

Ing. Jaroslav Brož, Ph.D.

Ing. Ondřej Kika, Ph.D.



Nelineární výpočty

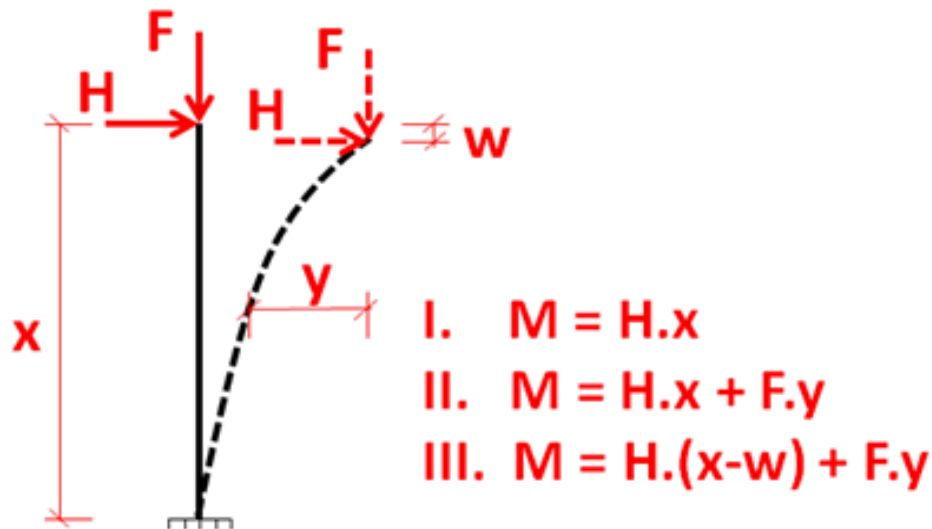
Teorie nelineárních výpočtů v SEN

Základní rozdělení nelinearit

- Geometrická nelinearita
- Materiálová nelinearita
- Vazbová nelinearita

Geometrická nelinearita

- I.řád (lineární)
- II.řád (teorie dle Timoshenka)
- III.řád (velké deformace)



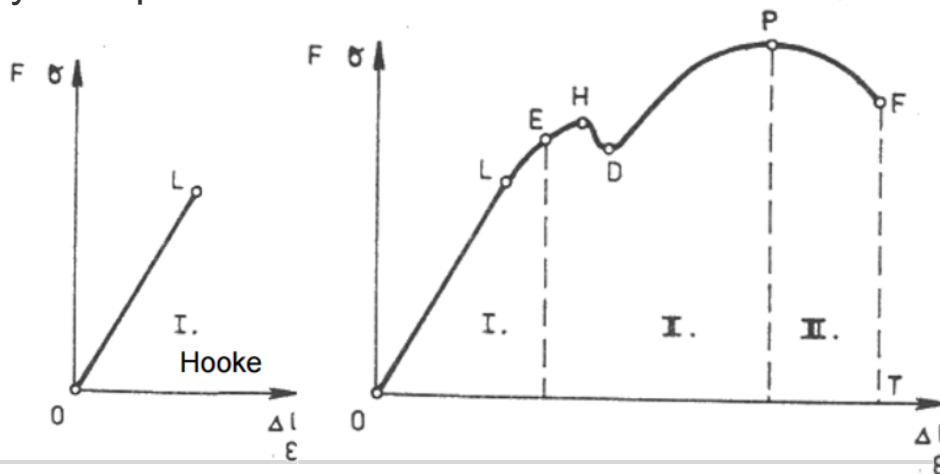
Teorie nelineárních výpočtů v SEN

Materiálová nelinearita

- Materiál nesplňuje Hookův zákon, ale je např. pružně plastický. Závislost mezi napjatostí a deformací není lineární

Podmínky plasticity dle

- von Mises – podmínka měrné energie změny tvaru
- Tresca – teorie maximálních smykových napětí
- Mohrova - Coulombova podmínka
- Drucker – Pragerova podmínka



Teorie nelineárních výpočtů v SEN

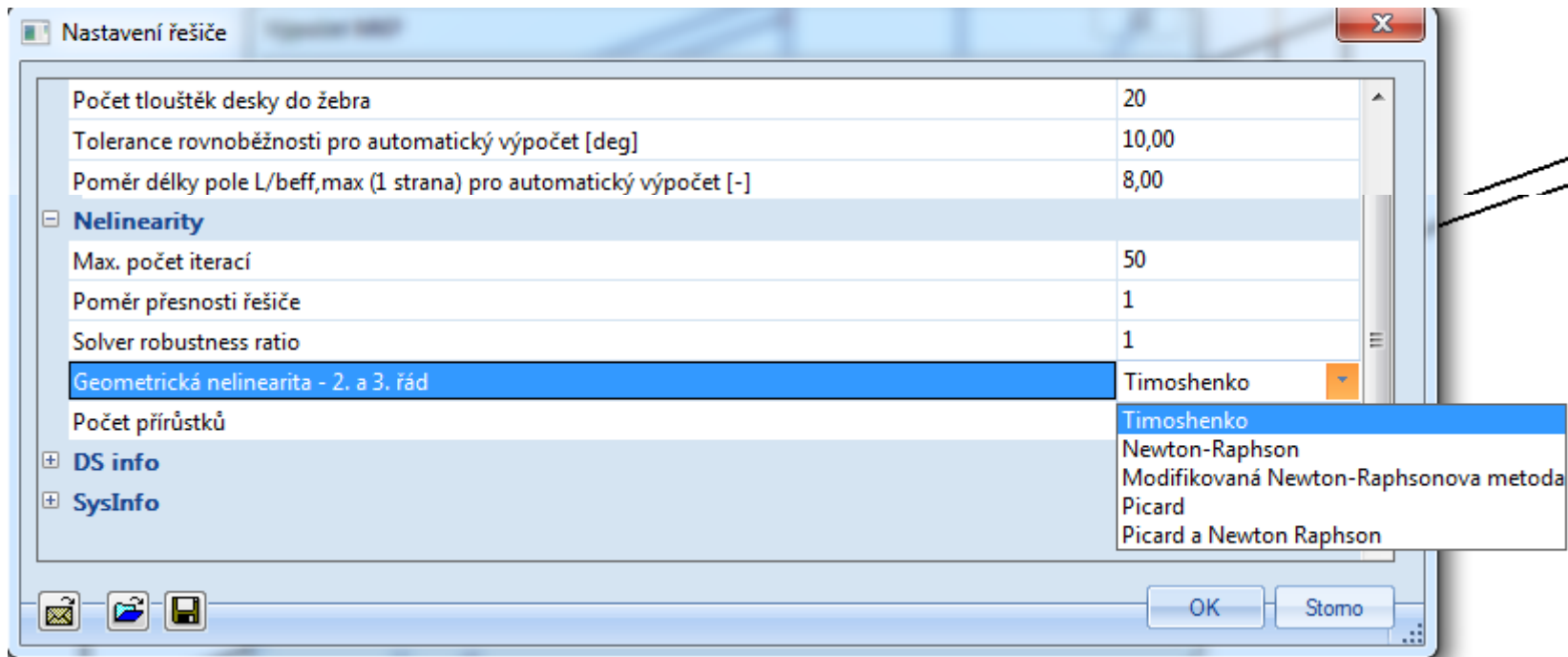
Metody řešení soustav nelineárních algebraických rovnic

- Newton Raphson
- Modifikovaná Newton – Raphsonova metoda
- Picard
- Picard a newton - Raphson

Nonlinearity - FUNCTIONALITY in Scia Engineer		Numerical solution of system of nonlinear algebraic equations
Initial deformation and curvature		Picard
Geometrical nonlinearity	II. order (Timoshenko)	Picard
	III. Order (Large deformation analysis)	Newton- Raphson
		Modified Newton-Raphson
		Picard
		Newton-Raphson combined with Picard
Physical non-linearity for reinforcement		Picard
Beam local nonlinearity		Picard
Support nonlinearity/Soil spring		Picard
Friction support/Soil spring		Picard
Membrane elements		Newton- Raphson
Press only 2D members		Picard
General plasticity		Newton- Raphson
Cable		Newton- Raphson

Teorie nelineárních výpočtů v SEN

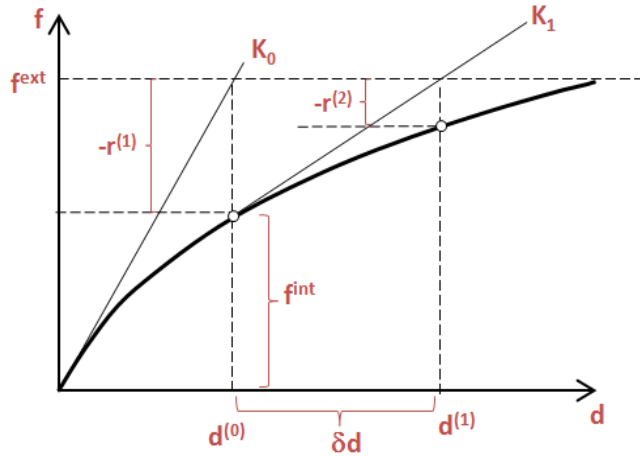
Metody řešení soustav nelineárních algebraických rovnic



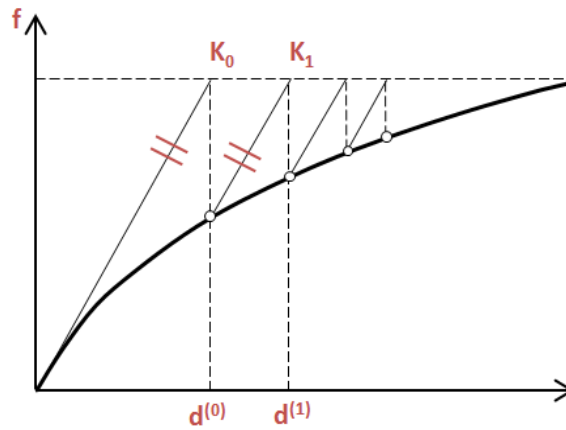
Teorie nelineárních výpočtů v SEN

Metody řešení soustav nelineárních algebraických rovnic

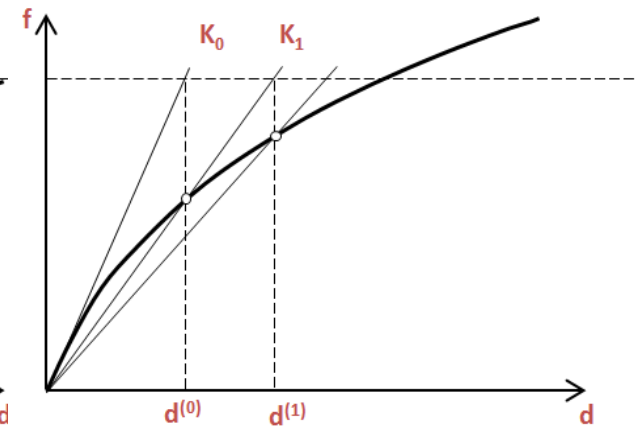
Newton-Raphson



Modified Newton-Raphson



Picard



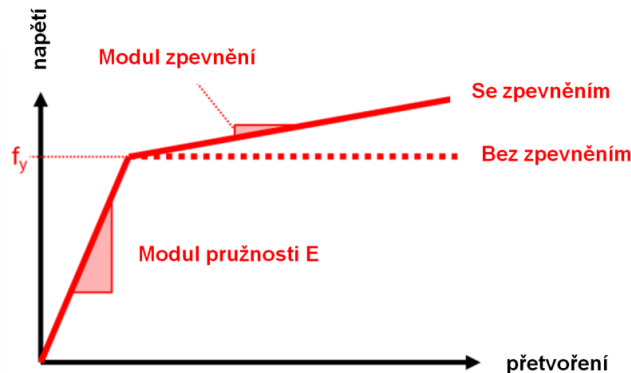
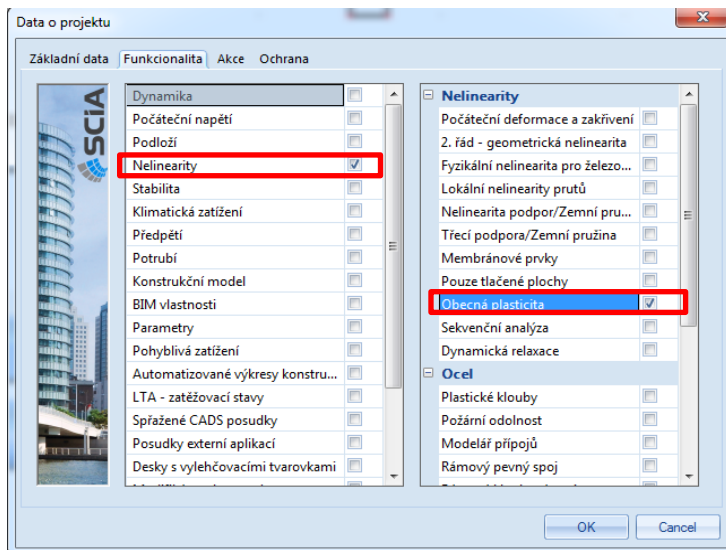
Materiálová nelinearita v SEN – Obecná plasticita

Předpoklady použití

- Licence na modul **Esas.47**
- Nlinearity / Obecná plasticita

Omezení

- Pouze 2D prvky
- Zobrazení výsledků pouze v těžištích prvků
nebo v uzlech bez průměrování
- Pouze pro materiál pružno-plastický,
nebo pružno-plastický se zpevněním



Materiálová nelinearita v SEN – Obecná plasticita

Chování materiálu pro nelineární výpočty

Chování materiálu

Elastický

EN 1992-1-1

Charakteristická válcová pevnost v tlaku $f_{ck}(28)$ [MPa]

Vypočtené závislé hodnoty

Průměrná pevnost v tlaku $f_{cm}(28)$ [MPa]

Elastický

Izotropní pružno-plastický, Tresca

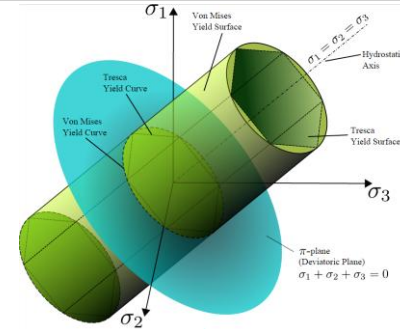
Izotropní pružno-plastický, von Mises

Izotropní pružno-plastický, Drucker-Prager

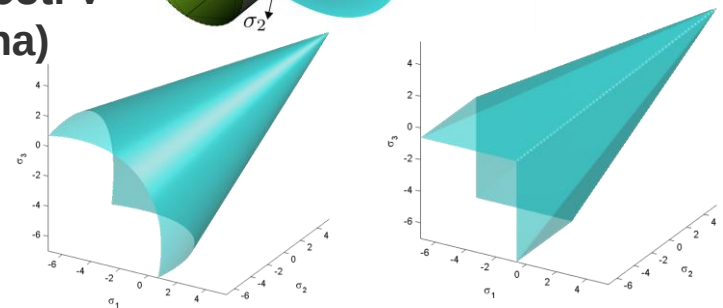
Izotropní pružno-plastický, Mohr-Coulomb

Izotropní pružno-plastické materiály

- von Mises
 - Tresca
 - Drucker – Prager
 - Mohr - Coulomb
- Tažné materiály (kov, ocel, hliník)**
- Materiály s různou únosností v tahu a tlaku (beton, zemina)**



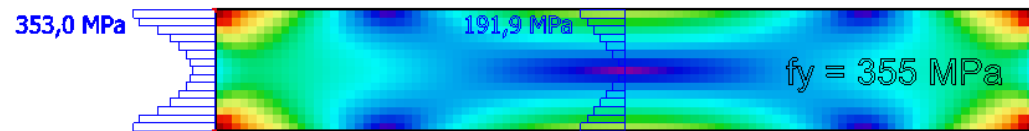
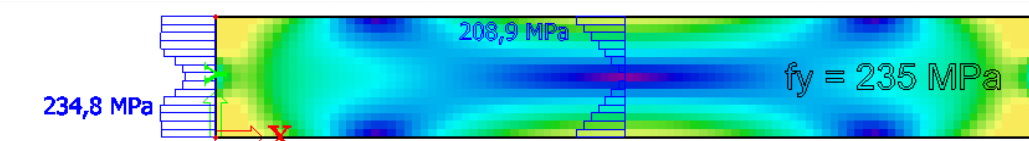
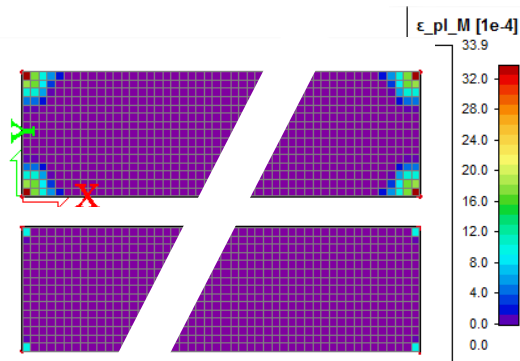
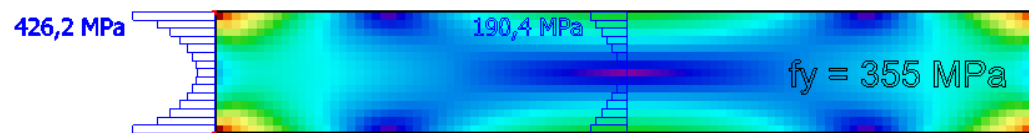
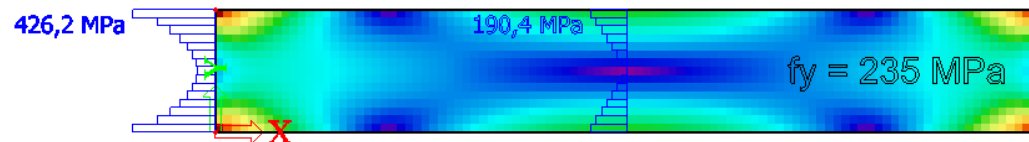
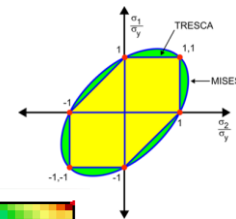
$$\sigma_E = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 6(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2)]}$$



Příklad 1 – Tažený ocelový pás

Použité materiálové modely

- Ocel S235 elastická
- Ocel S355 elastická
- Ocel S235 von Mises
- Ocel S355 von Mises

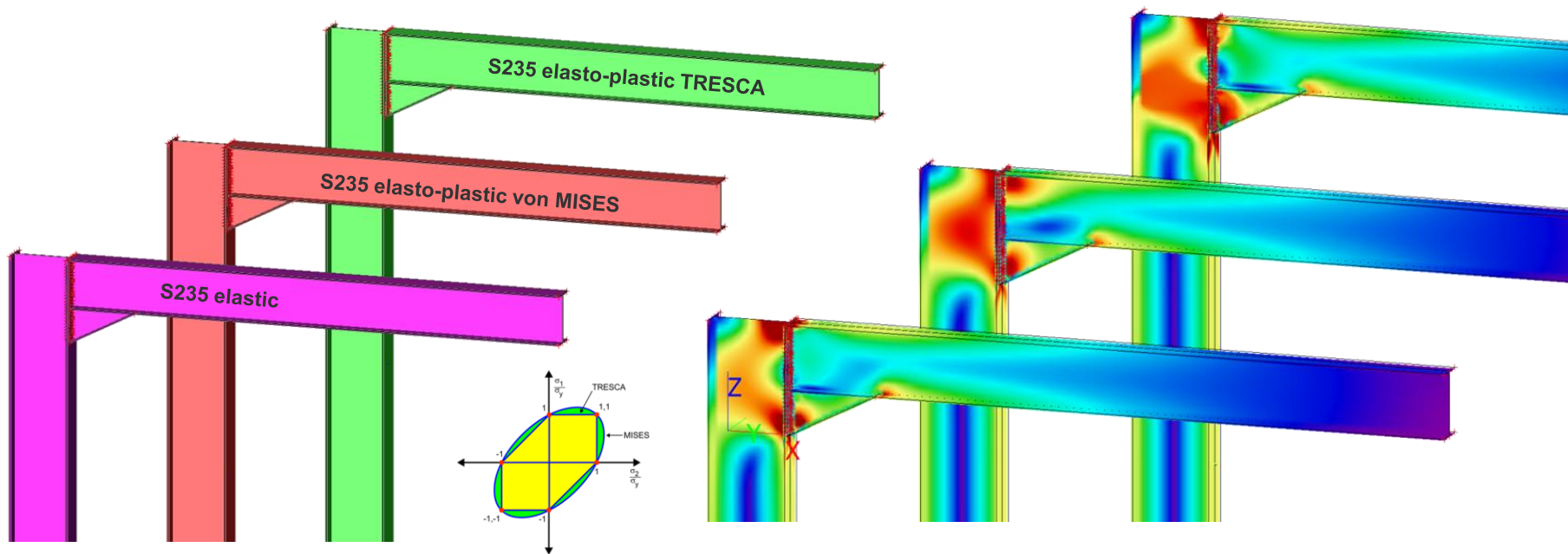
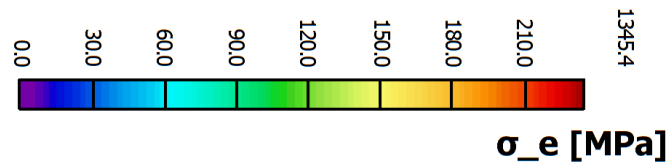


Plastické přetvoření pro modely von Mises

Příklad 2 – Ocelový přípoj

Použité materiálové modely

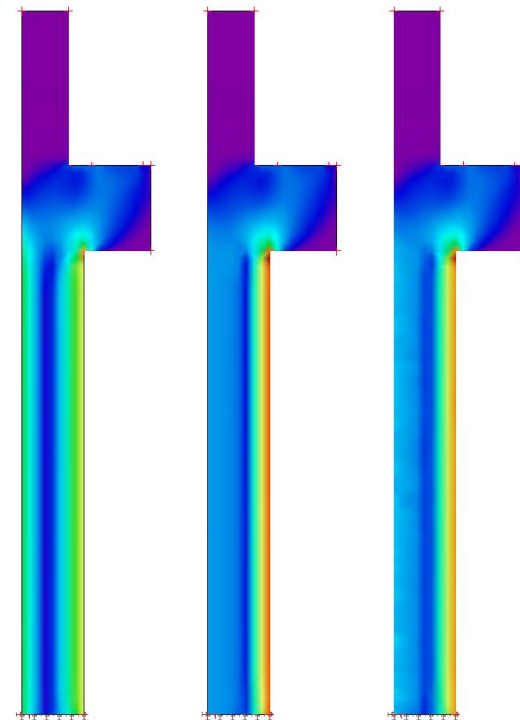
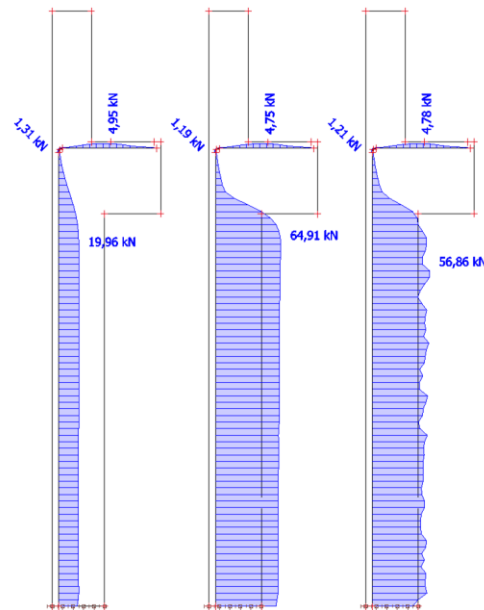
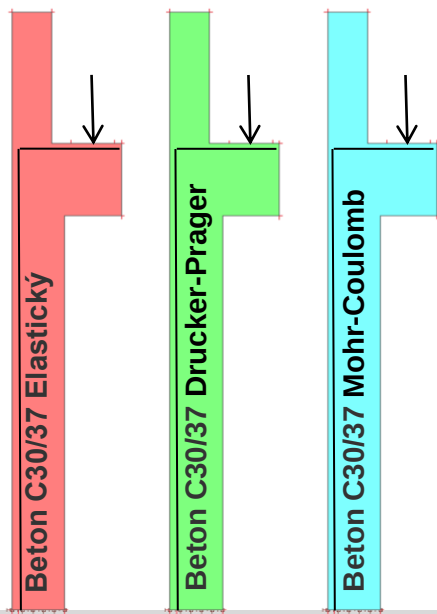
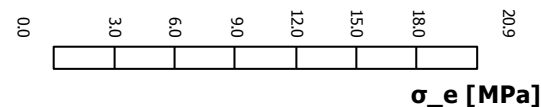
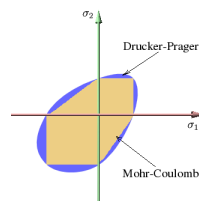
- Ocel S235 von Mises
- Ocel S235 Tresca



Příklad 3 – Betonový sloup s konzolou

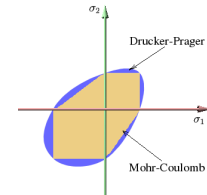
Použité materiálové modely

- Beton C30/37 Drucker – Prager
- Beton C30/37 Mohr – Coulomb

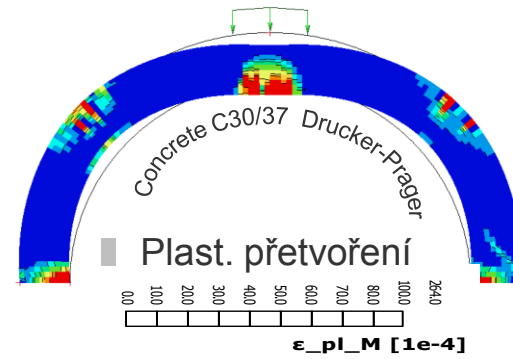
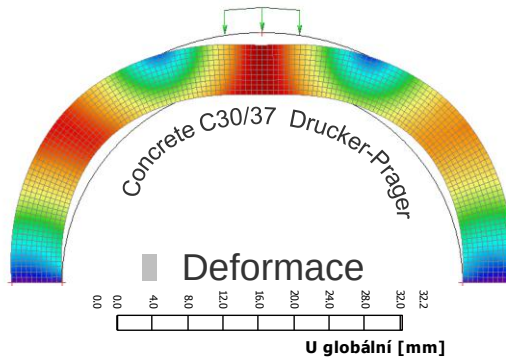
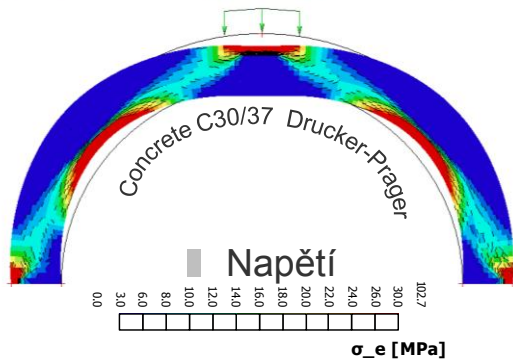
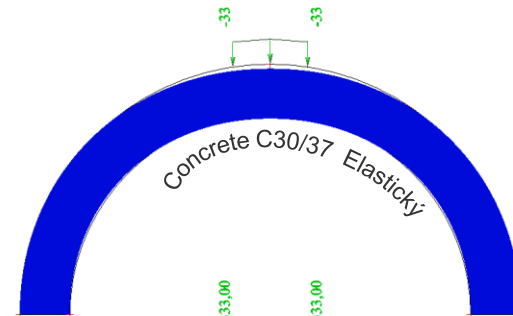
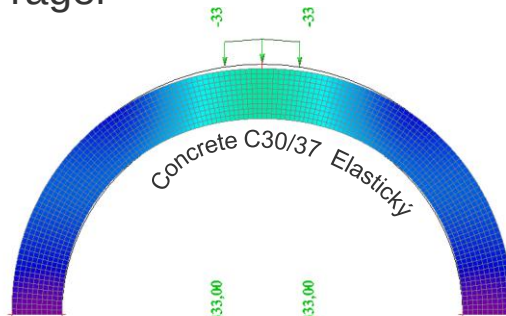
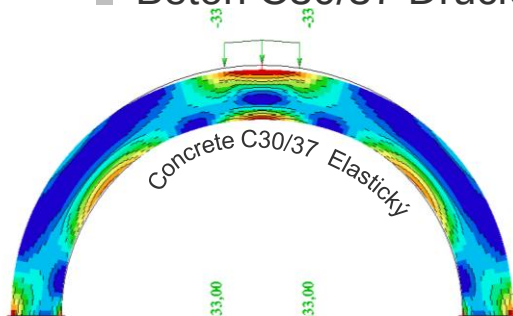


Příklad 4 – Klenba z prostého betonu

Použité materiálové modely



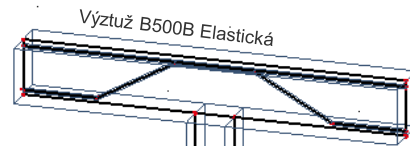
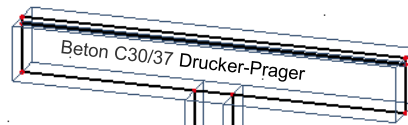
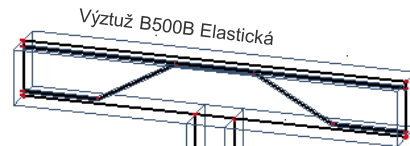
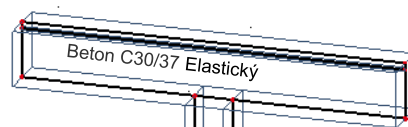
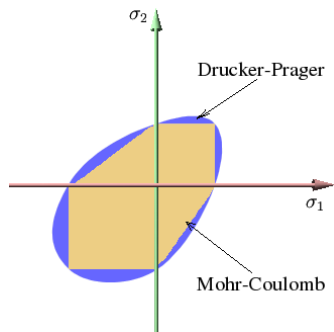
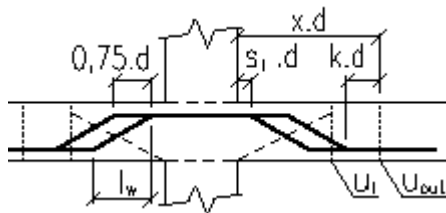
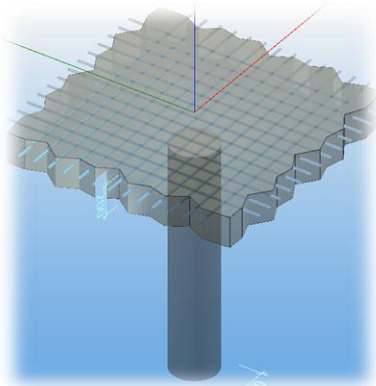
■ Beton C30/37 Drucker-Prager



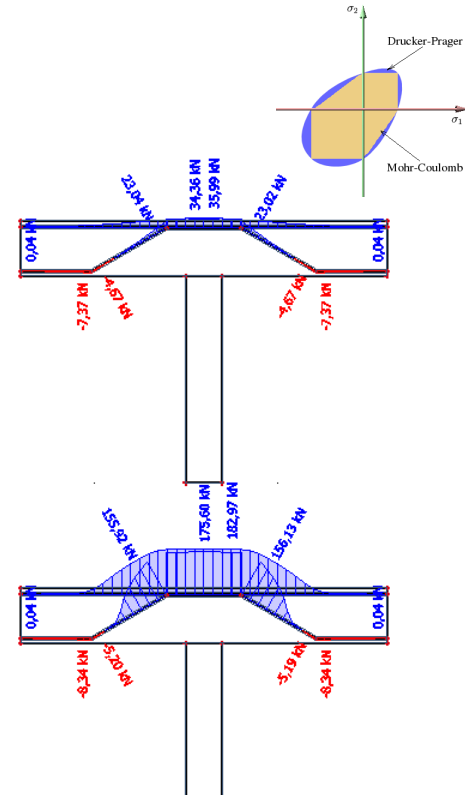
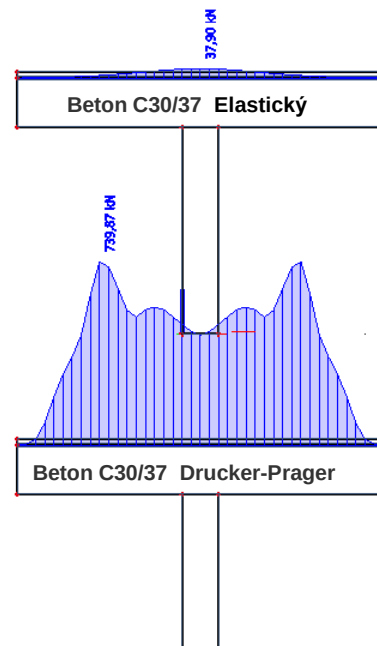
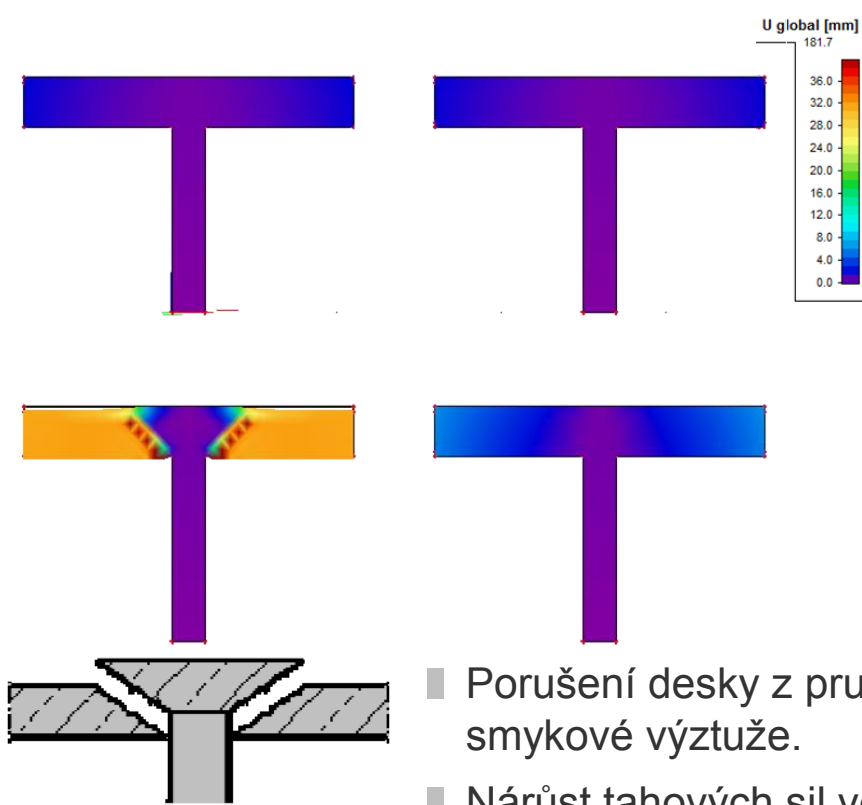
Příklad 5 – Protlačení desky sloupem 2D

Použité materiálové modely

- Beton C30/37 Drucker-Prager
- Výztuž B500B elastická

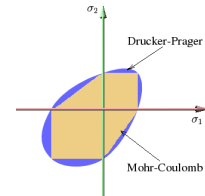


Příklad 5 – Protlačení desky sloupem 2D

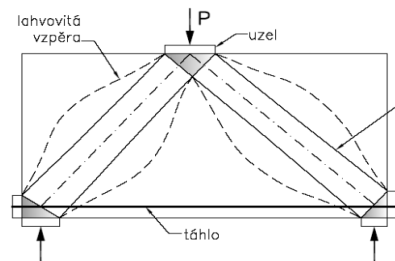
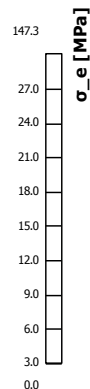
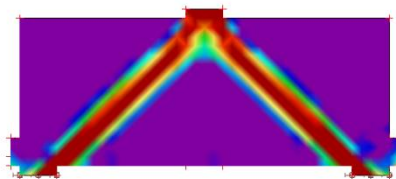
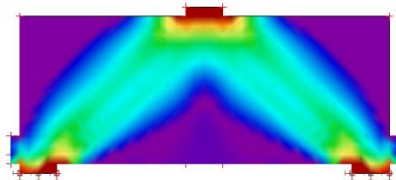
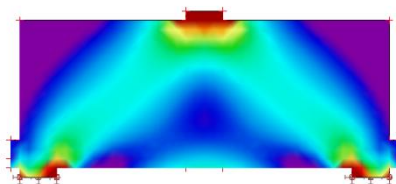
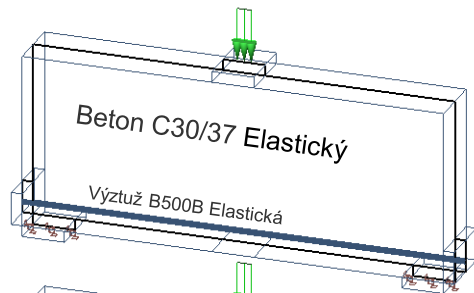


- Porušení desky z pružno-plastického materiálu bez smykové výztuže.
- Nárůst tahových sil ve výztuži po zplastizování betonu

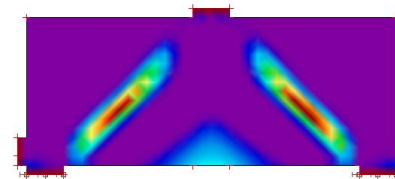
Příklad 6 – Příhradová analogie, Drucker-Prager



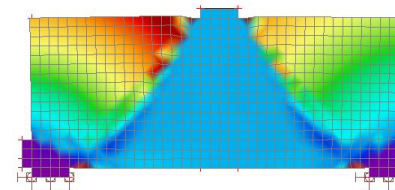
Lahvovitě vzpěry napětí



Oblasti plastických přetvoření



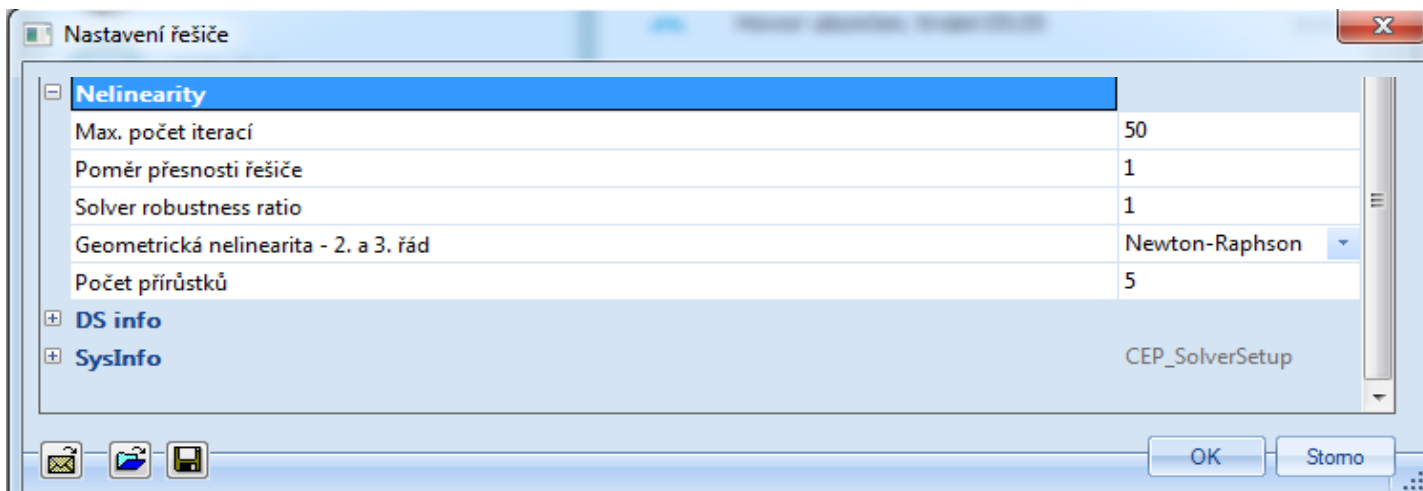
Porušení prvku protlačením



Konvergence řešení nelineárních výpočtů

Nastavení řešiče

- Počet přírůstků
- Počet iterací
- Poměr přesnosti řešiče
- Parametr robustnosti – rychlost změny tuhosti u 1D prvků





Děkujeme za pozornost

Více informací na www.scia.net