



# Kdy nestačí normový postup pro posouzení klopení (a vzpěru)

Adam Kožoušek  
IDEA StatiCa

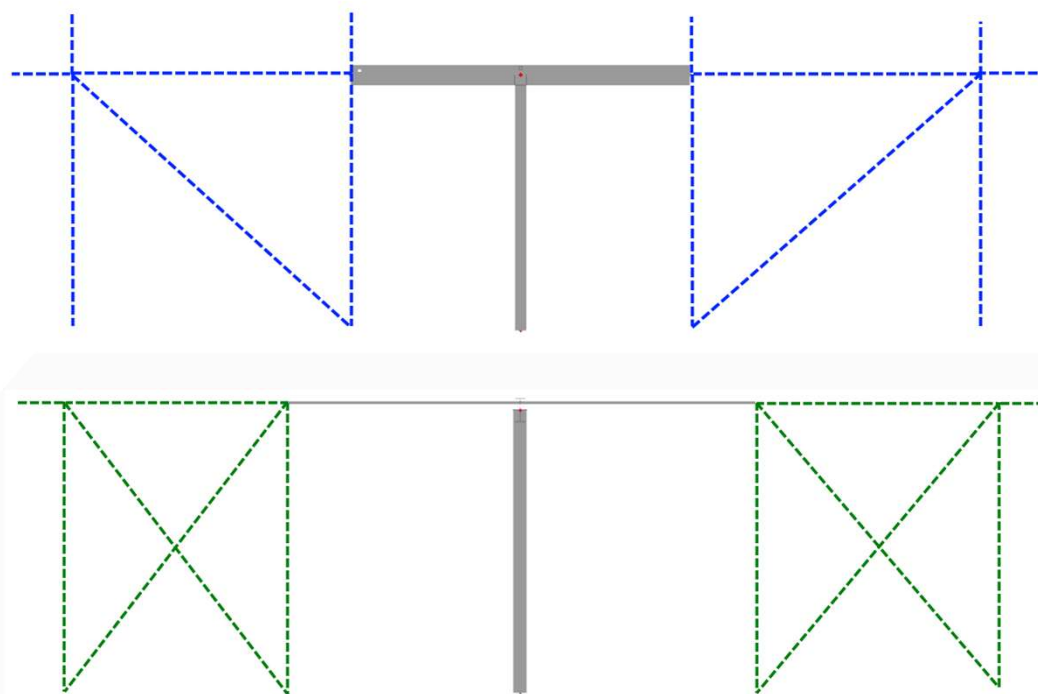
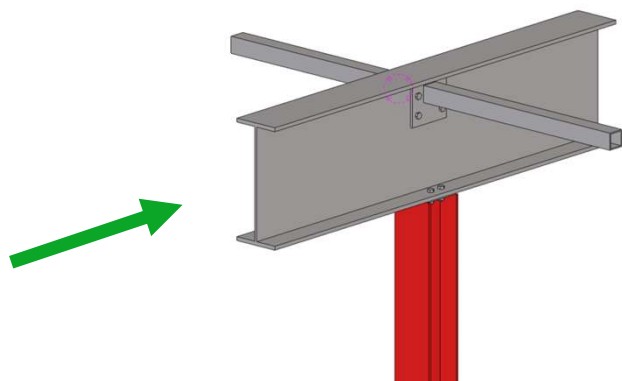


*Byla nebyla, projektovala se jedna anonymní kce v Nizozemí...*





*... a jedna její část byla navržena takto a ne jinak.*





*I tu, kde se vzal, tu se vzal, jeden statik...*

### Sloup

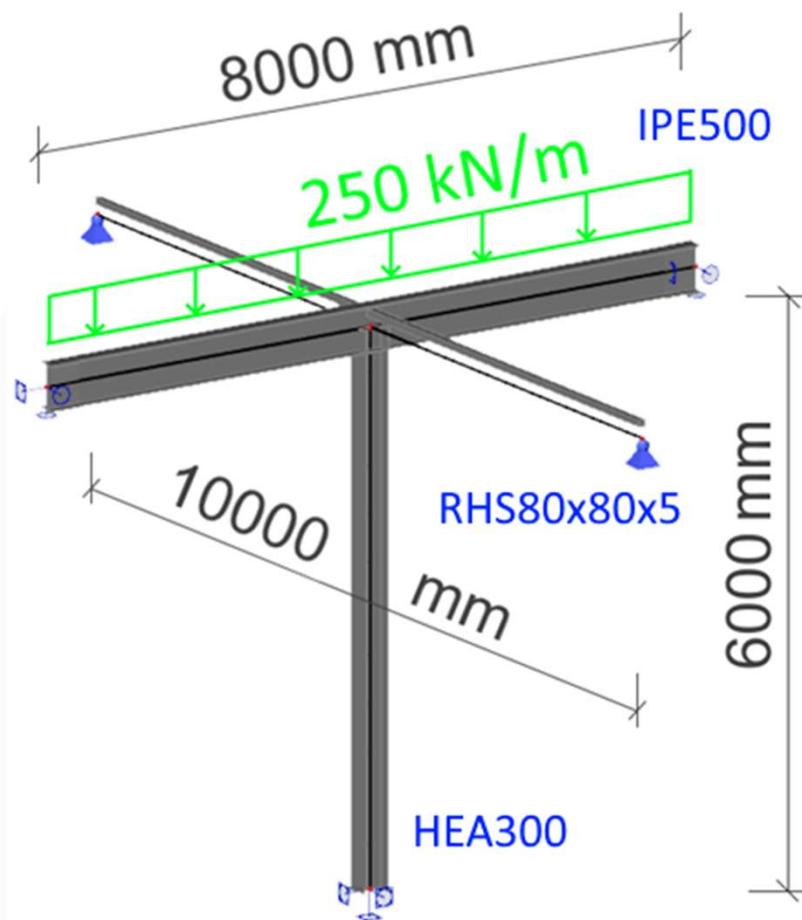
- Výška 6 m, průřez HEA 300, ocel S355

### Nosník

- Délka 8 m, průřez IPE 500, ocel S355
- Souvislé zatížení 250 kN/m

### Ztužující prvek

- Délka 10 m, průřez RHS 80x80x5, ocel S355





*...kci posoudil tak, jak se sluší a patří pomocí MKP, i stabilitu ověřil.*





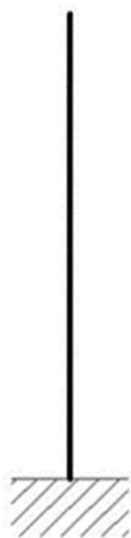
## Otázka pro publikum č. 1

Jaké schéma zvolí sličný statik(čka)  
pro určení vzpěrné délky sloupu?

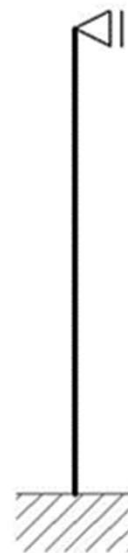


## Schéma pro určení vzpěrné délky sloupu?

$$L_{cr} = \beta \cdot L$$



A)  $\beta = 2$



B)  $\beta = 0,7$

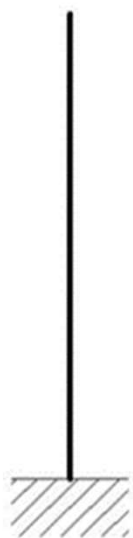


C)  $\beta = 0,5$

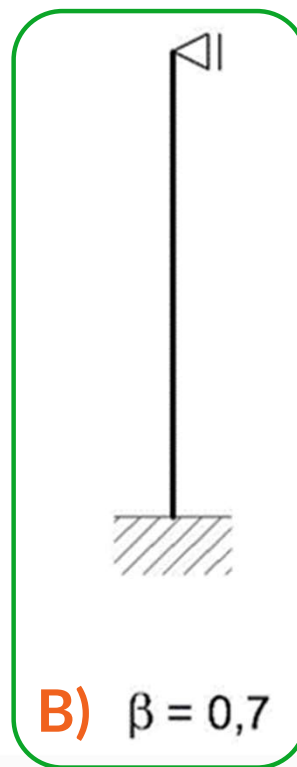


## Schéma pro určení vzpěrné délky sloupu!

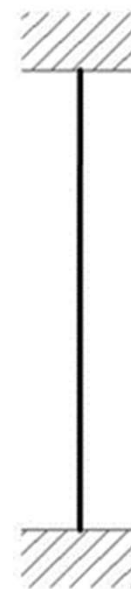
$$L_{cr} = \beta \cdot L$$



A)  $\beta = 2$



B)  $\beta = 0,7$



C)  $\beta = 0,5$





## Posouzení podle EN 1993-1-1

- Sloup na vzpěr (pouze tlaková síla  $N$ )
- Nosník na klopení (pouze moment  $M_y$ )

**Table 6.1: Imperfection factors for buckling curves**

Buckling curve	$\alpha_0$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$
Imperfection factor $\alpha$	0.13	0.21	0.34	0.49	0.76

$\alpha_y = 0.34$

$\phi_y = 0.5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2) = 0.63$

$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0.91$

$N_{b,Rdy} = \chi_y \cdot A \cdot f_y = 3645.6 \text{ kN}$

$N_{ed} = -1211.3 \text{ kN}$

$N_{b,Rdy} \leq N_{ed}$

$\eta_y = \frac{|N_{ed}|}{N_{b,Rdy}} = 33\%$

**Table 6.1: Imperfection factors for buckling curves**

Buckling curve	$\alpha_0$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$
Imperfection factor $\alpha$	0.13	0.21	0.34	0.49	0.76

$\alpha_z = 0.49$

$\phi_z = 0.5 \cdot (1 + \alpha_z \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2) = 0.90$

$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.70$

$N_{b,Rdz} = \chi_z \cdot A \cdot f_y = 2810.1 \text{ kN}$

$N_{ed} = -1211.3 \text{ kN}$

$N_{b,Rdz} \leq N_{ed}$

$\eta_z = \frac{|N_{ed}|}{N_{b,Rdz}} = 43\%$

$M_{y,ed} = -330.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Posouzení:

$l_{LT} = 0.5 \cdot L = 3.5 \text{ m}$

$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot l_{LT}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = 1.71$

$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = 3.73$

$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \pi \cdot \frac{\sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{l_{LT}} = 1905.42 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = 0.6$

$\phi_{LT} = 0.5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2) = 0.75$

$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = 0.73$

$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y = 499.37 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$M_{b,Rd} \leq M_{y,ed}$

$\eta = \frac{|M_{y,ed}|}{M_{b,Rd}} = 66\%$

Cross-section	Limits	Buckling curve
Rolled I-sections	$h/b \leq 2$ $h/b > 2$	<b>b</b> c
Welded I-sections	$h/b \leq 2$ $h/b > 2$	c d
Other cross-sections		d

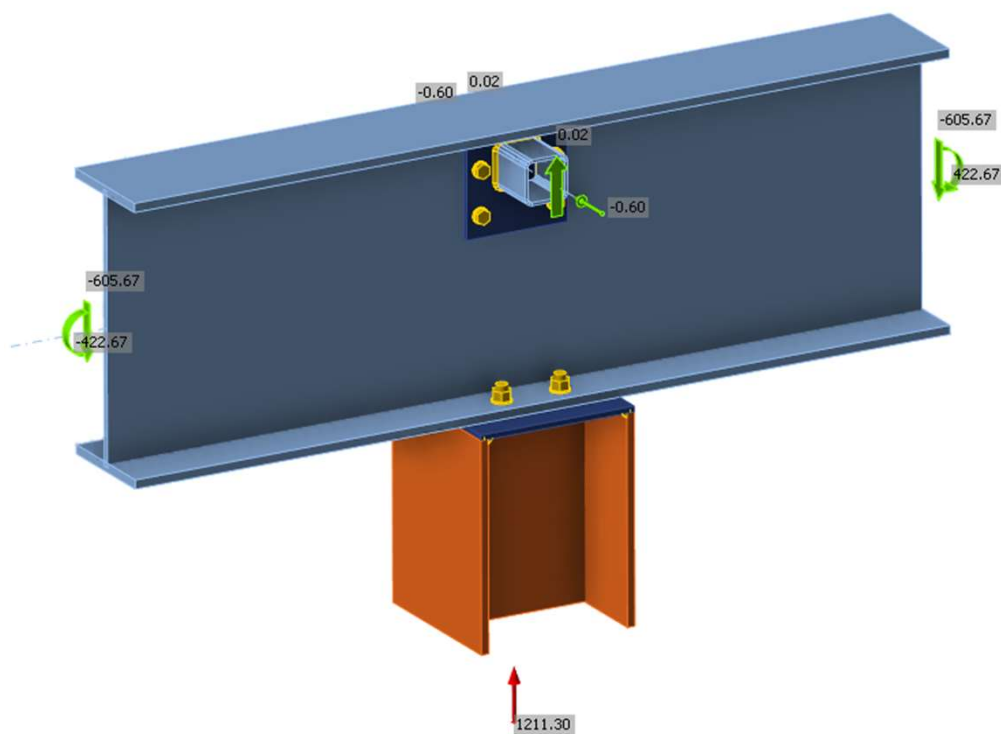
Buckling curve	a	b	c	d
Imperfection factor $\alpha_0$	0.21	0.34	0.49	0.76

$\alpha_{LT} = 0.34$

$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \cdot \lambda_{LT} - C_3 \cdot \lambda_{LT}^2) \cdot \frac{f_y}{E}}$



## Posouzení styčnicku pomocí IDEA StatiCa Connection



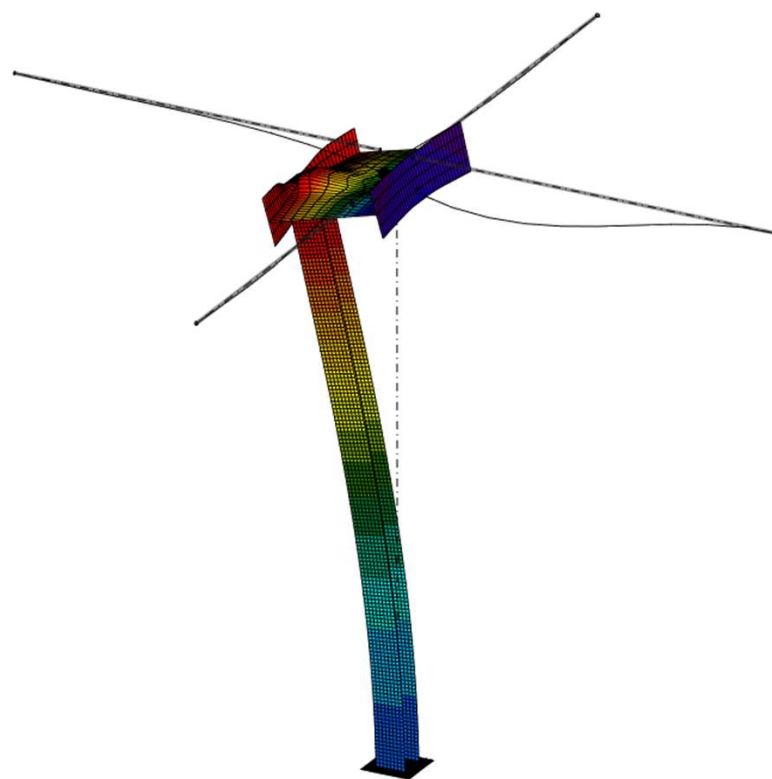


## Otázka pro publikum č. 2

Co je špatně?  
(Proč jsem na tomto workshopu?!)

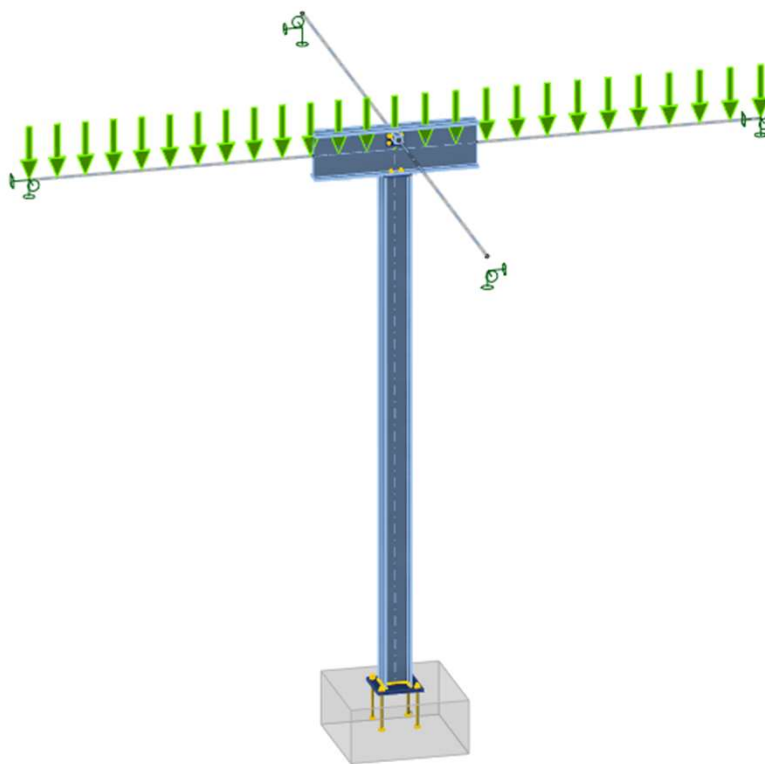


*I jednoho dne se stalo, že ubohá kce havarovala...*





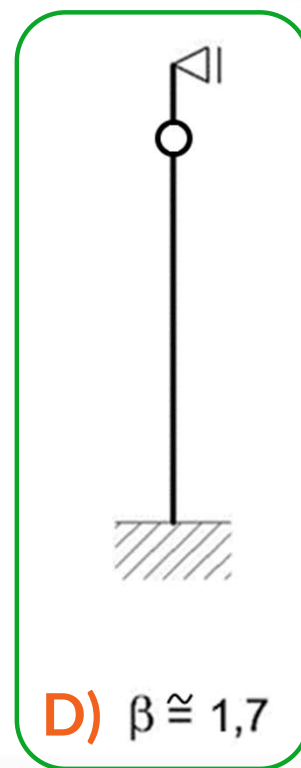
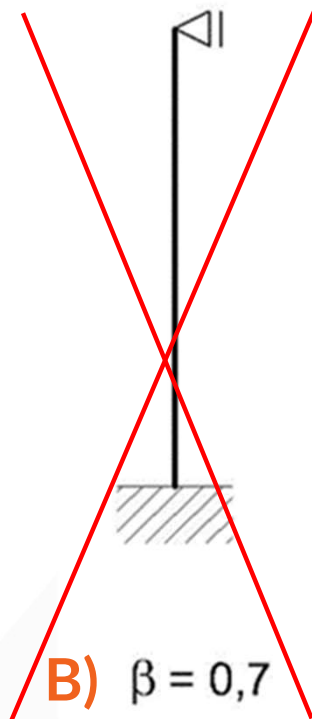
## Analýza a posouzení výseku kce v IDEA StatiCa Member





## Schéma pro určení vzpěrné délky sloupu!

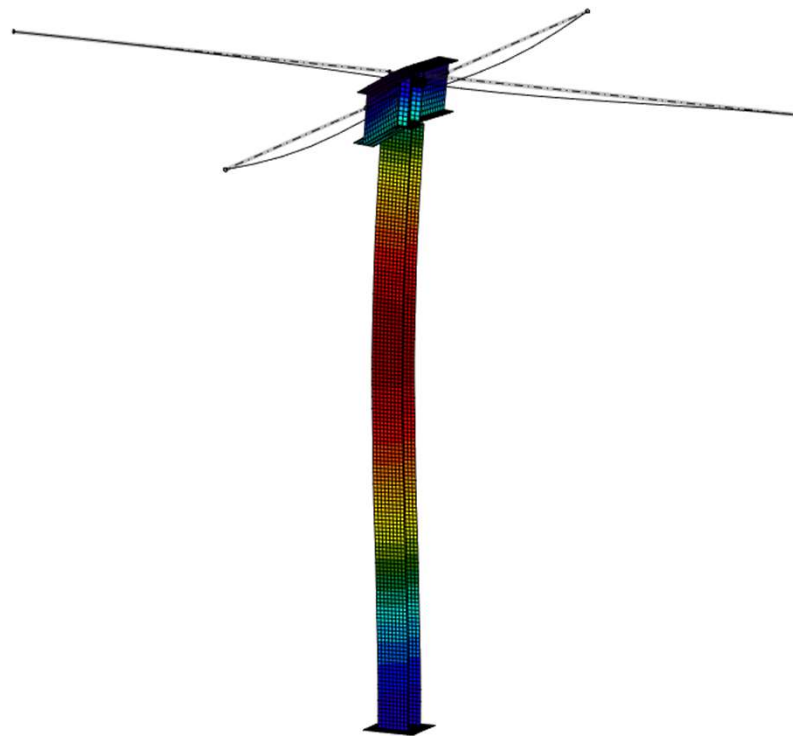
$$L_{cr} = \beta \cdot L$$





*... ale kce se opravila, vyztužila a se statikem žijí šťastně dodnes.*

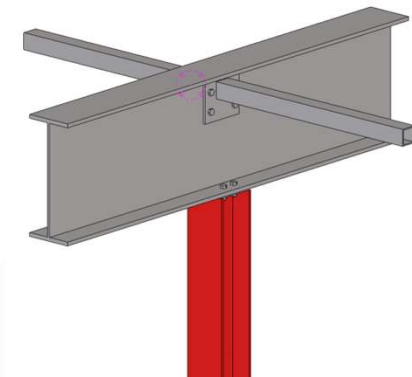
MNA	✓	100.0 %
MNA Plates	✓	0.0 < 5.0 %
LBA		5.80
GMNIA	✓	100.0 %
GMNIA Plates	✓	0.0 < 5.0 %





## Shrnutí problému a ponaučení

- Analytický postup je zjednodušení, může vést k **potenciální chybě**
- O stabilitě celé konstrukce **rozhodují malé detaily**
- Nikdy nenavrhněte podobný detail **bez výztuhy!** (nebo Memberu 😊)







## Shrnutí problému a ponaučení

**From:** Frans Bijlaard - CITG

Best to all,

The construction on the drawing is very dangerous. The stabilizing effect of the girder body is very small, say zero. The lower flange of the beam can move laterally, creating a buckling length for the supporting column that is many times greater than the system length of the column.

During the time I worked at TNO, I analysed a claim (collapse) in which exactly this unholy solution was chosen.

The constructor at the time did not agree with me, but he had the misfortune that the proof of his dome choice was on the ground.

SO DON'T DO IT THIS WAY

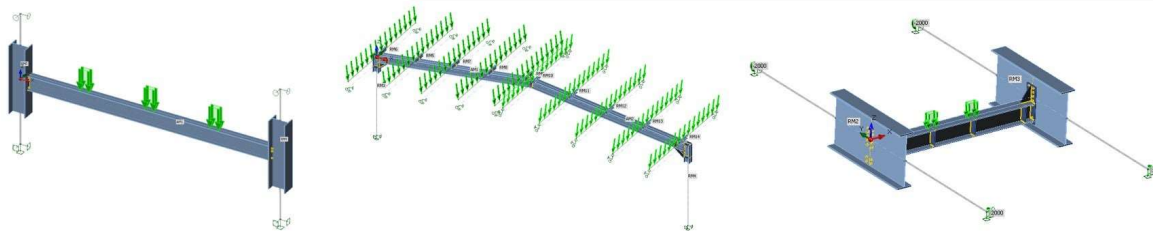
Best regards,

Frans



## Výhody aplikace IDEA StatiCa Member

- **Přesná analýza** výseku kce  
(tuhost přípojí, imperfekce, vázané kroucení, deplanace průřezu, excetricity, nelinearita)
- **Vizualizace** chování kce  
(reálná představa, jak kce reaguje, ne jen čísla dle vzorců)
- **Jednoduchost**  
(žádné určování vzpěrné délky, vše automaticky v jednom modelu)

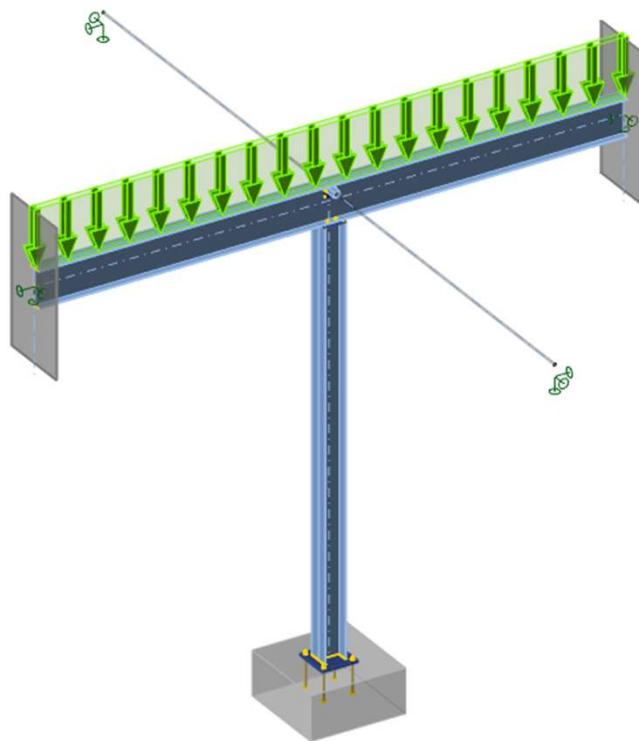




*Calculate yesterday's estimates*



## IDEA StatiCa verze 23.1 – dva analyzované prvky a “tuhá podpora”





- Příběh o kci – kce v Nizozemí, požadavky na takovto provedení, kce pokračuje ztužujícími prvky
- Postup Statika analyticky
- Otázka č. 1 – které statické schema byste zvolili pro posouzení vzpěru sloupu
- Ukázka analytického výpočtu sloup + nosník – all OK
- Otázka č. 2 – proč spadla kce?
- Ponaučení –
  - 1) o stabilitě celé konstrukce rozhodují male detaily
  - 2) zjednodušený úsudek může vézt ke zjednodušení chyby
  - 3) nikdy nenavrhněte podobné detaily bez výztuhy stojiny (nebo Memberu)
- Model s tuhými podporami
- Shrnutí membru (tuhost přípojů, deplanace průřezu, tuhost kotvení, vázané kroucení, všechno v 1 modelu automaticky; nástroj pro detailní analýzu ocel. Kcí)