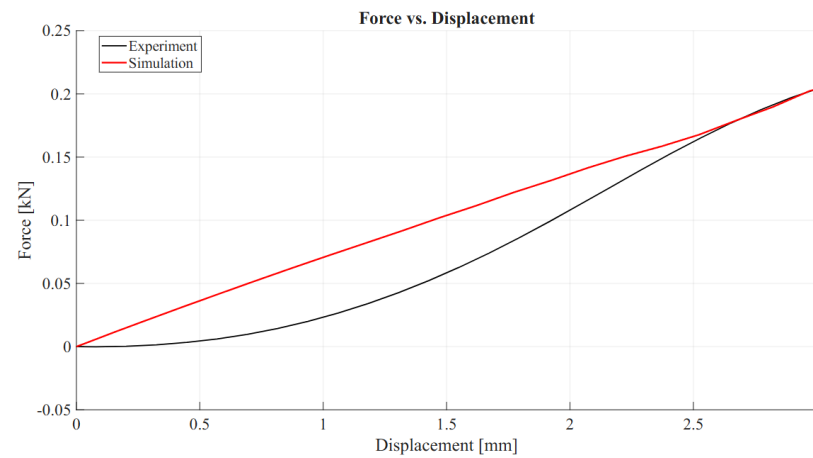
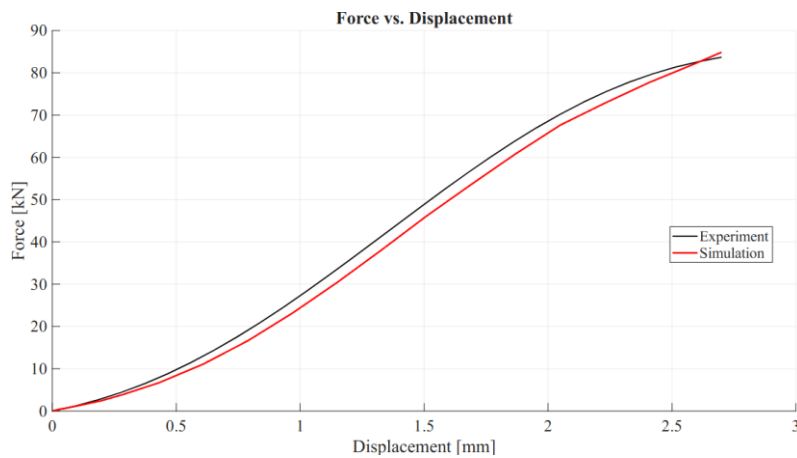
Explicitní i implicitní řešič



Nedostatečná tuhost *MAT_063



Maximální napětí při zkratu 7 MPa

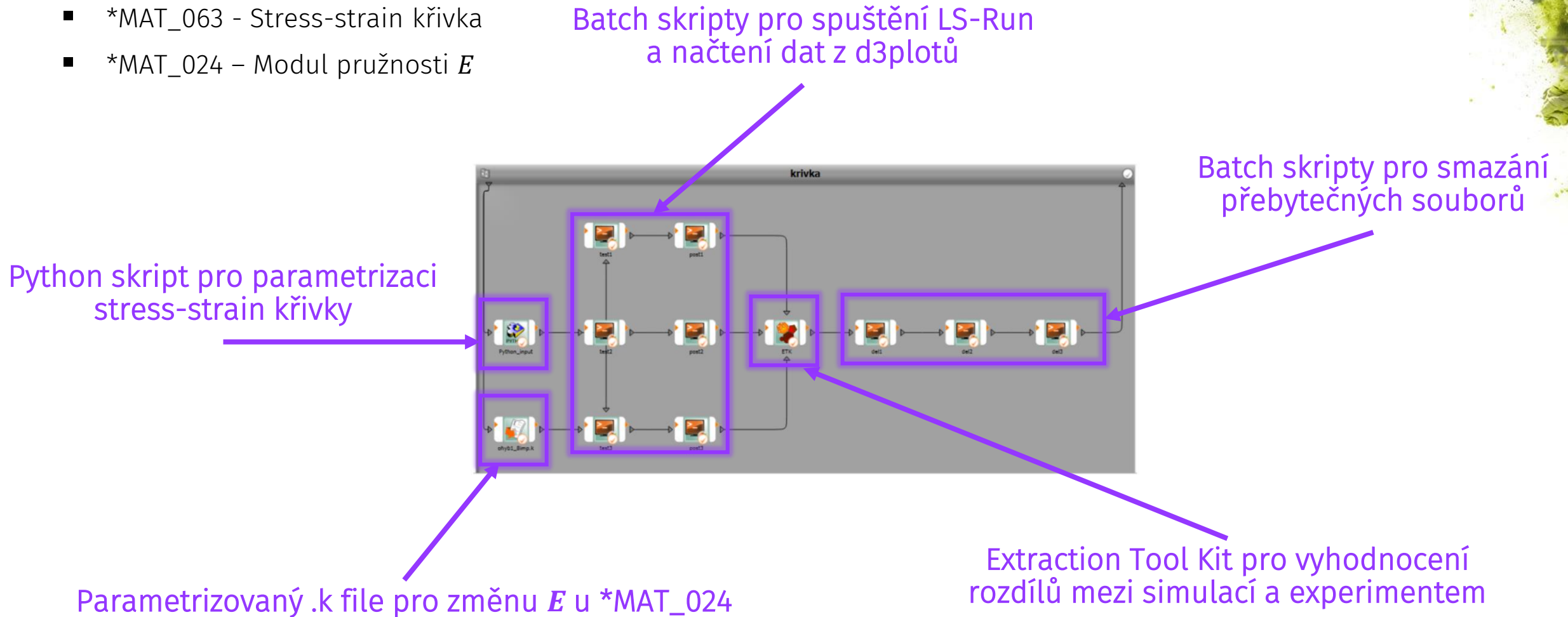




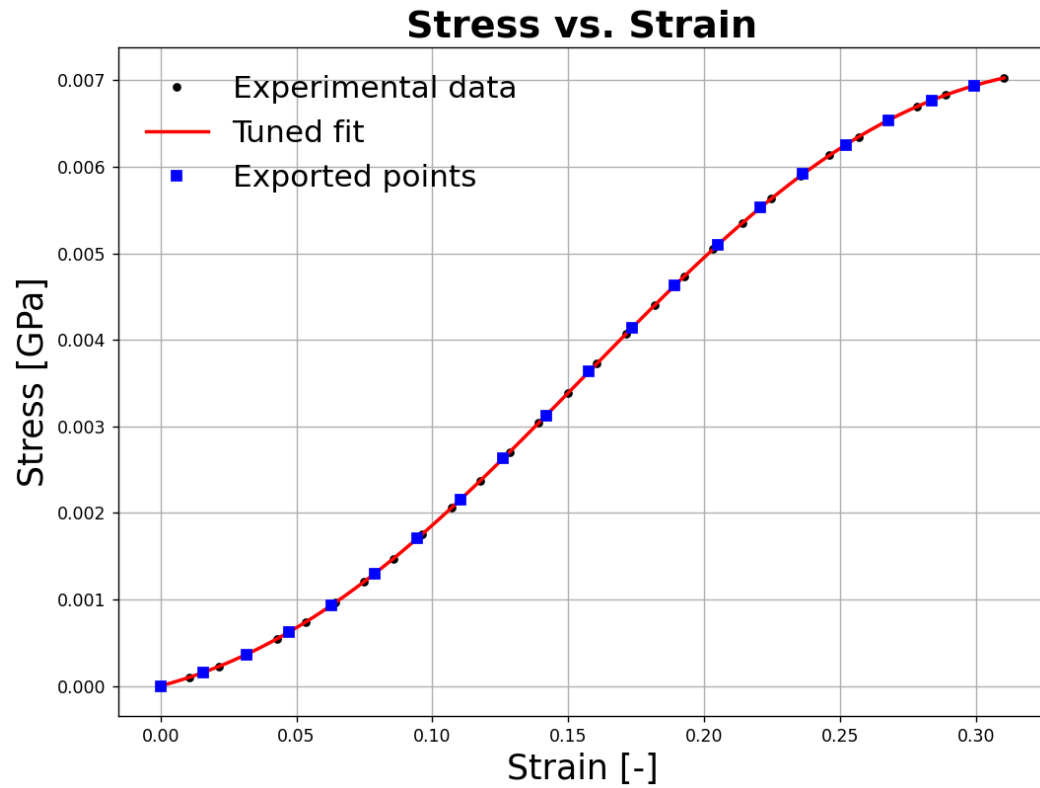
Optimalizace

Nedá se model přece jen trochu zpřesnit?

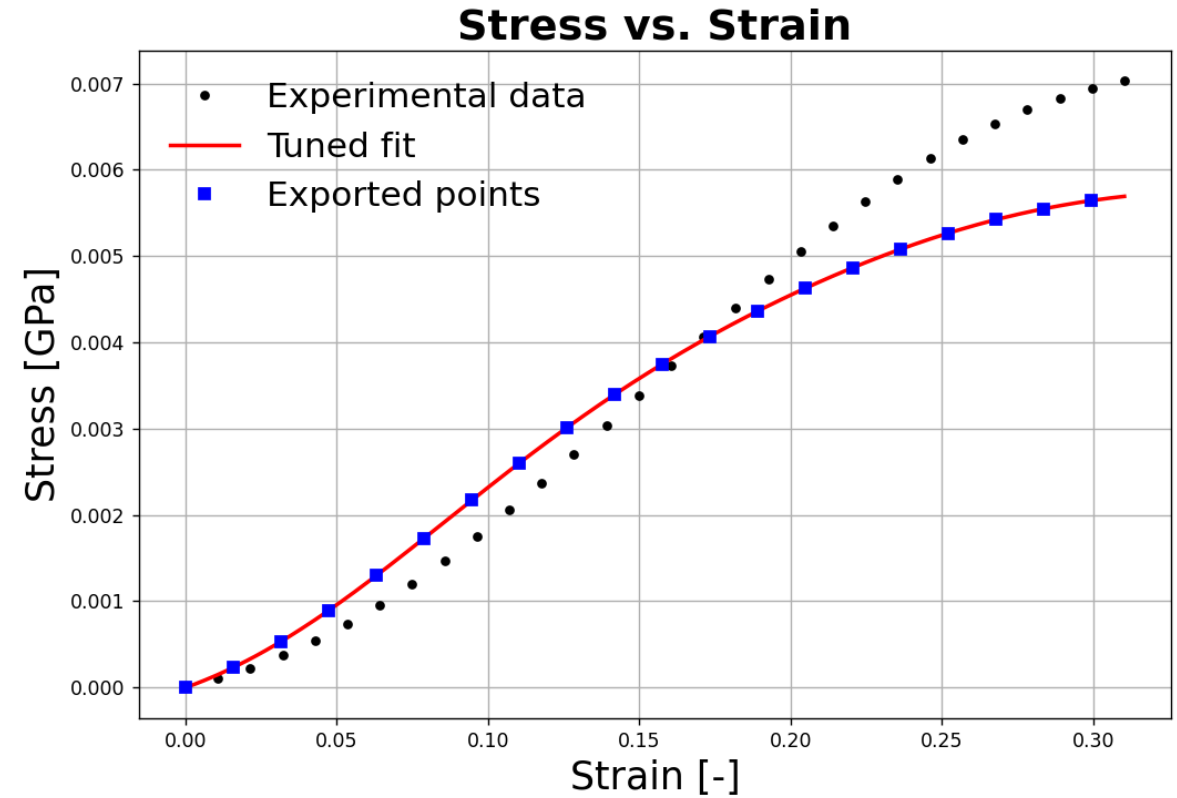
- *MAT_063 - Stress-strain křivka
- *MAT_024 - Modul pružnosti E



- p_1 ...násobí první část
- p_2 ...hodnota pro strain, která tvoří hranici mezi první a druhou částí
- p_3 ...násobí druhou část



$$p_1 = 1 \quad p_2 = 0.15 \quad p_3 = 1$$



$$p_1 = 1.5 \quad p_2 = 0.15 \quad p_3 = 0.8$$

- ROZDÍL Z METODY NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ

$$R_{\text{Euclid}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (F_{\text{sim},i} - F_{\text{exp},i})^2}$$

- ROZDÍL MAXIMÁLNÍCH SIL

$$R_{F_{\text{max}}} = |F_{\text{max,sim}} - F_{\text{max,exp}}|$$

The screenshot shows the ANSYS ETK interface. The main window displays a *.k file with the following content:

```

1 *KEYWORD
2 $.Tuned.stress-strain.curve.exported.from.Python
3 $.Columns: .a=strain[-],.o=stress[GPa]
4 *DEFINE_CURVE_TITLE
5 stress_strain
6 .....10011.....0.....1.0.....1.0.....0.0.....0.0.....0.....0.....0.....0
7 .....
8 .....0.0157.....0.0001560296567
9 .....0.0315.....0.0003629672057
10 .....0.0472.....0.0006228829605
11 .....0.0630.....0.0009368859458
12 .....0.0788.....0.0012988588339
13 .....0.0945.....0.001707333697
14 .....0.1103.....0.002153882394
15 .....0.1261.....0.002630274165
16 .....0.1418.....0.003126372339
17 .....0.1576.....0.00363201488
18 .....0.1734.....0.004135737218
19 .....0.1891.....0.004626842355
20 .....0.2049.....0.005093993239
21 .....0.2207.....0.005527386356
22 .....0.2364.....0.005917473993
23 .....0.2522.....0.006297304119
24 .....0.2679.....0.006541543952
25 .....0.2837.....0.006768637886
26 .....0.2995.....0.006940299984
27 *END
28

```

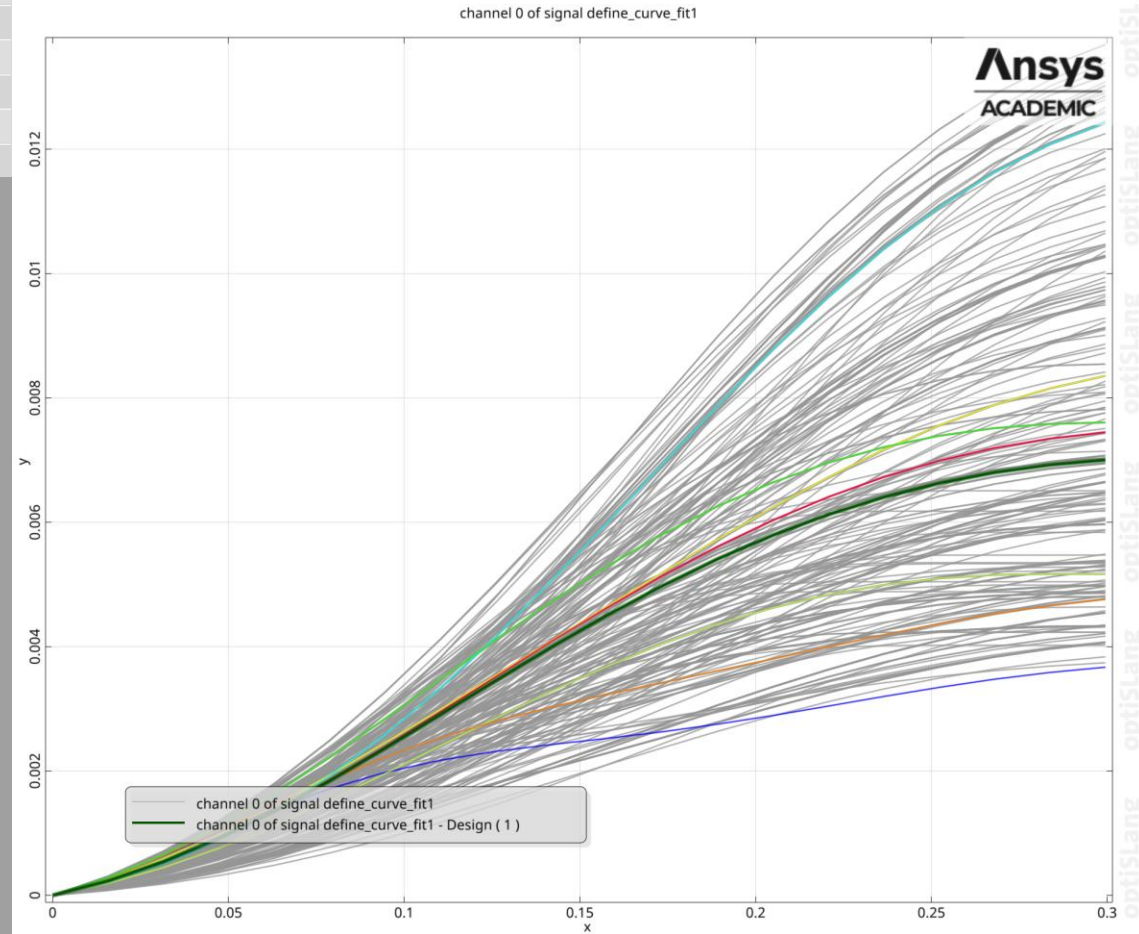
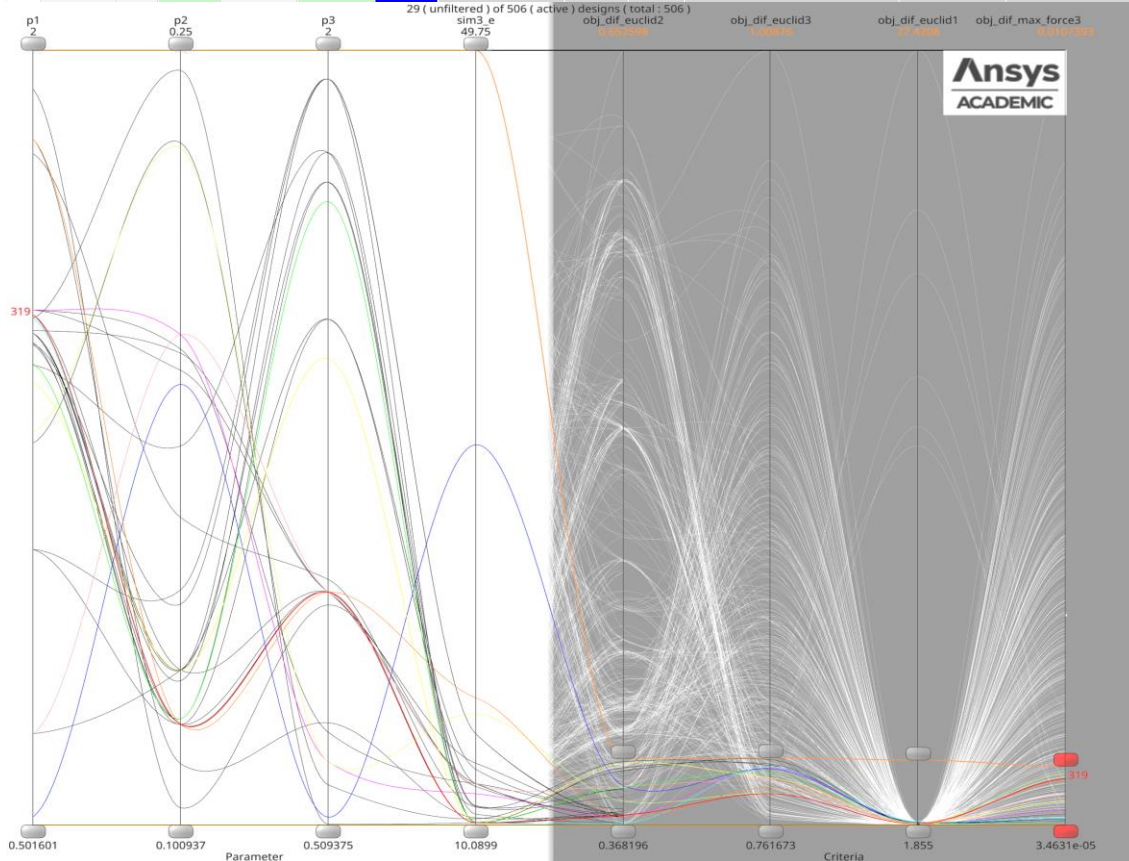
The right-hand panel shows the 'Responses' section with the following data:

Response Name	Value
define_curve_fit [1:20]	
dif_euclid1	1.8538
dif_euclid2	2.01083
dif_euclid3	0.976304
dif_max_force3	0.00338776
forc_disp_exp1 [1:30]	
forc_disp_exp2 [1:16]	
forc_disp_exp3 [1:26]	
forc_disp_sim1 [1:1000]	

At the bottom of the interface, the 'Variable Name' is set to 'define_curve_fit1'. The 'as signal' option is selected.

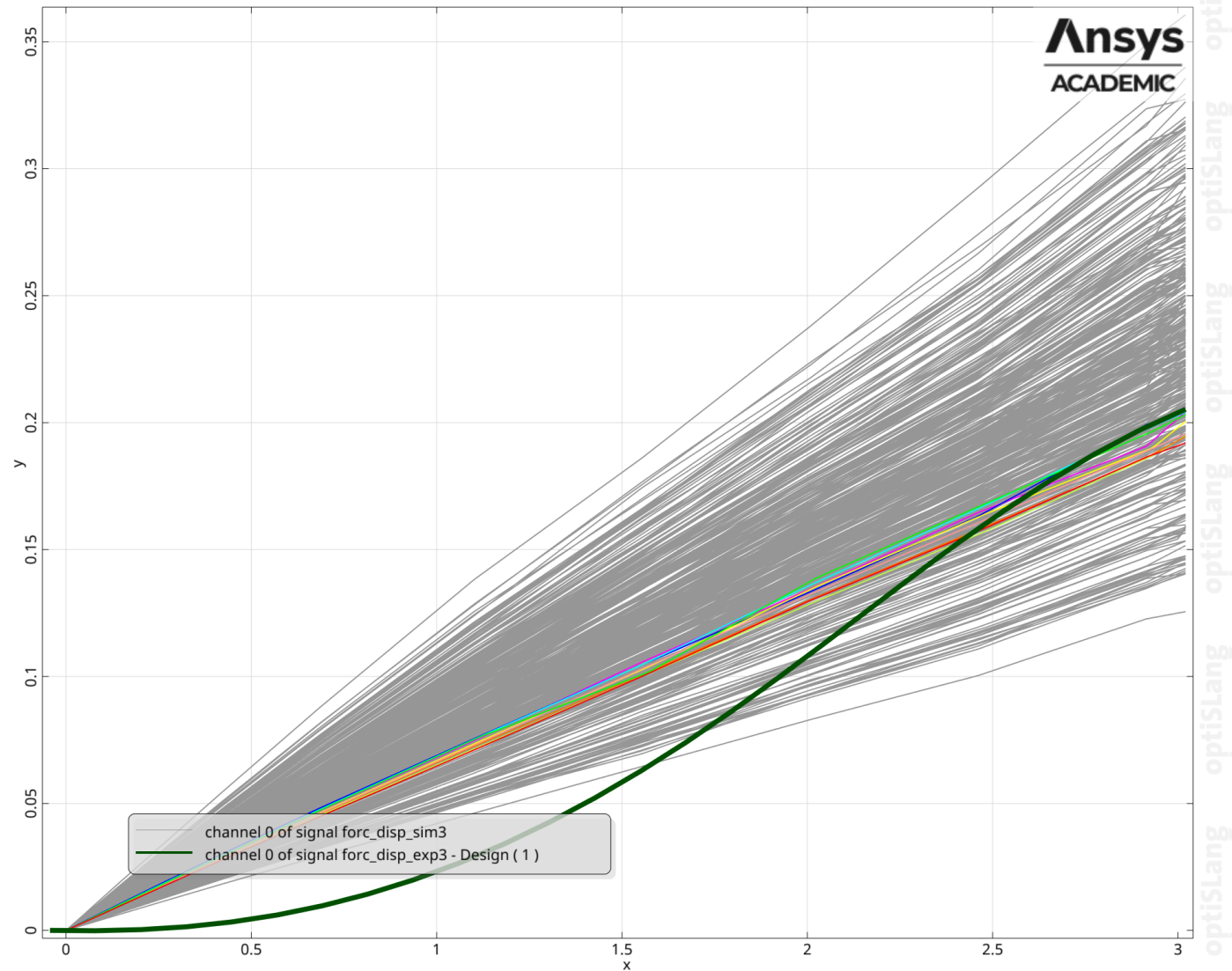
Optimalizace – POSTPROCESSING

Activation	Id	Feasible	Duplicates	Status	Style	p1	p2	p3	sim3_e	obj_dif_euclid1	obj_dif_euclid2	obj_dif_euclid3	obj_dif_max_force3
<input checked="" type="checkbox"/>	0.182	true		Succeeded	Yellow	1.35693	0.13075	1.4075	10.2	2.51785	0.632277	0.933558	0.00440094
<input checked="" type="checkbox"/>	0.319	true		Succeeded	Red	1.48783	0.12025	0.9575	10.2	2.32643	0.41085	0.876356	0.00845968
<input checked="" type="checkbox"/>	0.119	true		Succeeded	Pink	0.678125	0.19525	0.9575	12.2	2.58268	0.535871	0.923367	0.00561547
<input checked="" type="checkbox"/>	0.132	true		Succeeded	Orange	1.8275	0.12025	0.9575	16.6	2.66163	0.403932	0.898468	0.00828779
<input checked="" type="checkbox"/>	0.324	true		Succeeded	Magenta	1.4975	0.19525	0.630983	11.6808	2.31755	0.409059	0.969254	0.00275836
<input checked="" type="checkbox"/>	0.112	true		Incomplete	Green	1.39291	0.121332	1.70896	10.25	2.58703	0.531196	0.955148	0.00085723
<input checked="" type="checkbox"/>	0.234	true		Succeeded	Cyan	1.48198	0.12025	0.9575	10.2	3.03159	0.376022	0.975372	0.00149677
<input checked="" type="checkbox"/>	0.289	true		Succeeded	Blue	0.517738	0.185727	0.524205	29.5604	2.85804	0.536123	0.967197	0.00106937



Optimalizace – POSTPROCESSING

channel 0 of signal forc_disp_sim3

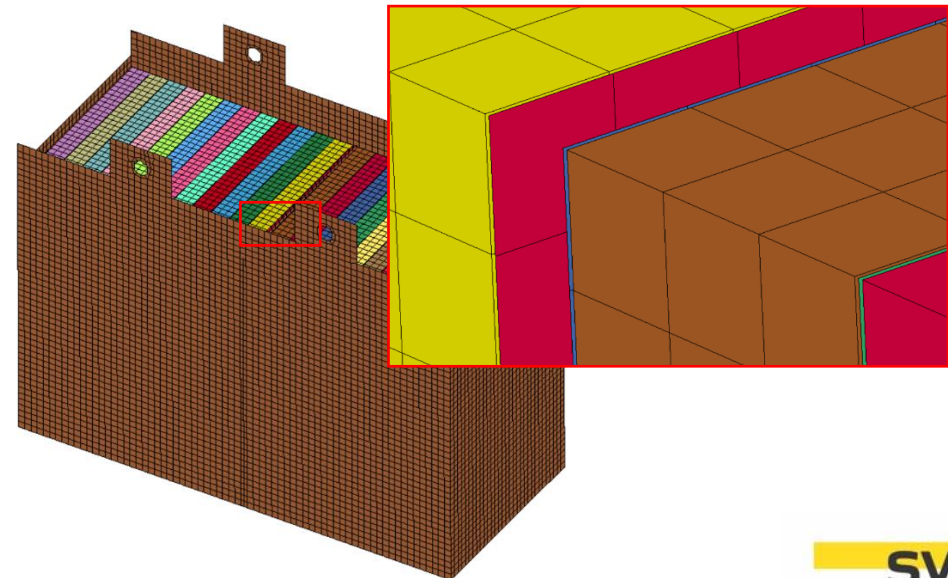
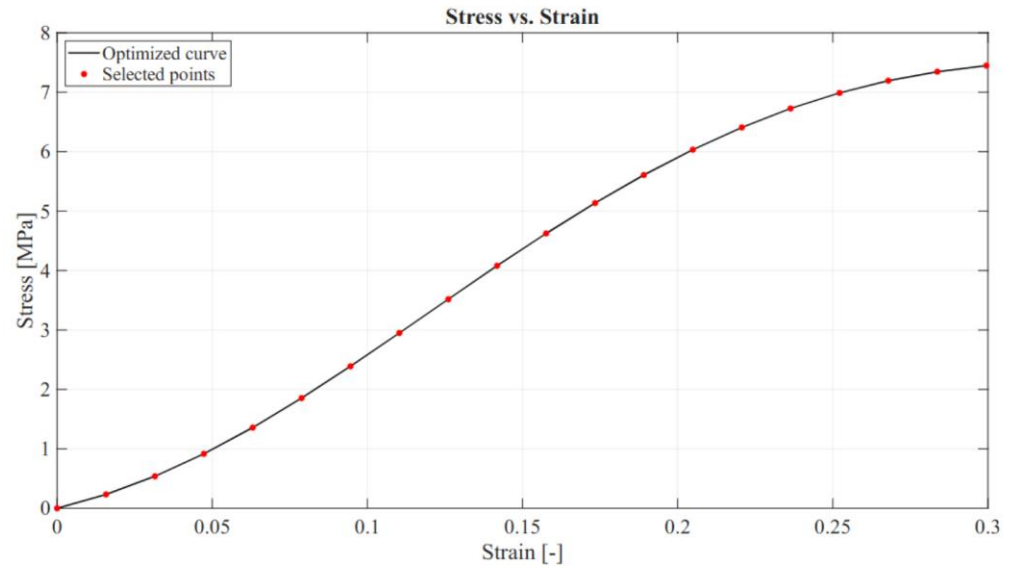
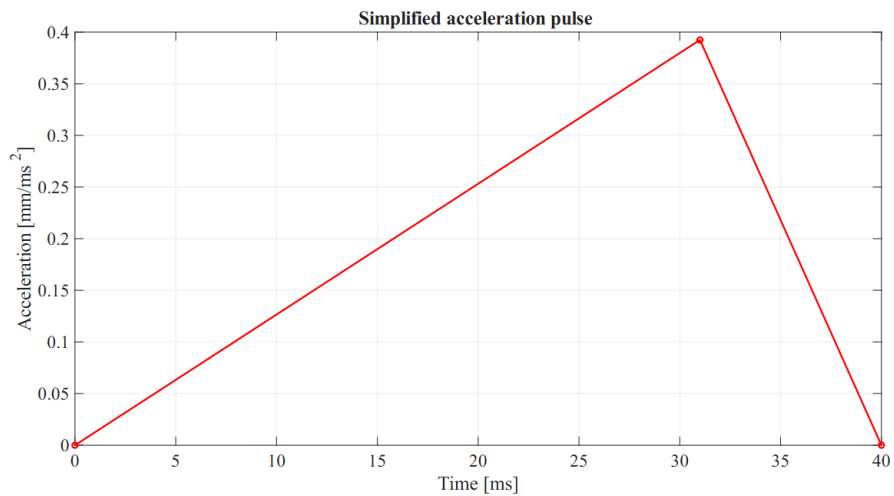
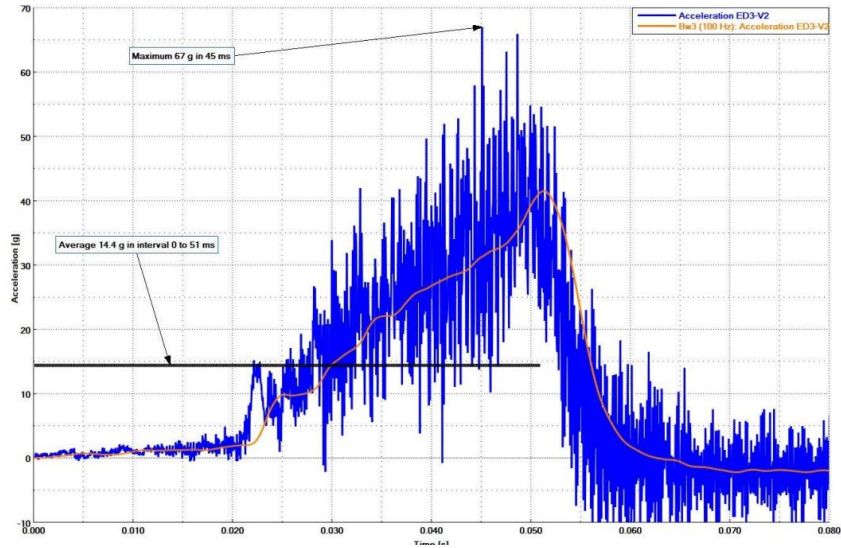


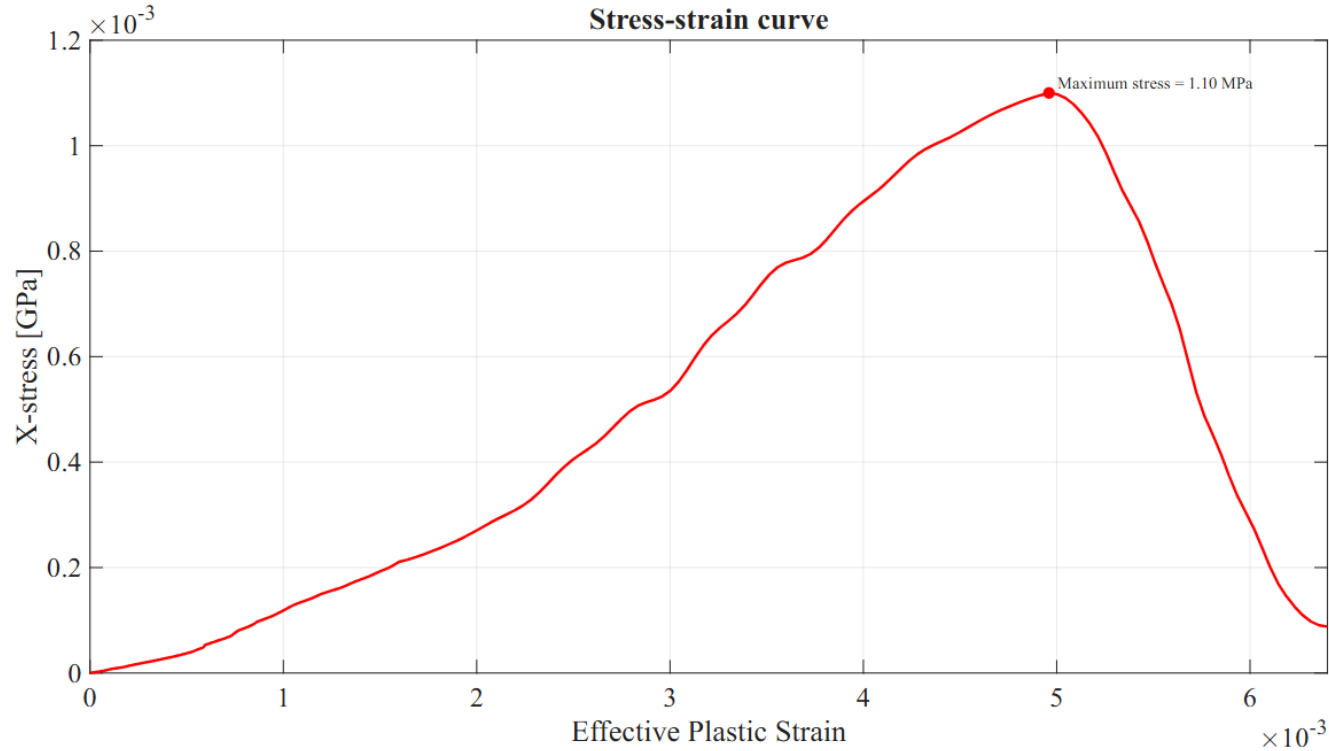


Aplikace modelu

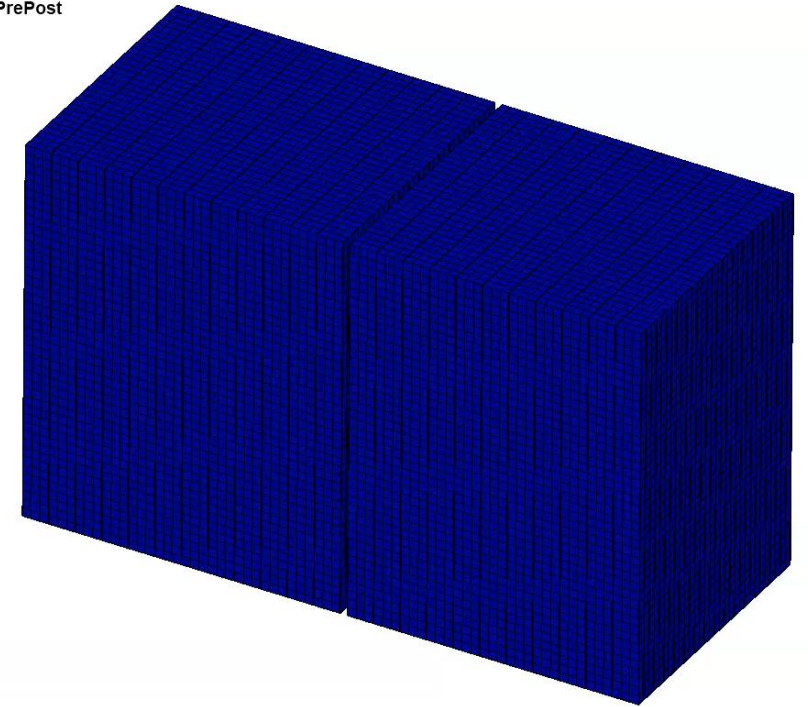
Mám sice model, ale co teď s ním?

■ Pravidlové zatížení 40G, EXPLICIT





PrePost



$$SF_{\sigma} = \frac{\sigma_{\text{short}}}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{7}{1.10} \approx 6.36$$





Díky za pozornost a zůstaňme ve spojení



Marie Jandoušová

mjandousova@svsfem.cz