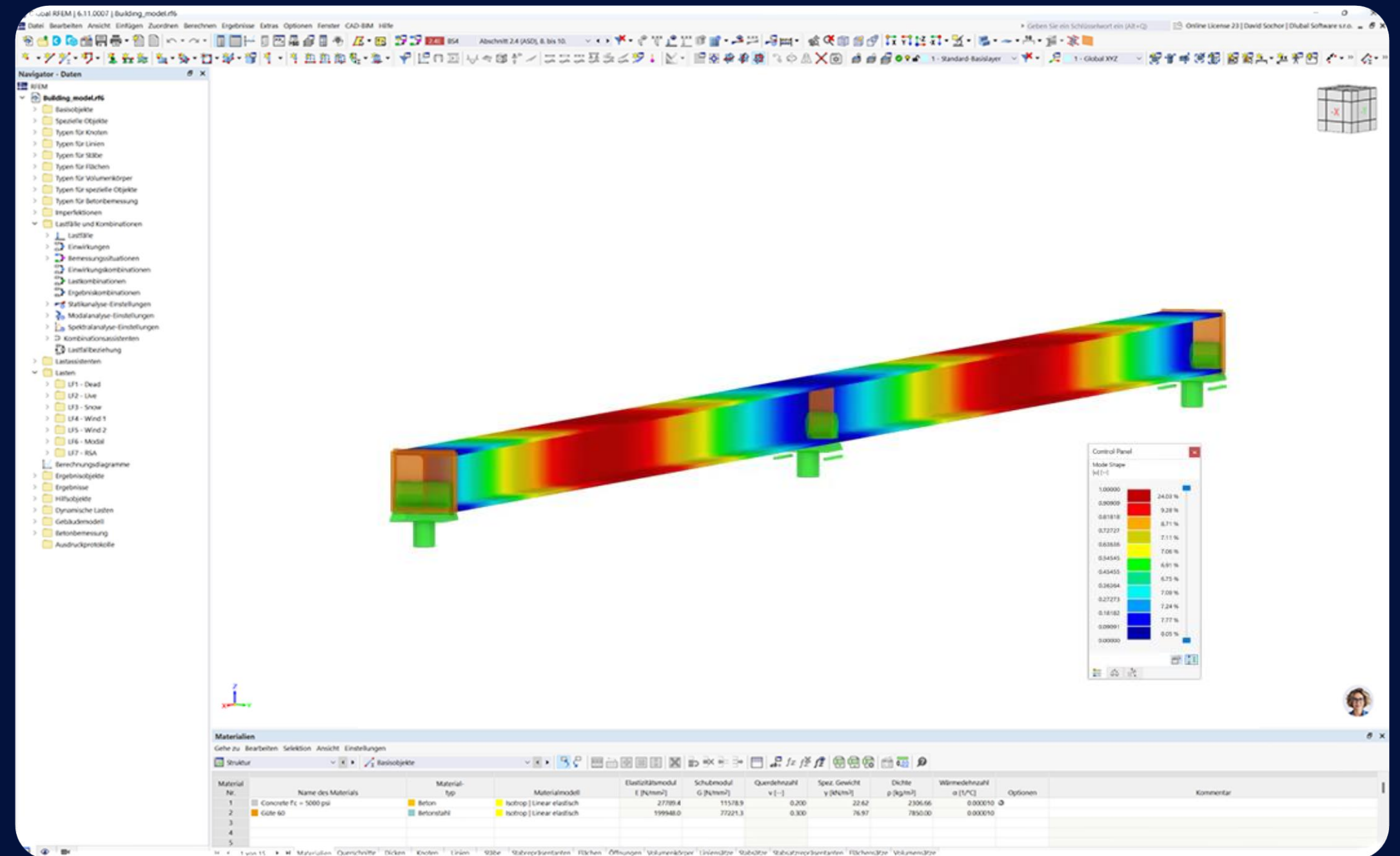


Webinář

# Dlubal

## Stabilitní analýza s využitím sedmi stupňů volnosti



[www.dlubal.com](http://www.dlubal.com)





**Ing. Petr Míchal**

Prezentace

Péče o zákazníky & Marketing  
Dlubal Software s.r.o.



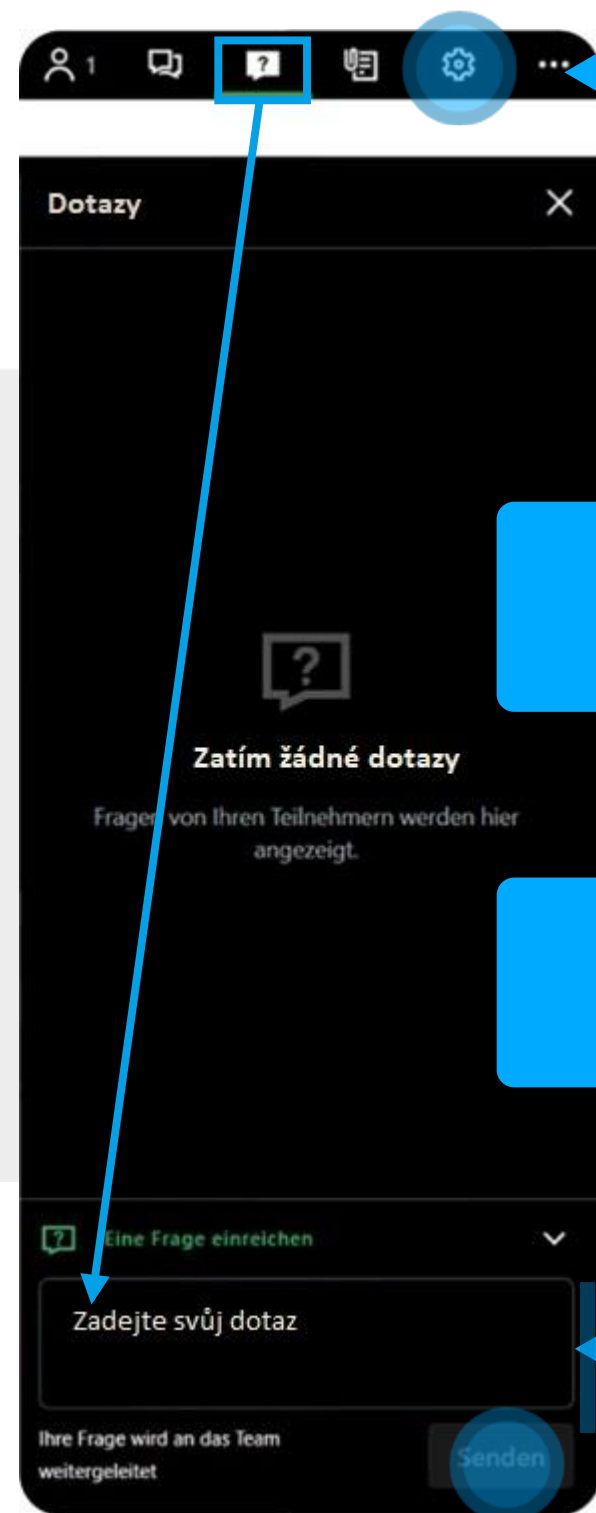
**Ing. Robert Martinec**

Dotazy

Péče o zákazníky & Marketing  
Dlubal Software s.r.o.

# Otázky v průběhu webináře

**1**  
**Během  
webináře**



**Nastavení  
zvuku**

**Položit  
otázku**

později **2**  
**info@dlubal.cz**

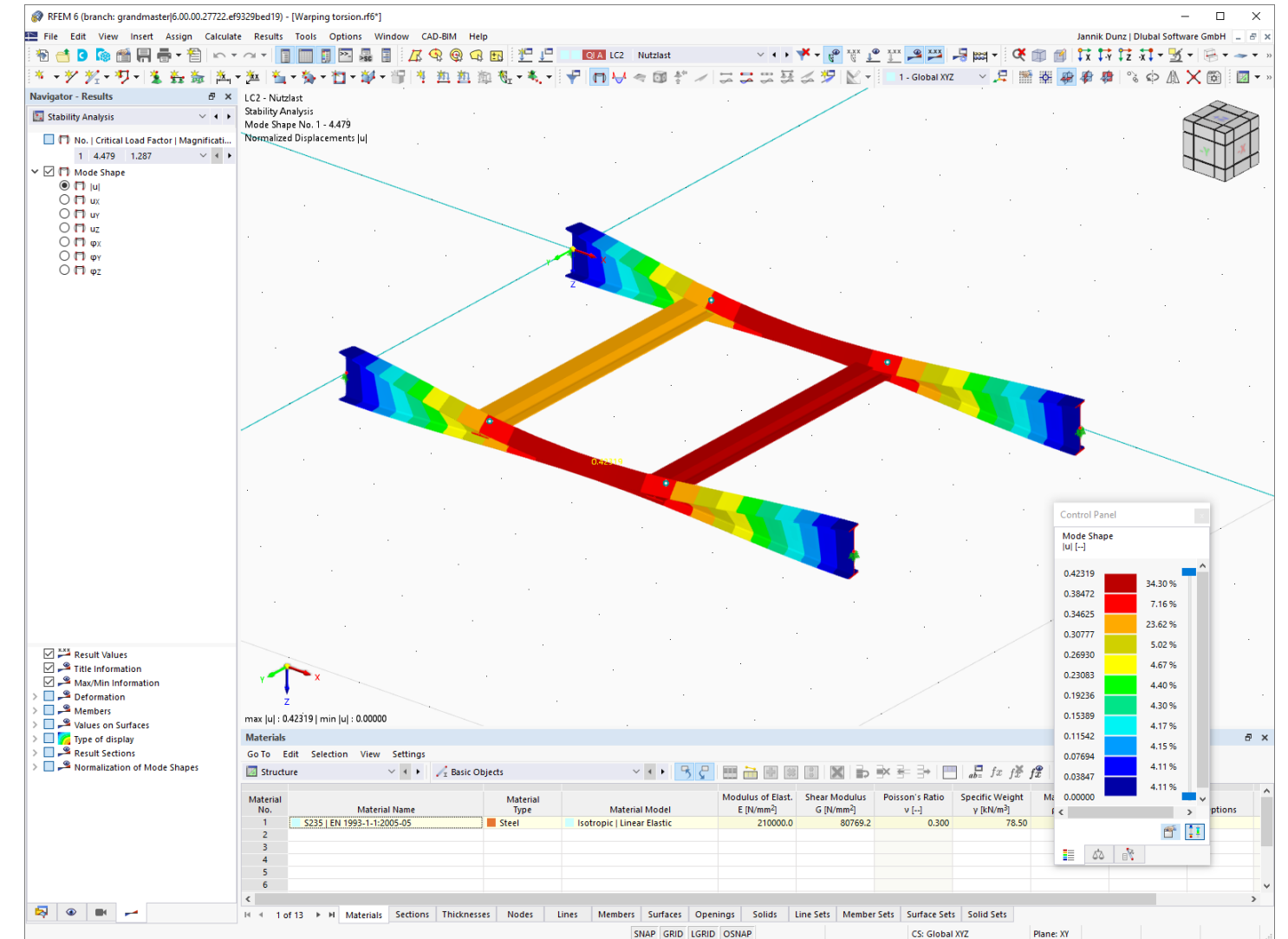
# Obsah

1 Vázané kroucení a vliv tvaru průřezu

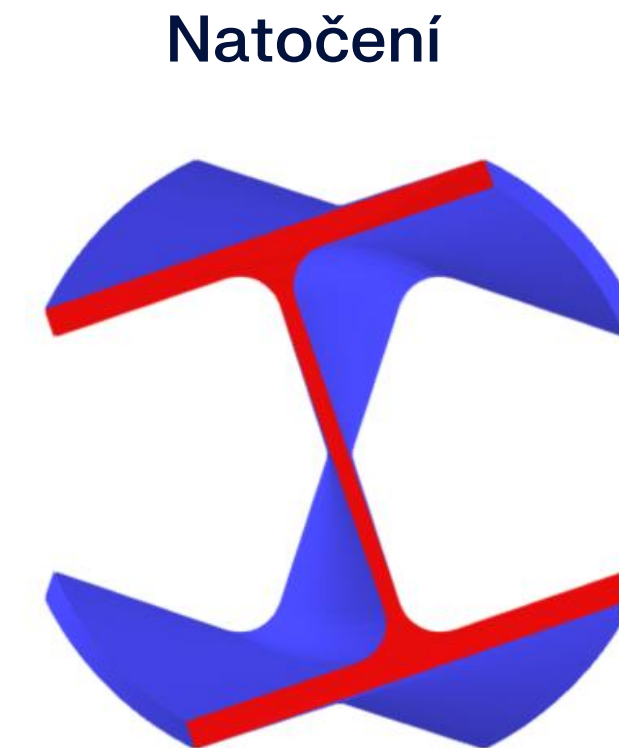
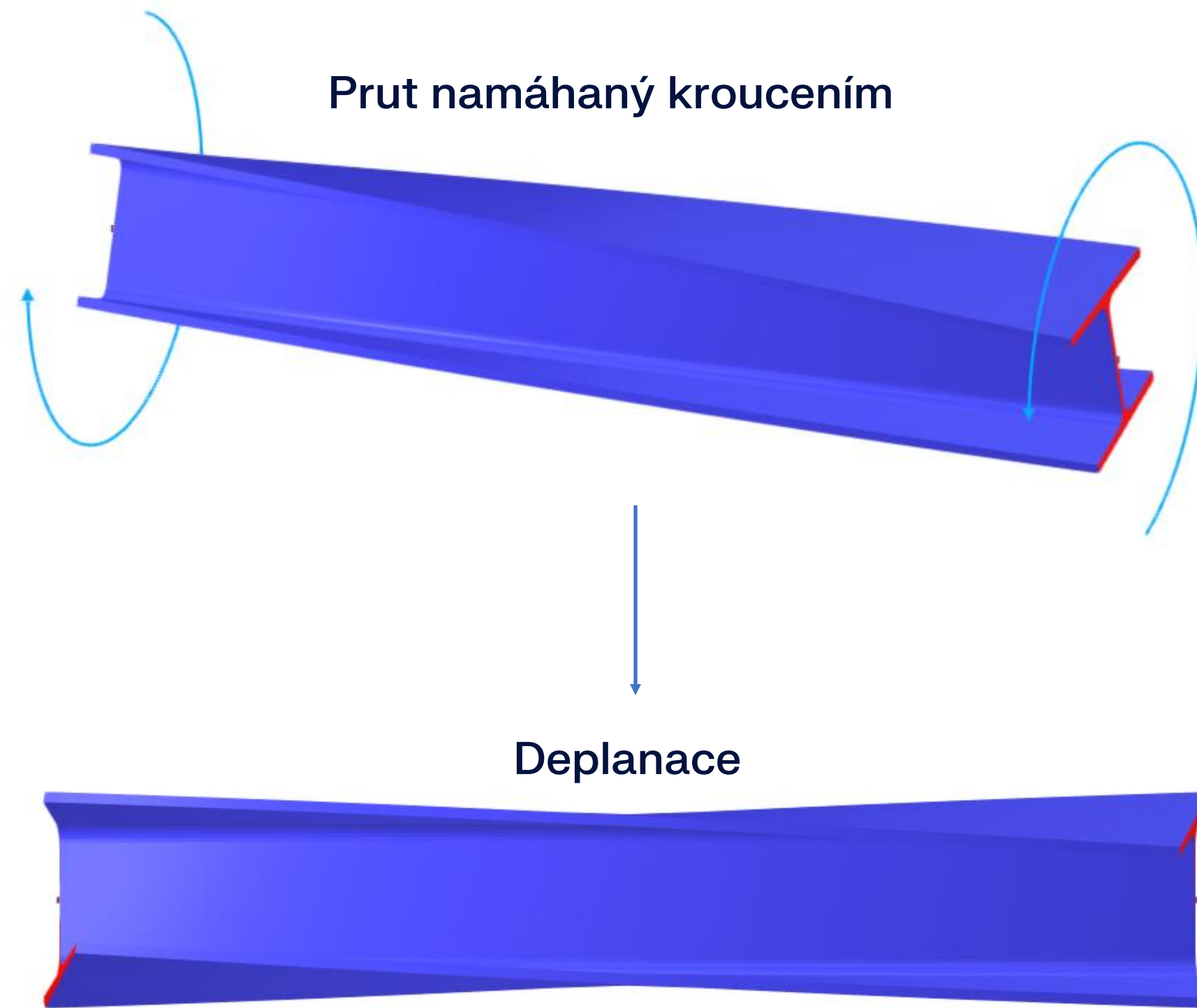
2 Rozdíly mezi 6 a 7 stupni volnosti

3 Stabilitní analýza dle EN 1993

4 Praktické příklady použití



# Obecný případ kroucení



# Základní rovnice pro kroucení

- Diferenciální rovnice kroucení

$$M_T = M_{T,pri} + M_{T,sek}$$

$$M_T = G * I_t * \varphi_x + E * I_\omega * \varphi'_x$$



Tuhost v kroucení



Tuhost deplanace

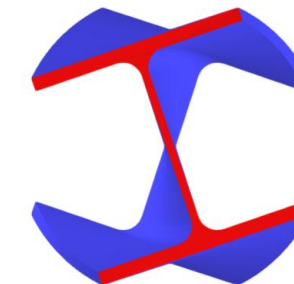
- Součinitel kroucení prutu

$$\varepsilon_t = L * \sqrt{\frac{GI_t}{EI_\omega}}$$

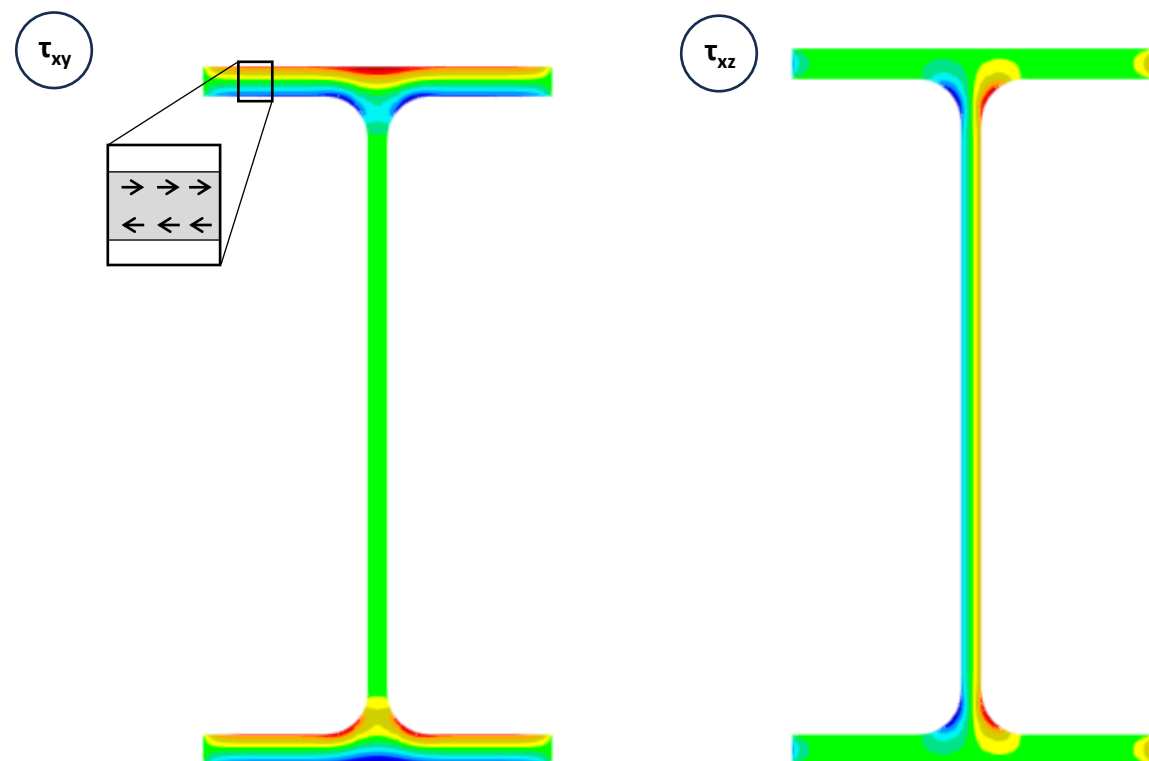
$G$	Modul pružnosti ve smyku
$E$	Modul pružnosti v tahu, v tlaku
$I_t$	Moment tuhosti v kroucení
$I_\omega$	Výsečový moment setrvačnosti
$\varphi_x$	Úhel zkroucení
$\varphi'_x$	Deplanace
$L$	Délka prutu

# Prosté kroucení (St. Venant, 6 st. volnosti)

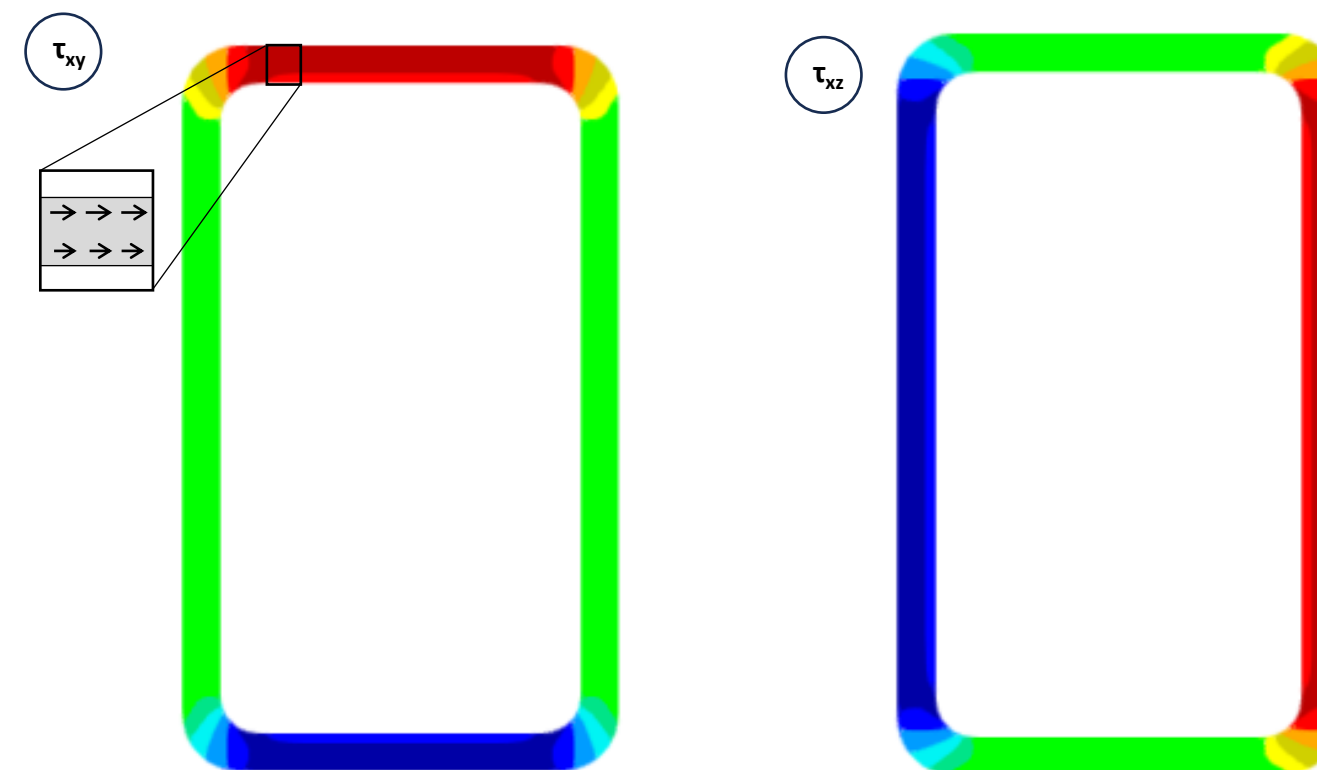
- Prosté natočení prutu působením primárního kroucení (St. Venant)
- V průřezu vznikají (primární) smyková napětí
- Integral primárních smykových napětí po průřezu se rovná primárnímu krouticímu momentu  $M_x$ , při



Průběh primárního smykového napětí na **otevřeném** průřezu

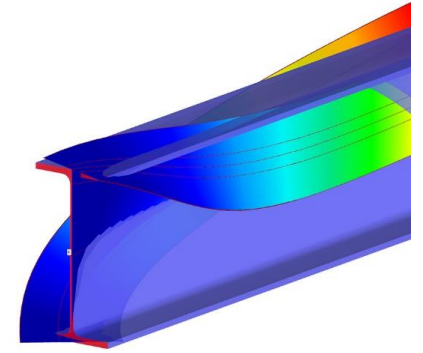


Průběh primárního smykového napětí na **uzavřeném** průřezu



# Vázané kroucení (7 st. volnosti)

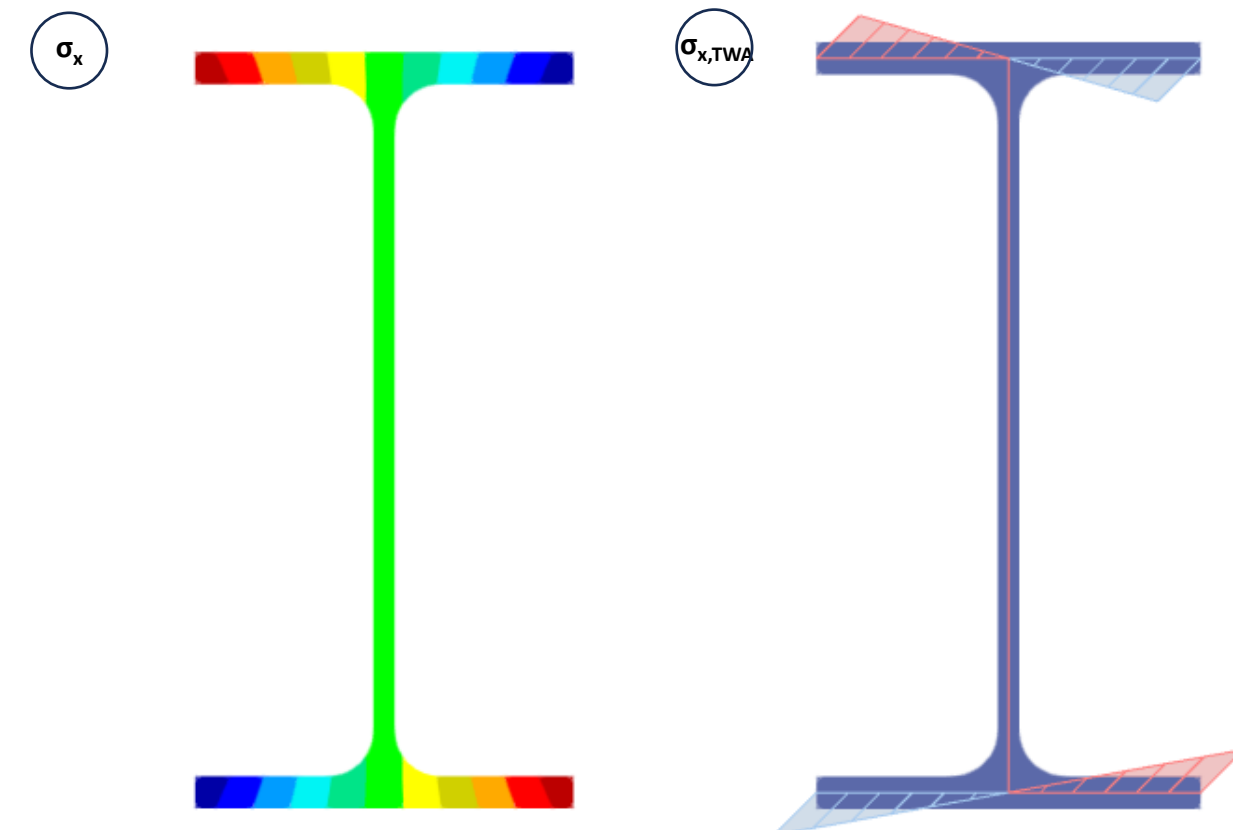
- Deplanace průřezu (vybočení z roviny průřezu)
- Je-li deplanaci bráněno, vznikají normálová napětí a (sekundární) smyková napětí
- Integral normálových napětí po průřezu se rovná momentu  $M\omega$  [Síla x plocha, např.  $\text{kNm}^2$ ]
- Integral sekundárních smykových napětí po průřezu se rovná sekundárnímu krouticímu momentu  $M_{x,sec}$



Průběh sekundárního smykového napětí na **otevřeném** průřezu



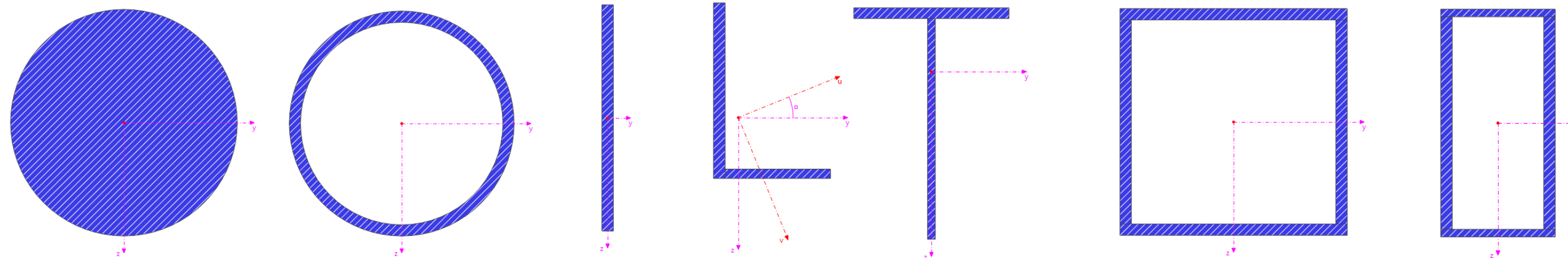
Průběh sekundárního normálového napětí na **otevřeném** průřezu



# Vliv tvaru průřezu

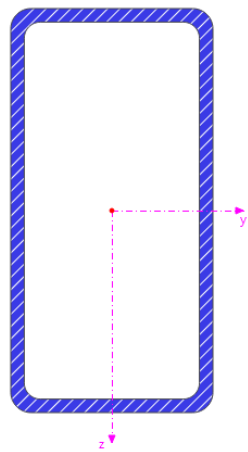
## 1. Průřezy odolné proti deplanaci

- Kruhové plné/duté průřezy
- Tenkostěnné průřezy, jejich části se stýkají v jednom bodě
- Čtvercové průřezy se stěnami stejné tloušťky
- Obdélníkové průřezy určitých rozměrů

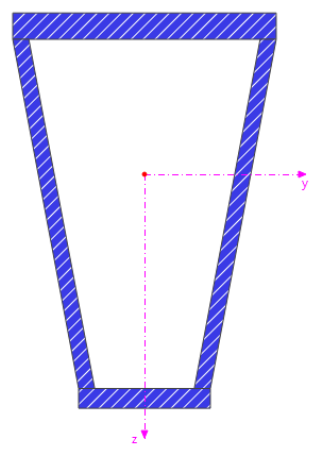


# Vliv tvaru průřezu

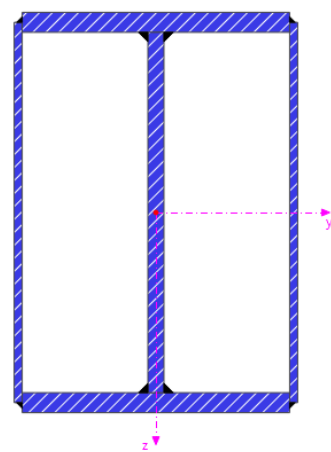
1. Průřezy odolné proti deplanaci
2. Průřezy mírně deplanující
  - Uzavřené průřezy, které nespádají do kategorie 1
  - Plné průřezy (s výjimkami)
  - Doporučení: součinitel kroucení pro pruty  $\varepsilon_t > 10$



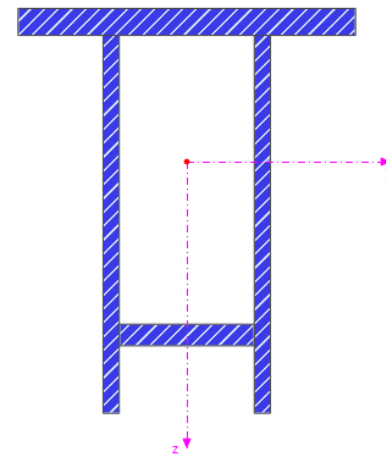
$$\varepsilon_t \approx 29$$



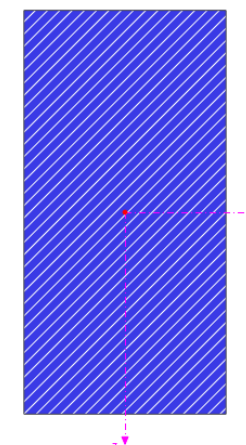
$$\varepsilon_t \approx 27$$



$$\varepsilon_t \approx 32$$



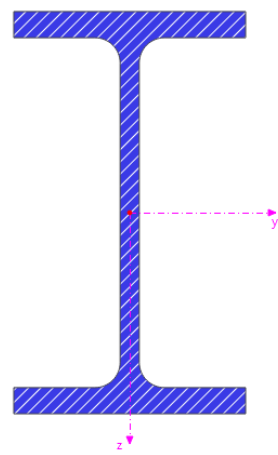
$$\varepsilon_t \approx 13$$



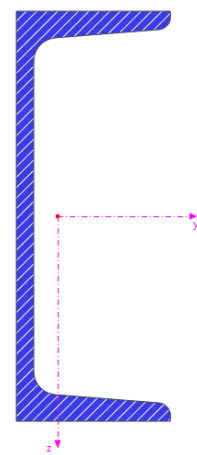
$$\varepsilon_t \approx 40$$

# Vliv tvaru průřezu

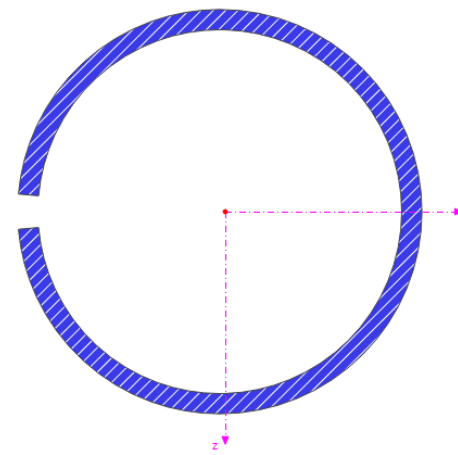
1. Průřezy odolné proti deplanaci
2. Průřezy částečně deplanující
3. Průřezy deplanující
  - Otevřené průřezy, které nespádají do kategorie 1



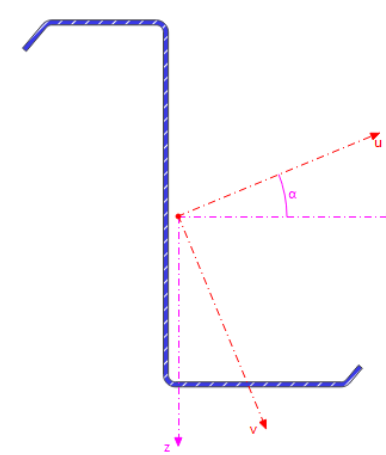
$$\varepsilon_t \approx 1,4$$



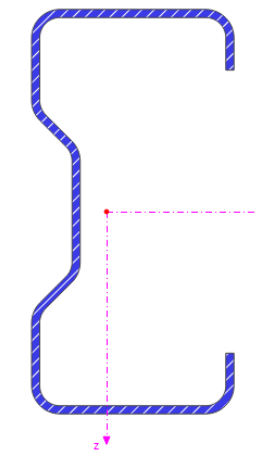
$$\varepsilon_t \approx 2,2$$



$$\varepsilon_t \approx 0,6$$



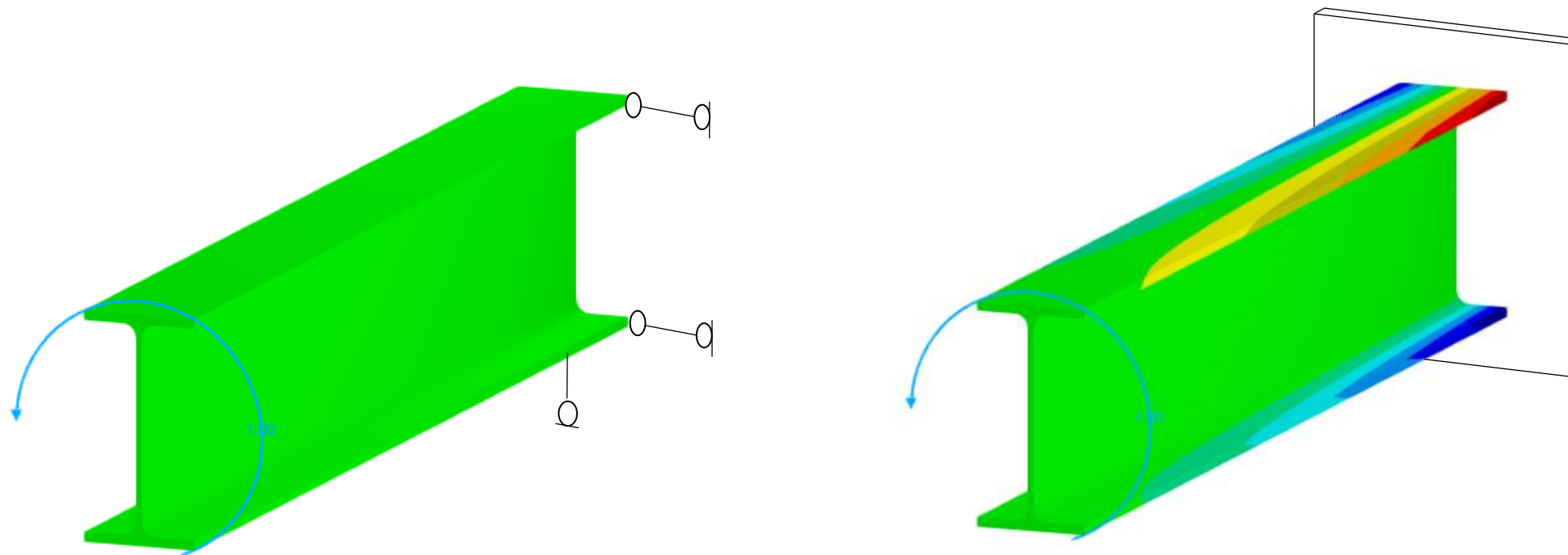
$$\varepsilon_t \approx 0,2$$



$$\varepsilon_t \approx 0,4$$

# Zábrany proti deplanaci

Deplanaci průřezu je zabráněno...  
... pokud jsou zavedeny okrajové podmínky pro zabránění deplanaci

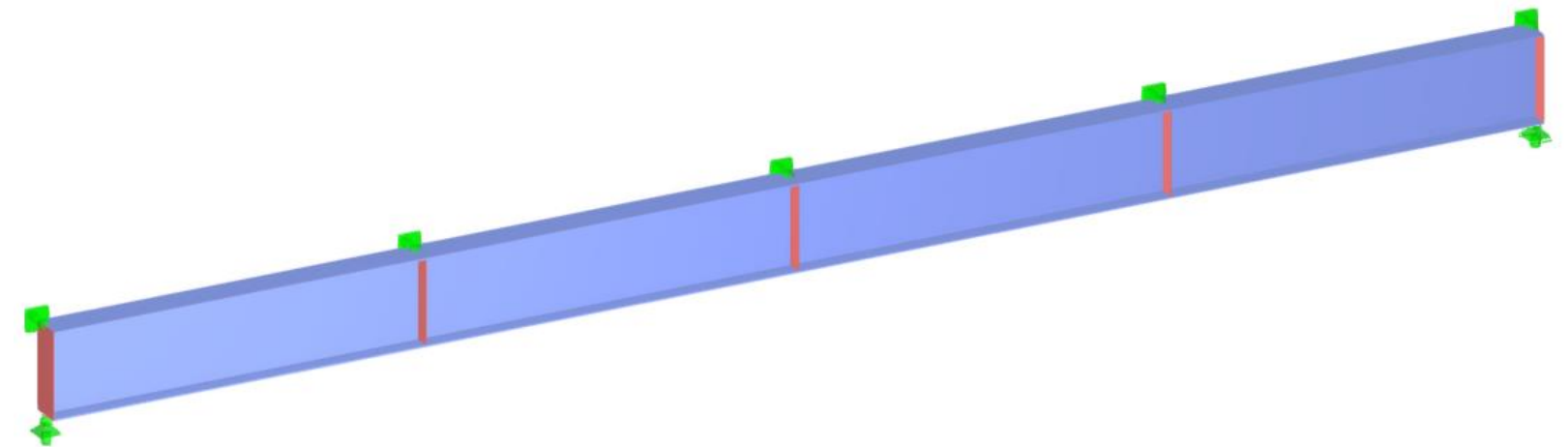
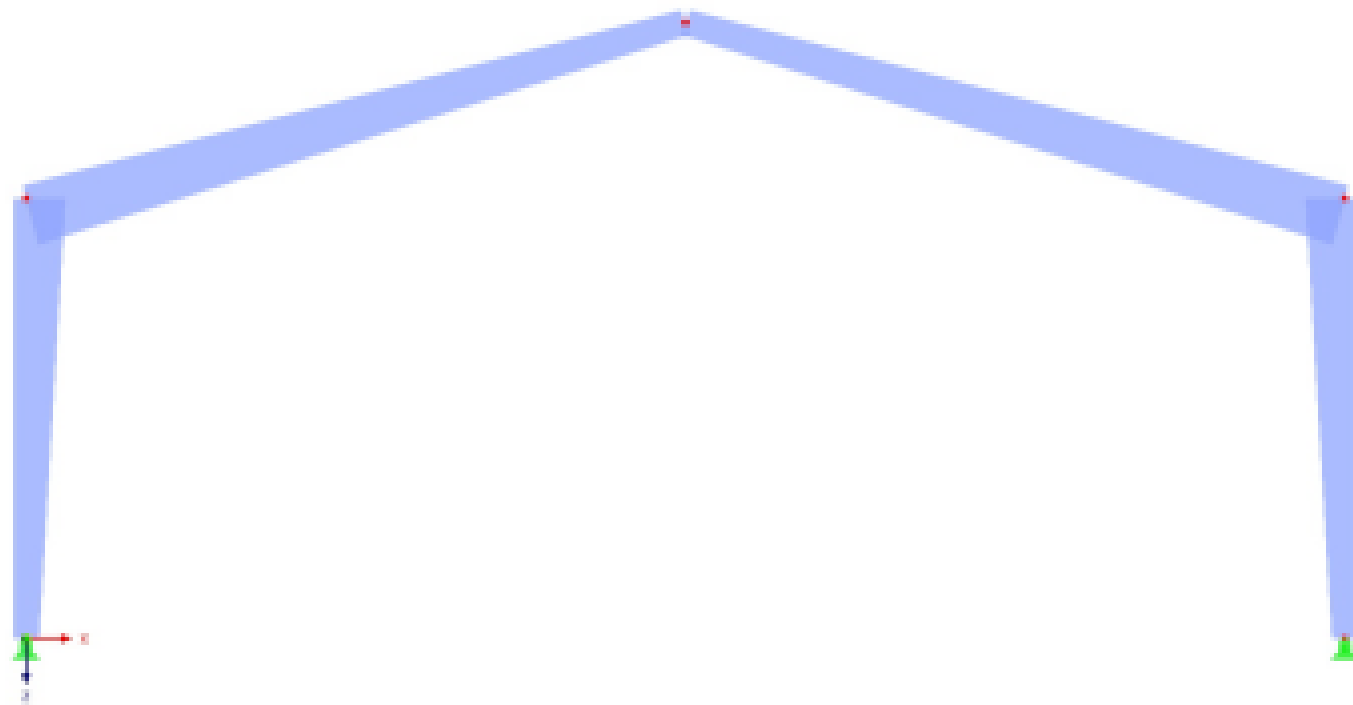


# Zábrany proti deplanaci

Deplanaci průřezu je zabráněno...

... pokud jsou zavedeny okrajové podmínky pro zabránění deplanaci

... se mění tuhost v kroucení a deplanaci po délce prutu



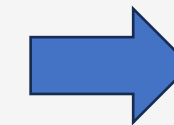
# Zábrany proti deplanaci

Deplanaci průřezu je zabráněno...

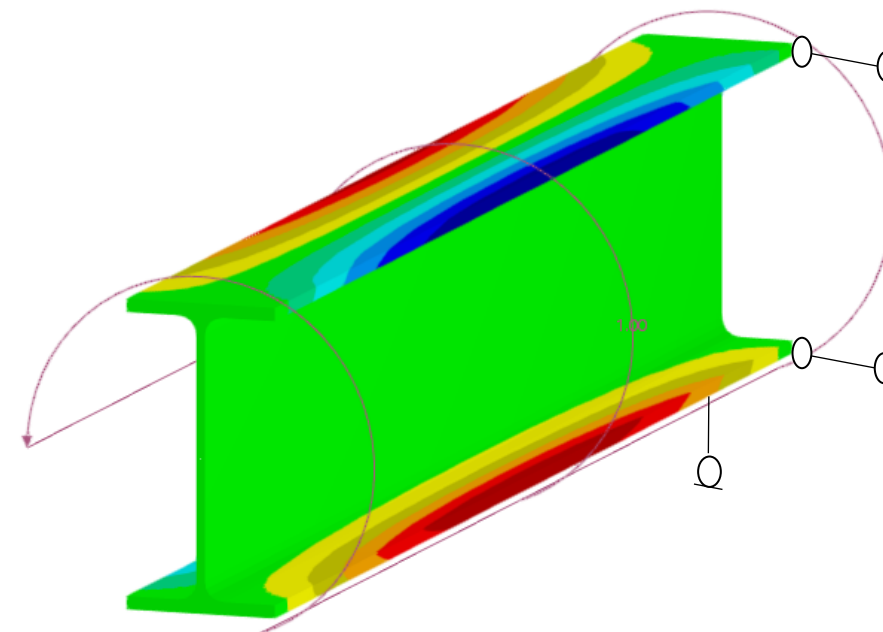
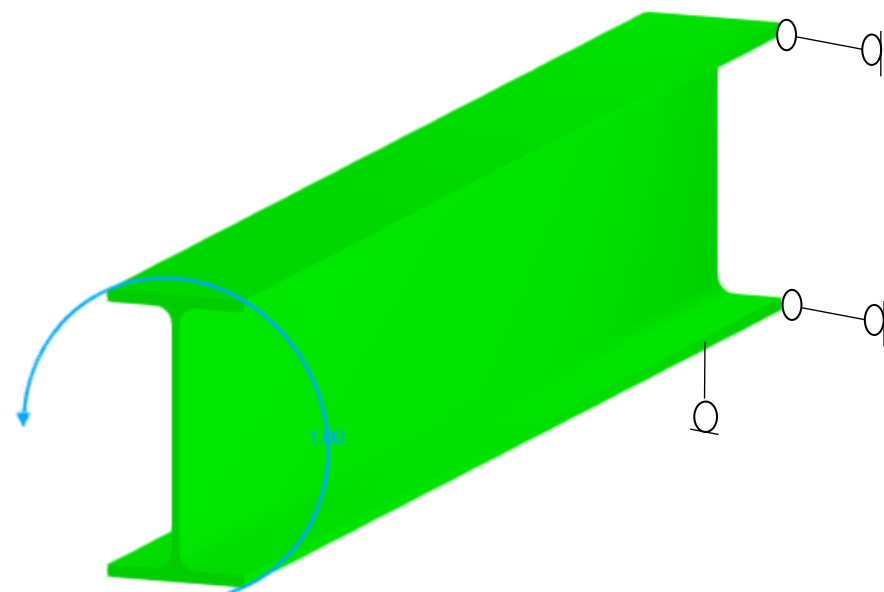
... pokud jsou zavedeny okrajové podmínky pro zabránění deplanaci

... se mění tuhost v kroucení a deplanaci po délce prutu

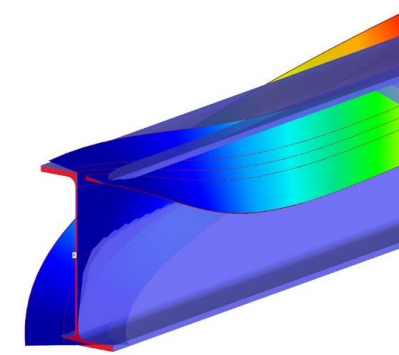
... krouticí moment není konstantní



Vázané kroucení vzniká u průřezů náchylných k deplanaci namáhaných kroucením, u kterých je nějakým způsobem zabráněno deplanaci



# Posouzení stability dle EN 1993



1

Globální + lokální imperfekce  
a zohlednění všech prostorových  
efektů ve statické analýze



Posouzení průřezu  
s „reálnými“ vnitřními silami podle  
teorie II. řádu

2

Stanovení vnitřních sil bez nebo jen  
s částečným zohledněním imperfekcí nebo  
vlivů způsobených deformací konstrukce



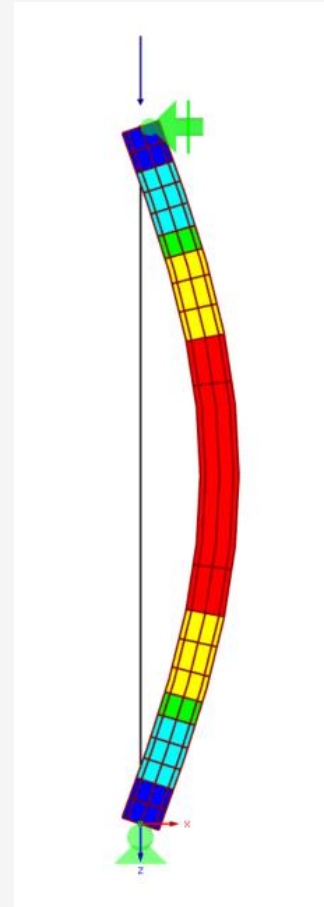
Všechny nezohledněné vlivy musí být  
obsaženy v metodě posouzení

# Posouzení stability dle EN 1993

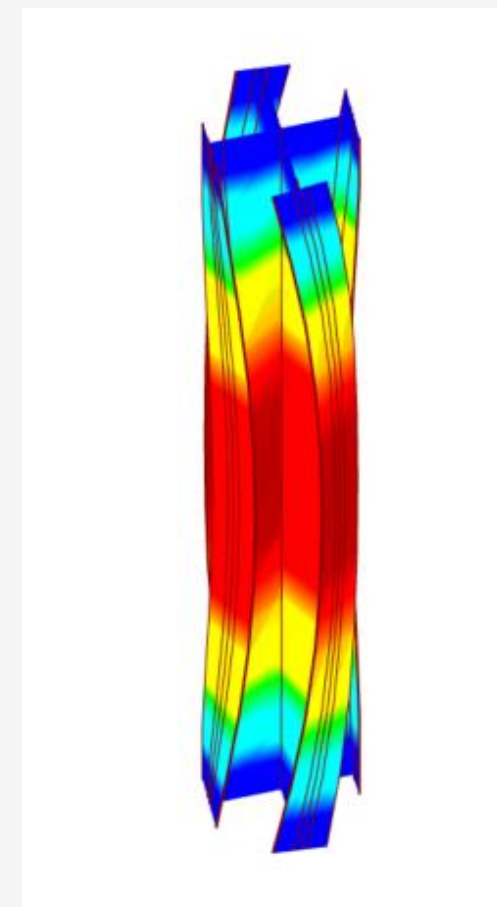
$$\alpha_{cr} = \frac{N_{cr,min}}{N_{Ed}}$$

nebo

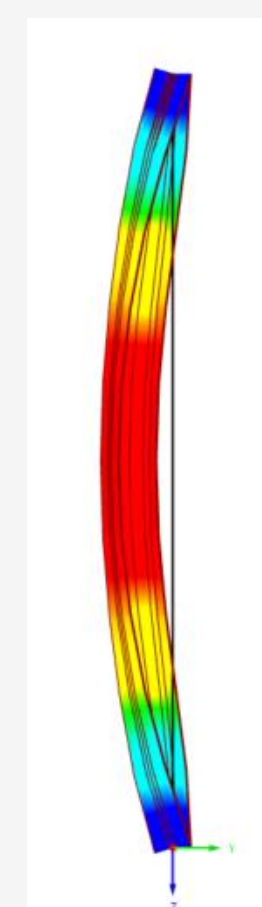
$$\alpha_{cr} = \frac{M_{cr}}{M_{Ed}}$$



Rovinný vzpěr  
 $N_{cr,y/z}$  ;  $N_{cr,u/v}$









Vybočení zkroucením  
 $N_{cr,T}$



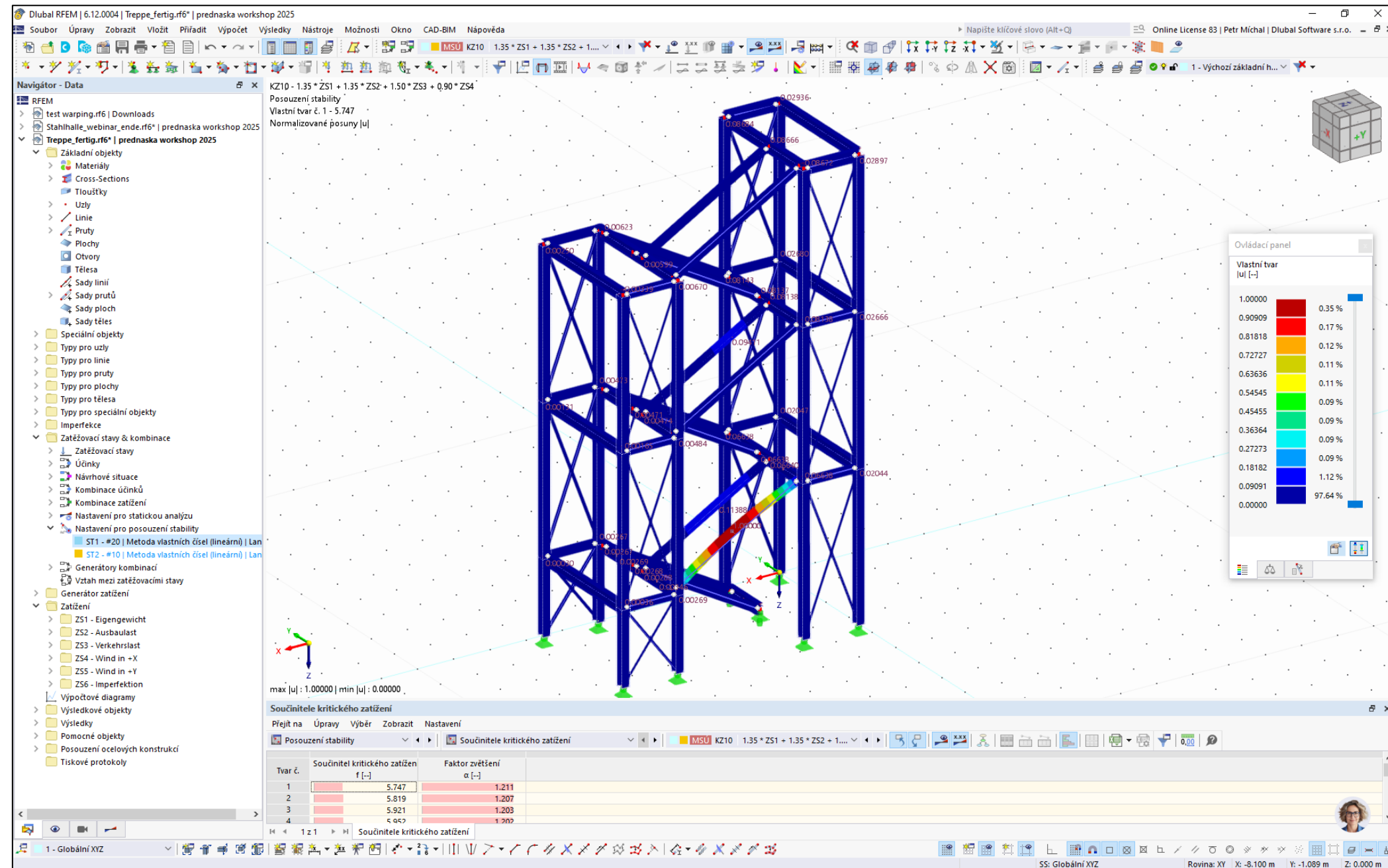
Prostorový vzpěr, klopení  
 $N_{cr,LTB}$  ;  $M_{cr}$

7 stupňů volnosti jsou potřeba pro uvažování těchto tvarů při statické a stabilitní analýze

# Posouzení stability dle EN 1993

Metoda	Konstrukční prvek		Průřezy				Zatížení				Poznámky
							N-	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	
Posouzení metodou náhr. prutu podle 6.3.1	●		●	●	●	●	●				Rovinný vzpěr, vzpěr zkroucením a prostorový vzpěr
Posouzení metodou náhr. prutu podle 6.3.2	●		●	●	●	●		●			Klopení
Posouzení metodou náhr. prutu podle 6.3.3	●		●	●			●	●	●		Rovinný vzpěr, vzpěr zkroucením a klopení
Obecná metoda podle 6.3.4	●	●	●	●			●	●			Rovinný vzpěr (z roviny) a klopení
Posouzení podle teorie II. řádu se 7 stupni volnosti	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	Globální a lokální imperfekce + teorie II. řádu

# Praktické příklady v programu RFEM 6



# Bezplatné online služby

## Stáhněte si plnou verzi na 90 dní

Vyzkoušejte si plný potenciál našeho softwaru pro statickou analýzu s bezplatnou 90denní zkušební verzí.

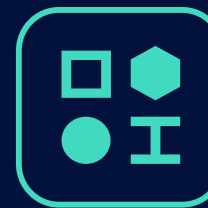
Získejte neomezený přístup ke všem programům a addonům.



**DLUBAL COMMUNITY** >



**GEO-ZONEN-TOOL** >



**DATABÁZE PRŮŘEZŮ** >



**3D-MODELY KE STAŽENÍ** >

**Prozkoumejte online** >



# Zde naleznete více informací o společnosti Dlubal.

- **Videa a nahrané webináře**
- **Newsletter**
- **Události**
- **Databáze znalostí**
- **AI-Asistenka Mia**
- **Stáhněte si plnou verzi na 90 dní**

**[www.dlubal.com](http://www.dlubal.com)**

**Dlubal Software s.r.o.**

Anglická 28, Praha 2  
Česká republika

+420 227 203 203  
[info@dlubal.cz](mailto:info@dlubal.cz)

**90DENNÍ**  
ZKUŠEBNÍ  
VERZE



**Děkujeme za vaši  
pozornost!**

