

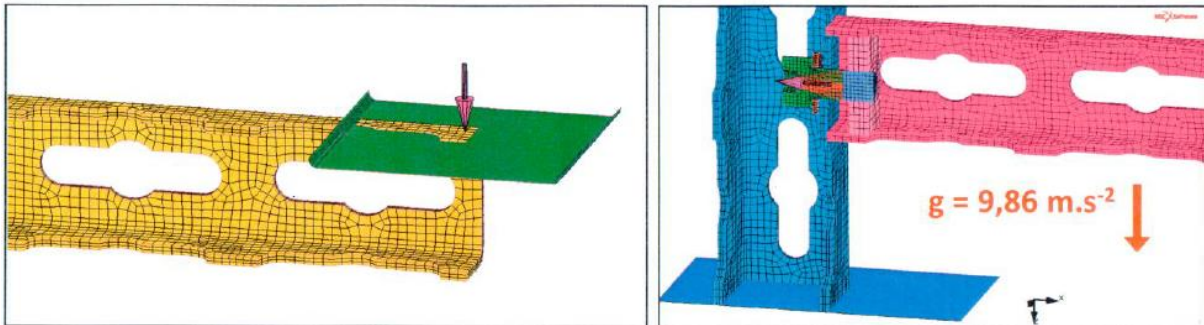
DEFORMAČNÍ A NAPĚŤOVÁ ANALÝZA PROFILŮ A SESTAV SYSTÉMU FILIP

Zadání:

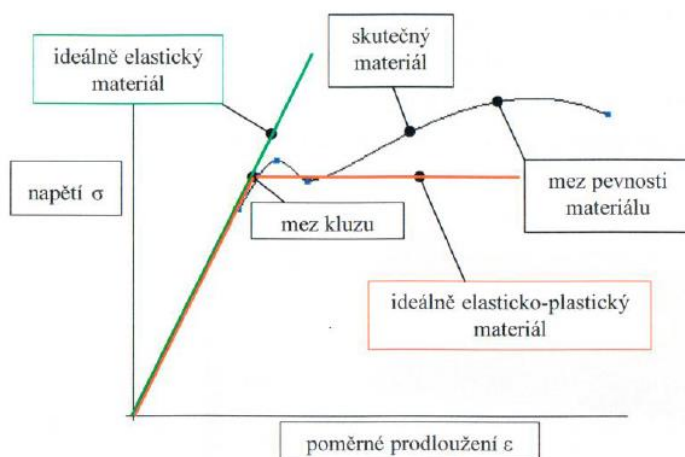
- 1) výpočty deformací a napjatosti profilů a sestav metodou konečných prvků (FEM) při ohybovém zatížení
- 2) ohybové zkoušky profilů a sestav systému FILIP
- 3) možnosti návrhů profilů na základě experimentů a simulací

1) Výpočty deformací a napjatosti profilů a sestav metodou konečných prvků (FEM) při ohybovém zatížení

- **Zatížení FEM modelu:** - vynucený svislý posuv uprostřed profilu o 10 mm
 - předepnuté šrouby (jen sestavy)
 - vlastní tíha g
 - kontakty mezi tělesy



- **Materiálový model ve FEM modelu**

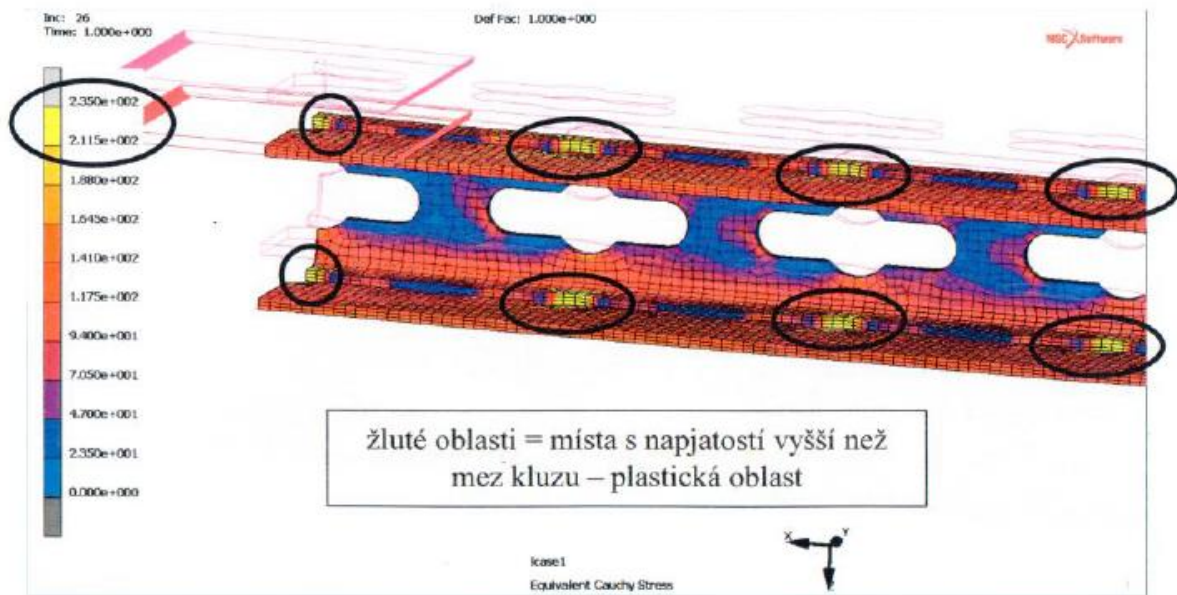


Ideálně elastický materiál – nad mezí kluzu tužší než skutečnost

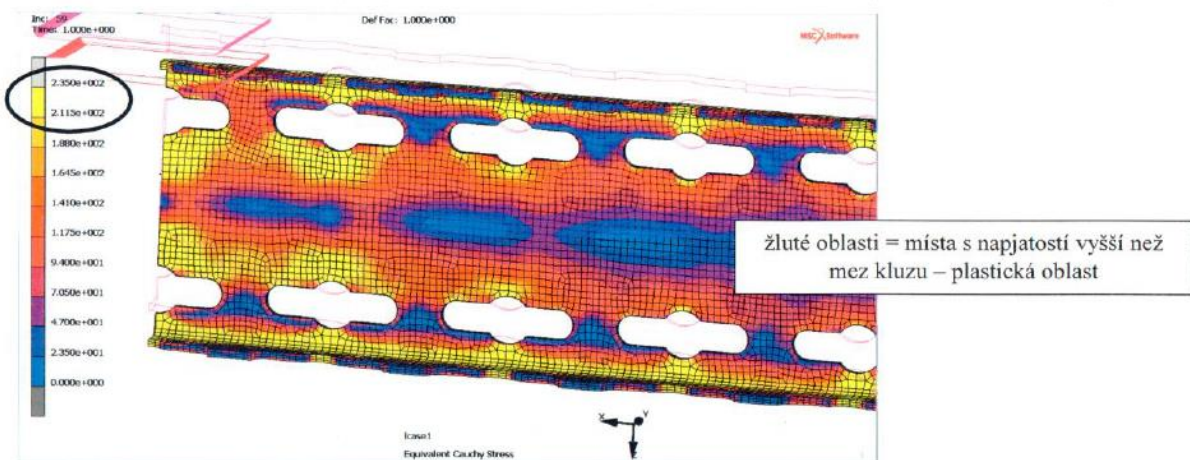
Ideálně elasticko-plastický materiál – nad mezí kluzu poddajnější než skutečnost

→ rozdíly mezi FEM výpočty a měřením

- **Napjatost FEM modelu – ideálně-plastický materiál**
 - **Napjatost nad mezí kluzu jen v malých oblastech průřezu:**
 - Nastává u méně tuhých profilů či sestav – 30x30 až 80x30 mm
 - Po odlehčení **nezůstávají** trvalé deformace
 - Tuhost konstrukce je srovnatelná se skutečností

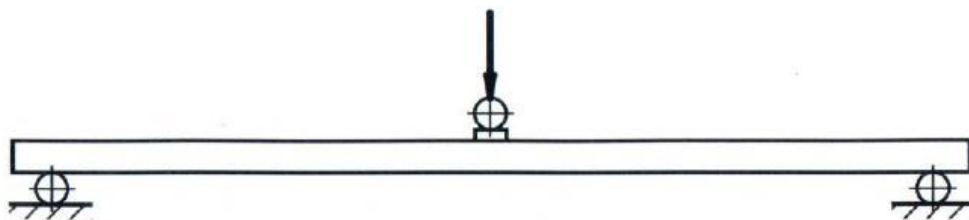


- **Napjatost FEM modelu – ideálně-plastický materiál**
 - **Napjatost nad mezí kluzu již v nosné části průřezu:**
 - Nastává u tužších profilů či sestav – např. 80x30 V
 - Po odlehčení **zůstávají** trvalé deformace
 - konstrukce je poddajnější než skutečnost (vliv ideálně elasticko-plastického materiálu)

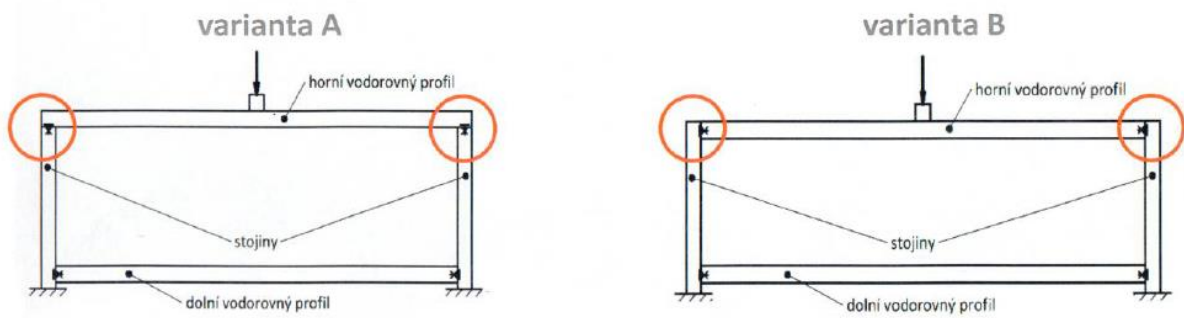


2) Ohybové zkoušky profilů a sestav systému FILIP

- Schéma ohybové zkoušky profilů



- **Schéma ohybové zkoušky sestav**



- **Výsledky zkoušek – ukázky specifického chování profilů**

Profil 30x30

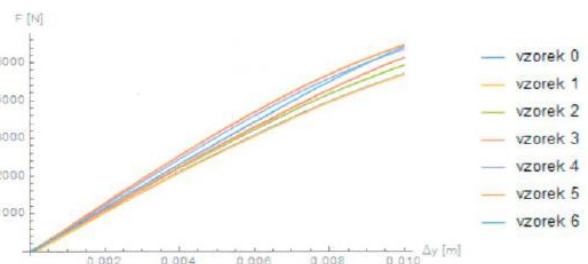
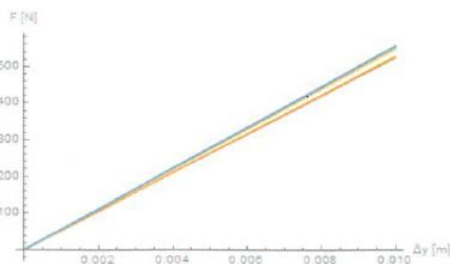
Napjatost pod mezí kluzu:

- lineární průběh závislost $F = F(\Delta y)$
- pouze elastické (vratné) deformace

Profil 80x30 V

Napjatost výrazně nad mezí kluzu:

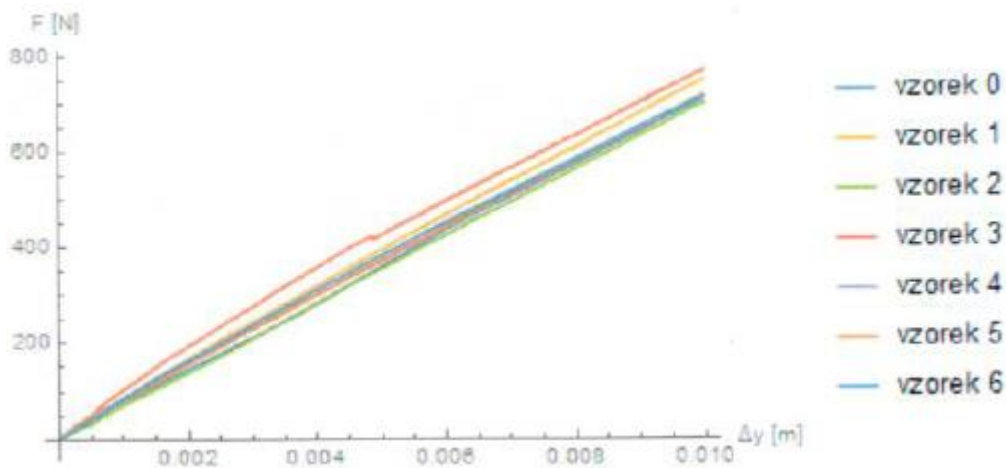
- nelineární průběh závislost $F = F(\Delta y)$
- plastické (trvalé) deformace



- **Výsledky zkoušek – ukázka specifického chování sestav**

Sestava 30x30 A

Zlom v křivce $F=F(\Delta y) \approx$ vymezení vůlí ve spojích



- Porovnání výsledků FEM simulací a zkoušek

| Profil | 30x30 | 50x30 H | 50x30 V | 80x30H | 80x30 V |
|--------------------------|------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| F_{exp} [N] | 543 | 956 | 2 030 | 1 386 | 5 099 |
| F_{FEM} [N] | 552 (+2 %) | 1 011 (+6 %) | 1 906 (-6 %) | 1 432 (+3 %) | 3 516 (-31 %) |
| J_e [mm ⁴] | 18 283 | 32 063 | 68 279 | 46 558 | 176 834 |

| Sestava | 30x30A | 30x30B | 50x30HA | 50x30HB | 50x30VA | 50x30VB | 50x30VBSV | 80x30VB |
|---------------|------------|-------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| F_{exp} [N] | 721 | 755 | 1 115 | 1 173 | 2 320 | 2 530 | 2 540 | 6 568 |
| F_{FEM} [N] | 789 (+9 %) | 663 (-12 %) | 1 248 (+12 %) | 1 141 (-3 %) | 2 227 (-4 %) | 2 191 (-13 %) | 2 191 (-13 %) | 4 201 (-36 %) |

F_{exp} [N] – průměrná velikost zatěžující síly z experimentu, potřebné k průhybu profilu o 10 mm

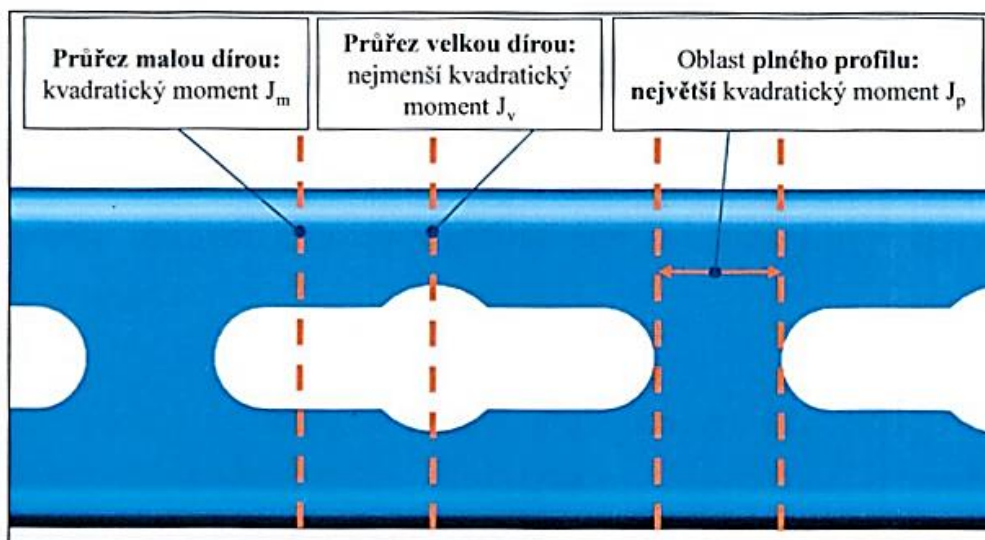
F_{FEM} [N] – velikost této síly vypočtená z FEM modelu (včetně procentuální odchylky)

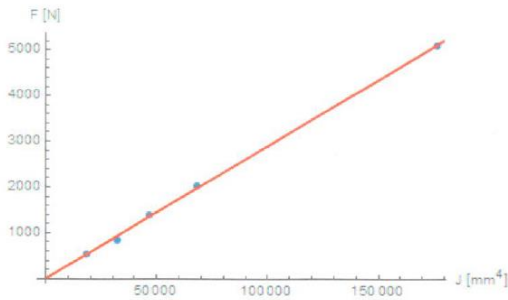
J_e [mm⁴] – velikost průměrného kvadratického momentu plochy průřezu profilu, který určuje jeho ohybovou tuhost

3) Možnosti návrhů profilů na základě experimentů a simulací

Klíčovou veličinou je velikost kvadratického momentu plochy průřezu:

| Profil | Plný profil J_p | Řez malou dírou J_m | Řez velkou dírou J_v | Ø experimentu J_e |
|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 30x30 | 27 219 mm ⁴ | 19 908 mm ⁴ | 16 278 mm ⁴ | 18 283 mm ⁴ |
| 50x30 H | 42 926 mm ⁴ | 36 046 mm ⁴ | 31 504 mm ⁴ | 32 063 mm ⁴ |
| 50x30 V | 95 363 mm ⁴ | 75 363 mm ⁴ | 63 421 mm ⁴ | 68 279 mm ⁴ |
| 80x30 H | 66 486 mm ⁴ | 52 931 mm ⁴ | 44 462 mm ⁴ | 46 558 mm ⁴ |
| 80x30 V | 312 716 mm ⁴ | 218 081 mm ⁴ | 161 424 mm ⁴ | 176 834 mm ⁴ |





| Profil | Střední hodnota změřené síly | Zatěžující síla podle vztahu $F \approx \frac{48 \Delta y E}{l^3} J_v$ |
|---------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 30x30 | 543 N | 486 N |
| 50x30 H | 956 N | 941 N |
| 50x30 V | 2 030 N | 1 894 N |
| 80x30 H | 1 386 N | 1 328 N |
| 80x30 V | 5 099 N | 4 821 N |

Pro uzavřené profily lze s určitou obezřetností pro orientační výpočet zatěžující síly F použít vztah

$$F \approx \frac{48 \Delta y E}{l^3} J_v$$

Kde Δy je průhyb profilu, E Youngův modul pružnosti, l délka profilu a J_v kvadratický moment průřezu v místě „velké díry“.

ZÁVĚR

- Výsledky z měření jsou v dobré shodě s FEM simulací. Větší rozdíly mezi výsledky lze najít u sestav (vliv imperfekcí, šroubových spojů, kontakty atd.).
- Hodnota průměrného kvadratického momentu J_e (a tím i ohybová tuhost) je jen nepatrně větší než tato hodnota a v nejkritičtějších místech průřezu J_v (v místě „velké díry“).
- Při návrhu profilu je nejbezpečnější vycházet z nejkritičtějšího místa profilu, tj. v místě „velké díry“, kde je nejmenší kvadratický moment plochy J_v .
- U tužších profilů může při průhybu 10 mm docházet k plastické deformaci.
- Montáž profilů do sestav zvyšuje možnost zatížení minimálně o 15 %.
- Montáž profilu ke stojinám z boku je příznivější než montáž z vrchu, snese zatížení o 5 % větší.
- Pro orientační výpočet zatížení při daném průhybu některých typů uzavřených profilů lze použít vztah

$$F \approx \frac{48 \Delta y E}{l^3} J_v$$