

## 2.4.4 Deformace, normálové napětí I

### Předpoklady:

Pevné těleso zachovává svůj tvar, pokud na něj nepůsobí vnější síly.

Většinou na pevná tělesa síly působí. Co se s nimi děje?

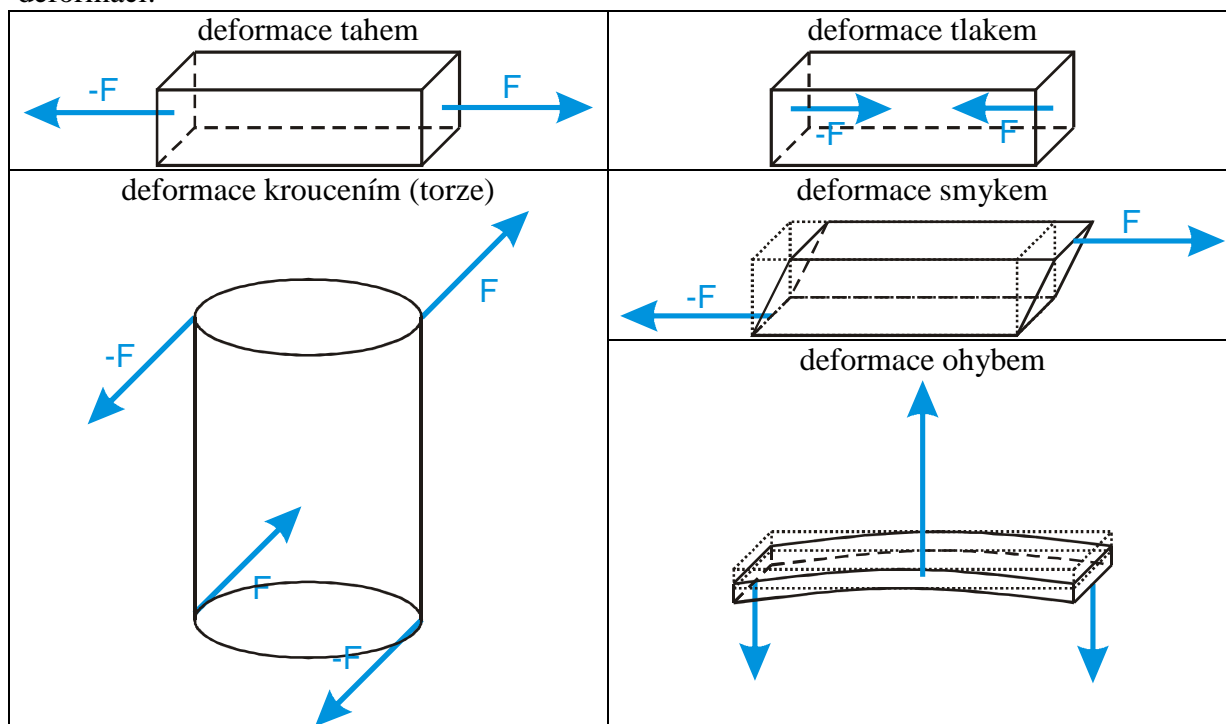
Mění se jejich rozměry, tvar, objem  $\Rightarrow$  deformují se.

Deformace:

- **Průžná (elastická):** je dočasná. Když síly přestanou působit, těleso se vrátí do původního stavu (zmáčknutá houba na tabuli).
- **Tvárná (plastická):** je trvalá. Když síly přestanou působit, těleso se do původního stavu nevrátí (modelína).

O tom, jaká deformace nastane rozhoduje zejména velikost působících sil a vnitřní stavba látek.

Deformace se třídí také podle způsobu, kterým působí deformující síly. Základní typy deformací:



Reálné deformace se většinou skládají z několika základních.

**Pedagogická poznámka:** Dobrou pomůckou na demonstraci deformací je obyčejná houba na tabuli. Většinou ukážu pouze deformaci tahem a tlakem, ostatní nechávám na studentech.

Deformace závisí:

- velikosti a směru působící síly
- rozměrech a tvaru tělesa
- materiálu tělesa

- u anizotropních látek na vnitřním uspořádání

Na přesný popis deformací bychom museli popisovat změny materiálu ve všech 3 směrech v závislosti na 3 různých směrech síly:

- Jak mění materiál ve směru osy  $x$  síla působící ve směru osy  $x$ ?
- Jak mění materiál ve směru osy  $x$  síla působící ve směru osy  $y$ ?
- Jak mění materiál ve směru osy  $x$  síla působící ve směru osy  $z$ ?
- Jak mění materiál ve směru osy  $y$  síla působící ve směru osy  $x$ ?
- Jak mění materiál ve směru osy  $y$  síla působící ve směru osy  $y$ ?
- ...

⇒ 9 čísel = **tenzor** (ještě složitější typ veličiny než vektor ⇒ nic pro nás)

**Př. 1:** Vysvětli, jaký význam má příčný průřez traverzy ve tvaru písmene H.

Pravítko: snadno ho ohneme ve směru, kde je tenké, těžko ho ohneme ve směru šířky.

Traverza má být pevná ⇒ musí být odolná proti ohybu ⇒ potřebujeme, aby byla „tlustá“ v obou směrech, zároveň šetříme materiál (kvůli ceně i kvůli hmotnosti) ⇒ písmeno H, je tlusté v obou směrech, zároveň je „prázdné“.

Ze stejných důvodů se místo plných tyčí používají prázdné trubky.

Dále budeme řešit pouze nejjednodušší případ: izotropní materiál, deformace tahem. Budeme sledovat:

- Zda se materiál nepřetrhne.
- Jak se těleso prodlužuje.
- Nebudeme sledovat změny průřezu.

Na čem závisí prodloužení natahované tyče:

- působící síla  $F$  (větší síla ⇒ větší prodloužení)
- průřez materiálu  $S$  (menší průřez ⇒ větší prodloužení)
- délka materiálu  $l$  (větší délka ⇒ větší prodloužení)
- materiál (druh látky. Jinak se natahuje gumička a jinak ocel)

$\Delta l = l - l_0$  změna délky

Změna délky závisí na původní délce (snadno natáhneme 10 m provaz o 1 cm. Natáhnout 10 cm stejného lana o 1 cm je těžší) ⇒ potřeba „objektivnější“ jednotky ⇒

**relativní prodloužení:**  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ .

Podobně u síly. Účinek síly závisí na průřezu. Síla 100 N nic neudělá s drátem o průměru 5 cm, ale snadno přetrhne drát o průměru 0,05 mm ⇒ fyzikálně zajímavější než samotná síla je síla připadající na jednotku plochy ⇒

**normálové napětí:**  $\sigma = \frac{F}{S}$  [ $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ ] (nejde o nic jiného než tlak, jak jej známe z ložského roku).

**Př. 2:** Urči normálové napětí, kterým:

- působí závaží o hmotnosti 100 g na nit o tloušťce 0,5 mm,
- působí horolezec o hmotnosti 80 kg na lano o průměru 11 mm.

V obou případech předpokládáme kruhový průřez.

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F_g}{\pi r^2} = \frac{mg}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{mg}{\pi \frac{d^2}{4}} = \frac{4mg}{\pi d^2}$$

a) nit:  $m = 100 \text{ g} = 0,1 \text{ kg}$ ,  $d = 0,5 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ ,  $\sigma = ?$

$$\sigma = \frac{4mg}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,1 \cdot 10}{\pi \cdot (5 \cdot 10^{-4})^2} \text{ Pa} = 5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

b) lano:  $m = 80 \text{ kg}$ ,  $d = 11 \text{ mm} = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ ,  $\sigma = ?$

$$\sigma = \frac{4mg}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 80 \cdot 10}{\pi \cdot (1,1 \cdot 10^{-2})^2} \text{ Pa} = 8,4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Normálové napětí niti i horolezeckého lana je řádově stejné – milióny pascalů.

**Pedagogická poznámka:** Studenti obecně očekávají daleko menší hodnoty než ve skutečnosti vyjdou. Běžně ti, kteří získají správný výsledek, mají pocit, že určitě udělali chybu, naopak Ti, kteří dosadí v milimetrech a výsledek jim vyjde v jednotkách pascalů jsou spokojení. V takové situaci není od věci zopakovat, že 1 pascal je velmi malý tlak (například tlak, který vytvoří klasická 100 gramová čokoláda, kterou nastrouháme a rozsypeme přibližně na plochu jedné lavice).

**Pedagogická poznámka:** Studenti většinou očekávají větší výsledek u lana. Neuvědomují si, že průměr lana je ve vzorci v druhé mocnině a proto má desetinásobné zmenšení průměru stejný vliv jako stonásobné zvětšení působící síly.

**Pedagogická poznámka:** Většinou jsem rád, pokud studenti stihnou předchozí příklad spočítat. Kdyby zbyl náhodou nějaký čas, ihned pokračujeme v látce z další hodiny (alespoň překreslení deformační křivky).

**Shrnutí:** Pro popis deformace v tahu používáme relativní prodloužení a normálové napětí (tlak).