

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?

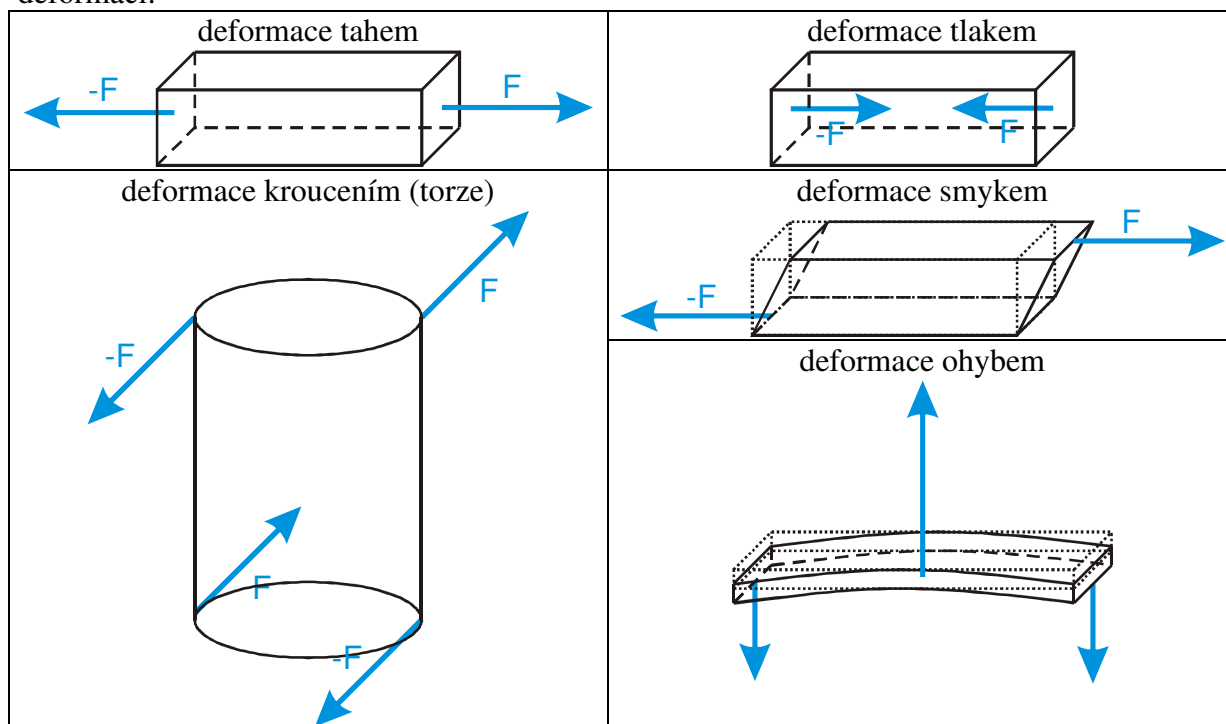
Mění se jejich rozměry, tvar, objem $\Rightarrow$ deformují se.

Deformace:

- **Pružná (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 žácích.

Deformace závisí na:

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

- u anizotropních látek na vnitřním uspořádání

Pro přesný popis deformací bychom museli popisovat změny materiálu ve všech třech směrech v závislosti na třech 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 ?
- ...

$\Rightarrow$ 9 čísel = **tenzor** (ještě složitější typ veličiny než vektor $\Rightarrow$ 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 $\Rightarrow$ musí být odolná proti ohybu $\Rightarrow$ potřebujeme, aby byla „tlustá“ v obou směrech, zároveň šetříme materiál (kvůli ceně i kvůli hmotnosti) $\Rightarrow$ 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 $\Rightarrow$ větší prodloužení)
- průřez materiálu S (menší průřez $\Rightarrow$ větší prodloužení)
- délka materiálu l (větší délka $\Rightarrow$ 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) $\Rightarrow$ potřeba „objektivnější“ veličiny $\Rightarrow$

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 $\Rightarrow$ fyzikálně zajímavější než samotná síla je síla připadající na jednotku plochy $\Rightarrow$

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:

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

V obou případech předpokládáme kruhový průřez.

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F_g}{\pi r^2} = \frac{mg}{\pi r^2}$$

a) nit: $m = 100 \text{ g} = 0,1 \text{ kg}$, $d = 0,5 \text{ mm} \Rightarrow r = 0,25 \text{ mm} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$, $\sigma = ?$

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

b) lano: $m = 80 \text{ kg}$, $d = 11 \text{ mm} \Rightarrow r = 5,5 \text{ mm} = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $\sigma = ?$

$$\sigma = \frac{mg}{\pi r^2} = \frac{80 \cdot 10}{\pi \cdot (5,5 \cdot 10^{-3})^2} \text{ Pa} = 8,4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

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

Dodatek: Vztah můžeme upravit i tak, abychom mohli dosazovat přímo zadané průměry:

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F_g}{\pi r^2} = \frac{mg}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{mg}{\pi \frac{d^2}{4}} = \frac{4mg}{\pi d^2}, \text{ pro žáky je takový způsob hodně}$$

nepřirozený.

Pedagogická poznámka: Žáci 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: Žáci 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 žáci 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).