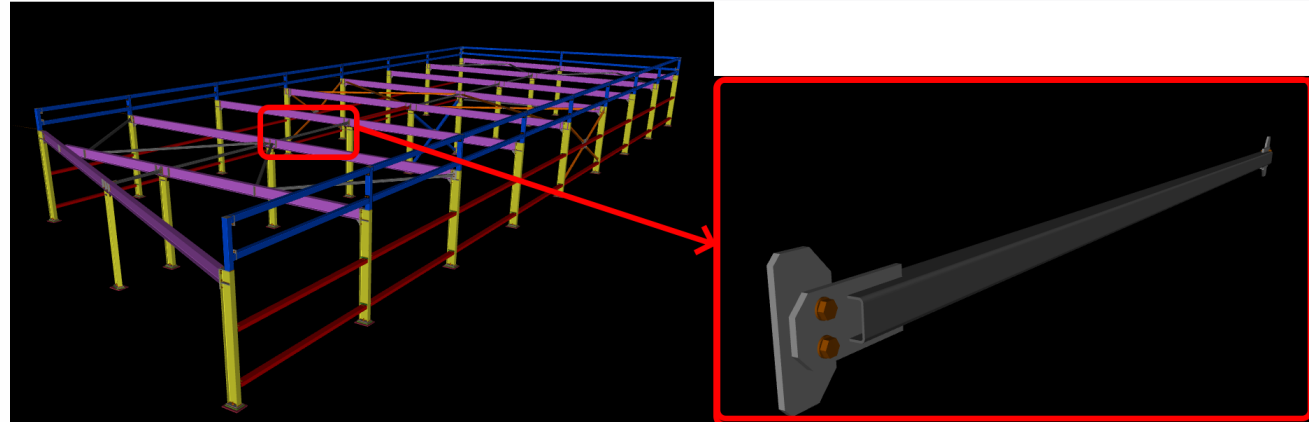


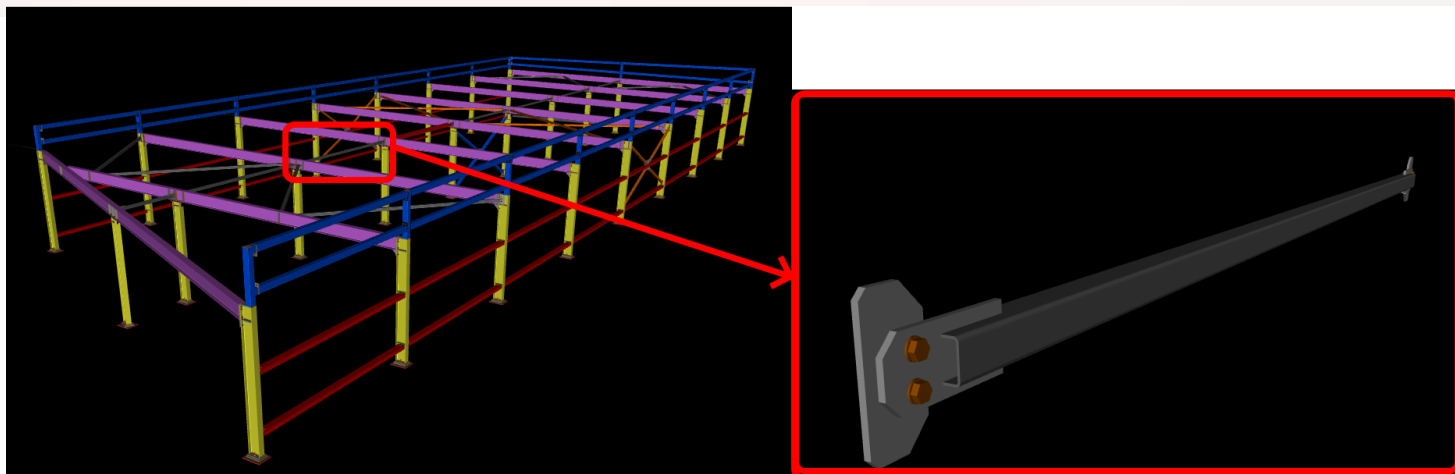
# Zesílení podélného ztužidla ocelové haly

Lukáš Juříček  
IDEA StatiCa



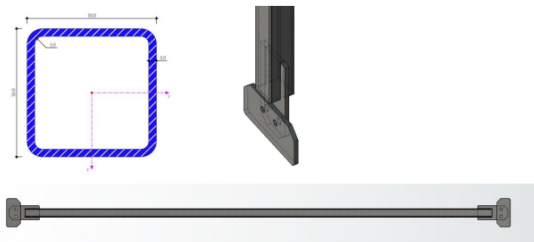


- **Ruční výpočet**
- **Numerická simulace pro nezesílené ztužidlo**
- **Ukázka nové funkcionality Tuhá podpora**
- **Materiálově nelineární výpočet**
- **LBA výpočet + stanovení imperfekce z normy**
- **Geometricky a materiálově nelineární výpočet s počáteční imperfekcí**
- **Analýza a posudek zesílení průřezu**
- **Shrnutí**



- Dvoulodní hala o délce 22.6 m, šířce 8.3 m a výšce 2.3 m
- Analyzovaný prvek – podélné ztužidlo průřez SHS 50/50/3, délka 3 m.
- Šroubovaný styčnickový plech na excentricitě
- Zatížení axiální silou a momenty od vlastní tíhy a excentricity přípoje v druhé rovině

## BUCKLING RESISTANCE OF SHS 50x50x3



Section properties:

$$L = 2845 \text{ mm} \quad W_{el,y} = 7587.9 \text{ mm}^3$$

$$A = 533 \text{ mm}^2 \quad W_{pl,y} = 9189.4 \text{ mm}^3$$

$$I_y = (1.897 \cdot 10^5) \text{ mm}^4 \quad W_{el,z} = W_{el,y}$$

$$I_z = I_y \quad W_{pl,z} = W_{pl,y}$$

$$e = 8 \text{ mm} \quad i_y = 19 \text{ mm}$$

$$I_w = (1.1648 \cdot 10^5) \text{ mm}^6 \quad I_t = (3.2262 \cdot 10^5) \text{ mm}^4$$

Physical properties:

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma = 78.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$g_0 = \gamma \cdot A = 0.0418 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\nu = 0.3$$

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

### DESIGN INTERNAL FORCES:

$$N_{ed} = -38.72 \text{ kN}$$

$$M_{ed,z} = N_{ed} \cdot e = -0.31 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{ed,y} = (0.125 \cdot g_0 \cdot L^2) = 0.042 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

### BEARING CAPACITY OF THE SECTION

$$N_{br,d} = A \cdot f_y = 125.26 \text{ kN}$$

$$M_{br,d} = W_{el,y} \cdot f_y = 1.78 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

### UTILIZATION:

$$\zeta = \left( \frac{|N_{ed}|}{N_{br,d}} + \frac{M_{ed,z}}{M_{br,d}} + \frac{M_{ed,y}}{M_{br,d}} \right) = 0.16$$

## BUCKLING OF SINGLE BEAM

Table 6.1: Imperfection factors for buckling curves

Buckling curve	a <sub>0</sub>	a	b	c	d
Imperfection factor α	0.13	0.21	0.34	0.49	0.76

$$\alpha = 0.49$$

$$L_{cr} = 0.1 \cdot L, 0.2 \cdot L, 2 \cdot L$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 1$$

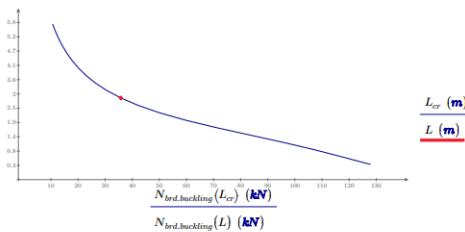
$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.91$$

$$\lambda(L_{cr}) = \frac{L_{cr}}{i_y} \cdot \left( \frac{1}{\lambda_1} \right)$$

$$\phi(L_{cr}) = 0.5 \cdot \left( 1 + \alpha \cdot (\lambda(L_{cr}) - 0.2) + \lambda(L_{cr})^2 \right)$$

$$\chi(L_{cr}) = \frac{1}{\phi(L_{cr}) + \sqrt{\phi(L_{cr})^2 - \lambda(L_{cr})^2}}$$

$$N_{br,buckling}(L_{cr}) = \chi(L_{cr}) \cdot A \cdot f_y$$



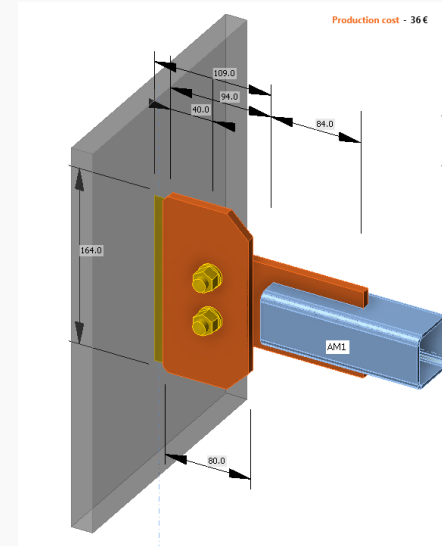
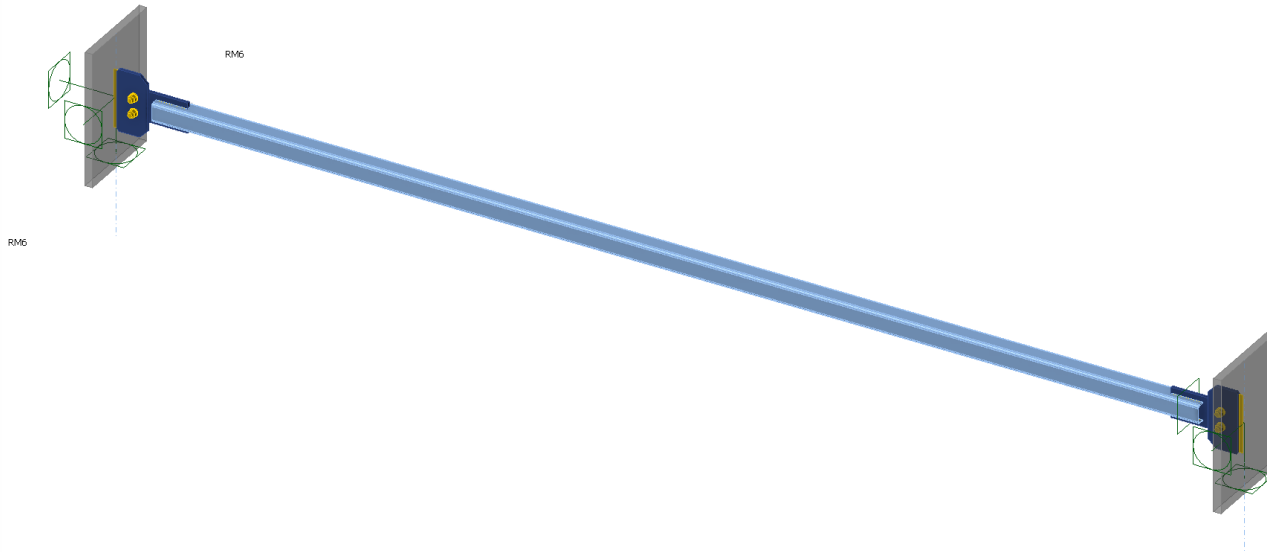
### UTILIZATION

$$N_{br,buckling}(L) = 35.8 \text{ kN}$$

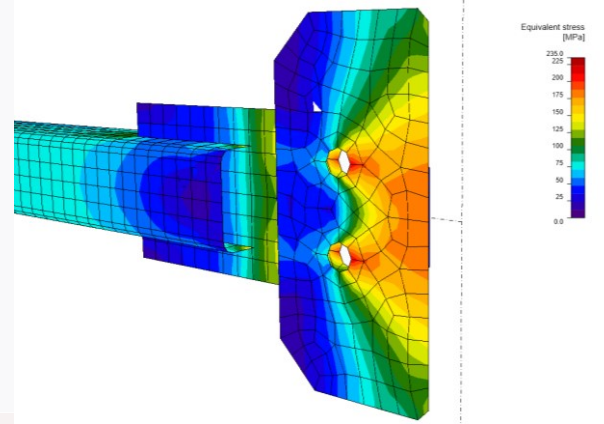
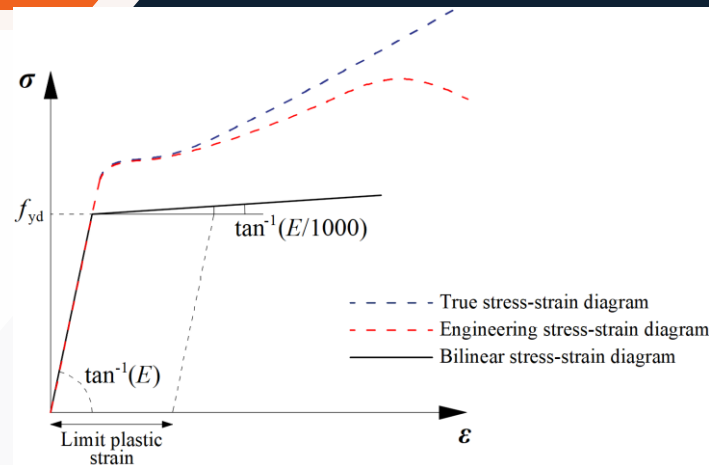
$$N_{ed} = -38.72 \text{ kN}$$

$$\eta(L_{cr}) = \frac{|N_{ed}|}{N_{br,buckling}(L)} = 1.08$$

The beam fails due to buckling code-check

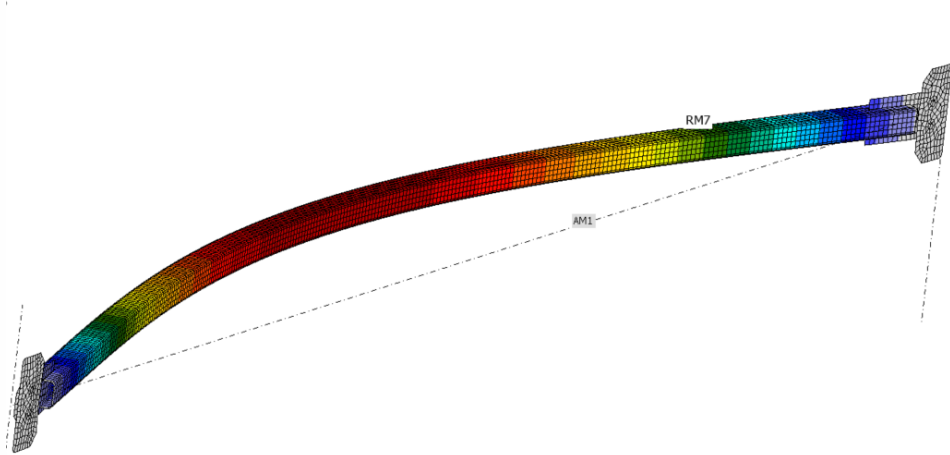
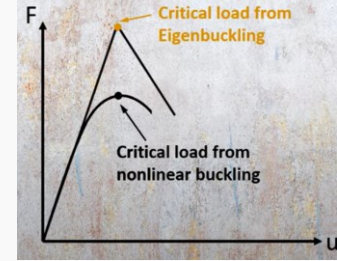


- $\{f\} = [K]_{(u)} \times \{u\}$
- Bilineární diagram s zpevňující plastickou větví
- 5 % limitní plastické přetvoření
- Výstupem analýzy deformace, ekvivalentní napětí a plastické přetvoření



$$([K_t] + \lambda_i[S])\{\psi_i\} = 0$$

- $K_t$  tuhost se převezme z předchozího kroku, tedy analýzy MNA



Buckling curve acc. to Table 6.1	elastic analysis $e_0 / L$	plastic analysis $e_0 / L$
$a_0$	1 / 350	1 / 300
a	1 / 300	1 / 250
b	1 / 250	1 / 200
c	1 / 200	1 / 150
d	1 / 150	1 / 100

$$e_0 := \frac{L}{200} = 14.23 \text{ mm}$$

1

Shape 1	Shape 2	GMNIA Utilization [%]
+	+	91.4
-	+	98
+	-	91.4
-	-	98

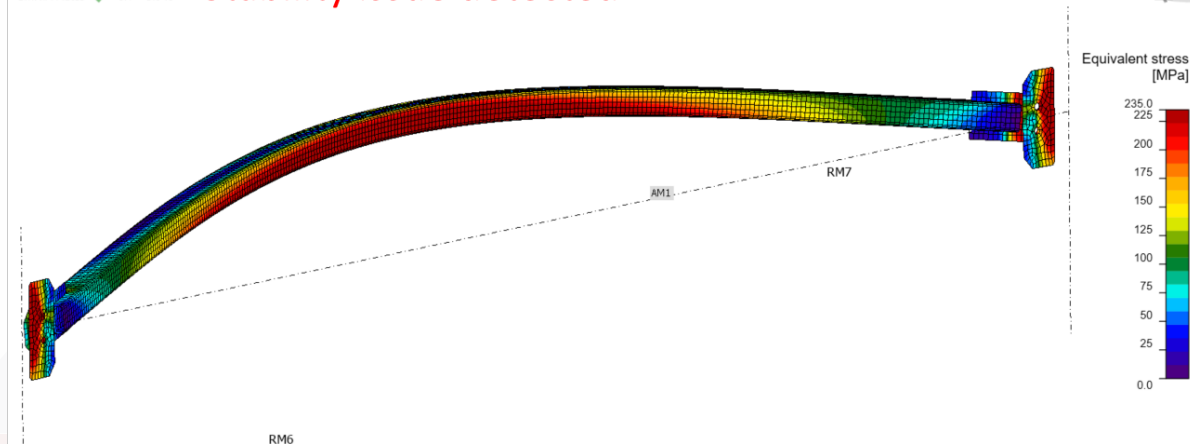
Loads	Shape	Factor	Imperfection amplitude [mm]
LE1	1	1.64	14
	2	1.89	-14
	3	5.37	0
	4	5.51	0
	5	11.41	0
	6	11.48	0

3

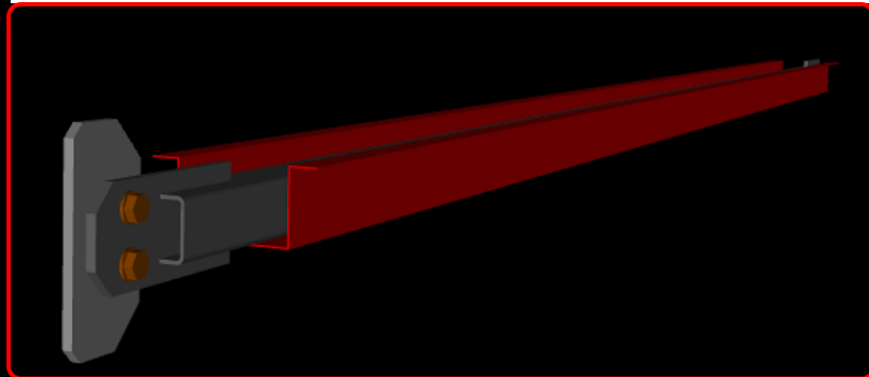
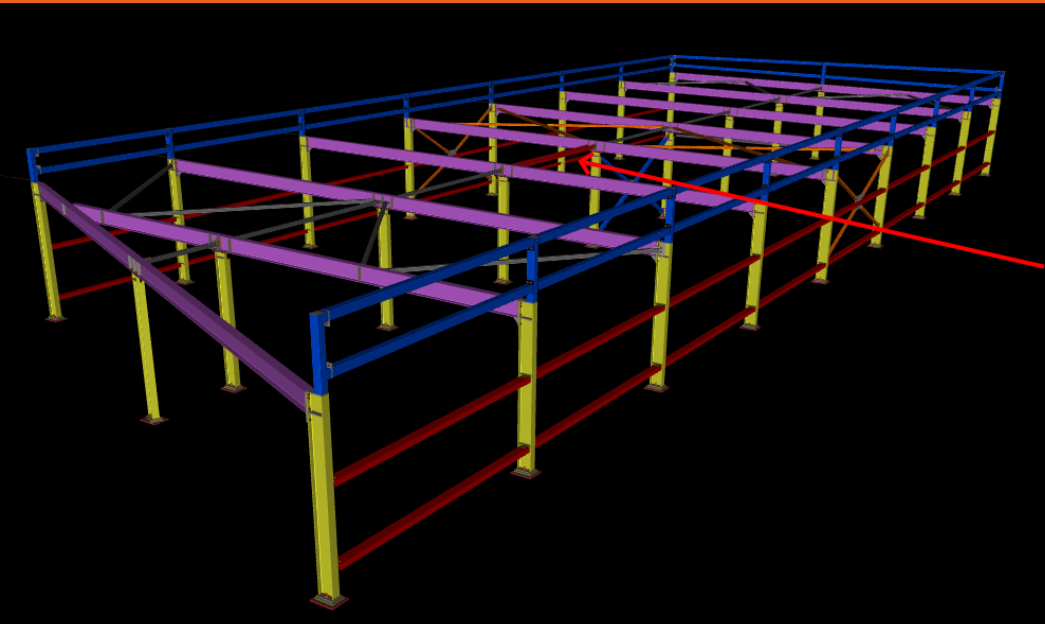
- Geometricky a materiálově nelineární analýza s imperfekcí
- Ztráta stability modelu/ integrity materiálu vzhledem k pevnosti
- Nebyla nalezena rovnováha v dalším iteračním kroku

MNA	✓	100.0 %
MNA Plates	✓	0.0 < 5.0 %
LRA		1.64
<b>GMNIA</b>	<b>✗</b>	<b>91.4 %</b>
GMNIA Plates	✓	0.1 < 5.0 %

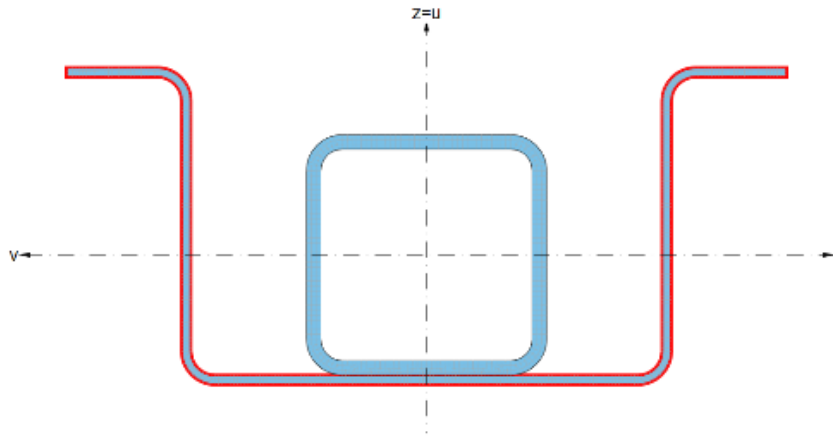
Stability issue detected

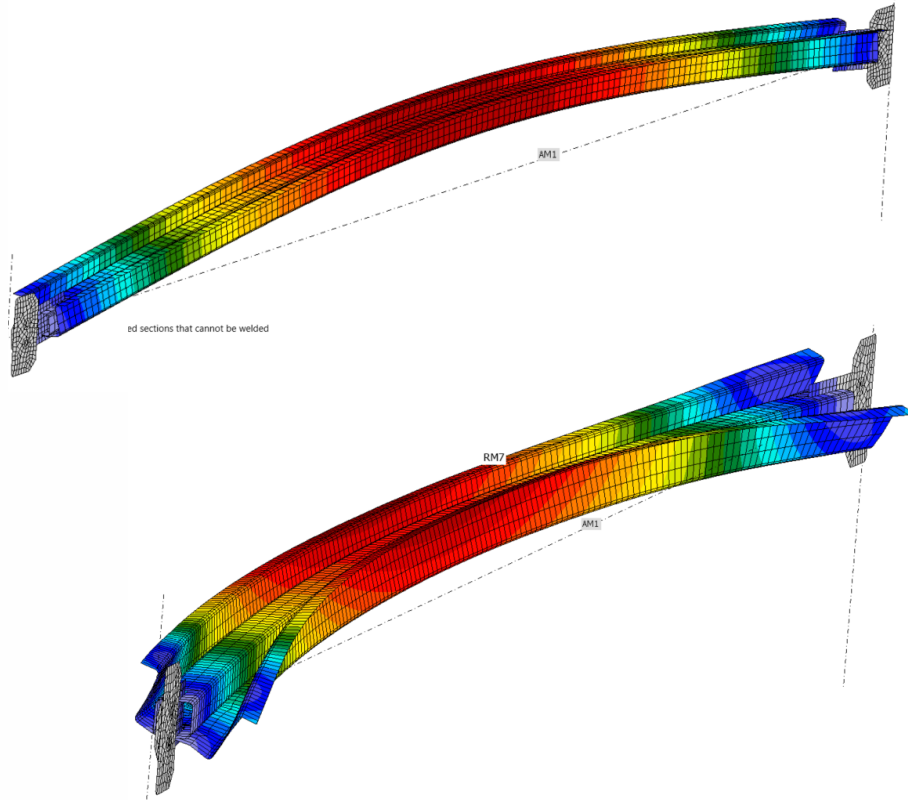






- Zesílení pomocí 2mm CFomega profilu
- Prvky jsou spojeny HILTI X-ENP2K





Buckling curve acc. to Table 6.1	elastic analysis $e_0 / L$	plastic analysis $e_0 / L$
$a_0$	1 / 350	1 / 300
a	1 / 300	1 / 250
b	1 / 250	1 / 200
c	1 / 200	1 / 150
d	1 / 150	1 / 100

$$e_0 := \frac{L}{150} = 18.97 \text{ mm}$$

Shape 1	Shape 2	Plastic strain [%]
+	+	0.01
-	+	0.2
+	-	0.01
-	-	0.1

Loads	Shape	Factor	Imperfection amplitude [mm]
LE1	1	3.57	-19
	2	6.38	19
	3	8.59	0
	4	8.66	0
	5	9.07	0
	6	9.07	0



- Analytické řešení je efektivní a přímočaré a není to tzv. blackbox řešení
- Nevýhodou je úzký okruh úloh a velká míra zjednodušení – okrajové podmínky, tuhost atd...
- Numerické řešení přináší univerzálnost a flexibilitu v rukou inženýra
- Nevýhodou může být náročnost výpočtu, citlivost chyby – vstupní data, inženýr musí věřit implementovanému řešení...
- Benefitem numerického řešení je vizuální přehled
- Tuhosti přípojů
- Kritické délky
- Interakce vlastních tvarů a intenzita kritického faktoru zatížení
- Vliv účinků druhého řádu

*Děkuji za pozornost*