

Téma 1: Úvod do předmětu

- Předmět **Pružnost a plasticita** ve studijním programu **Stavební inženýrství**
- Začlenění předmětu do problematiky navrhování nosných stavebních konstrukcí
- Základní pojmy a výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti
- Saint - Venantův princip lokálního účinku

Teorie pružnosti a plasticity

Teorie **Pružnosti a plasticity** je součástí mechaniky pevné fáze deformovatelných těles.

Předmětem zkoumání jsou především:

- **Napětí** (intenzita vnitřních sil)
- **Deformace** (přetvoření)
- **Stabilita**

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Dům „U čtyř Mamlasů“,
náměstí Svobody, Brno

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci

Původní vzhled mostu přes
Mississippi z roku 1967,
Minneapolis



Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



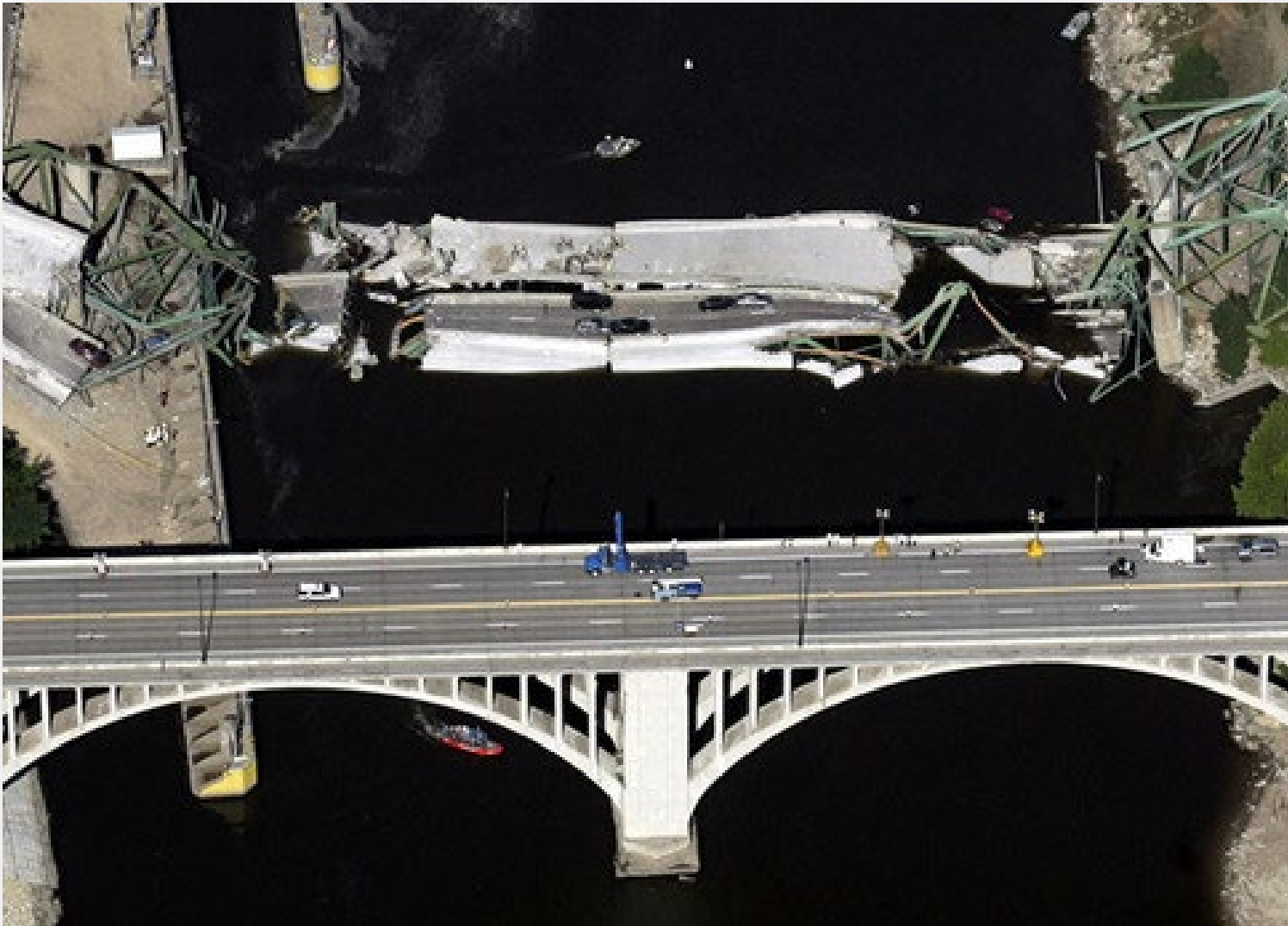
Zřícený most přes řeku Mississippi,
Minneapolis, srpen 2007

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



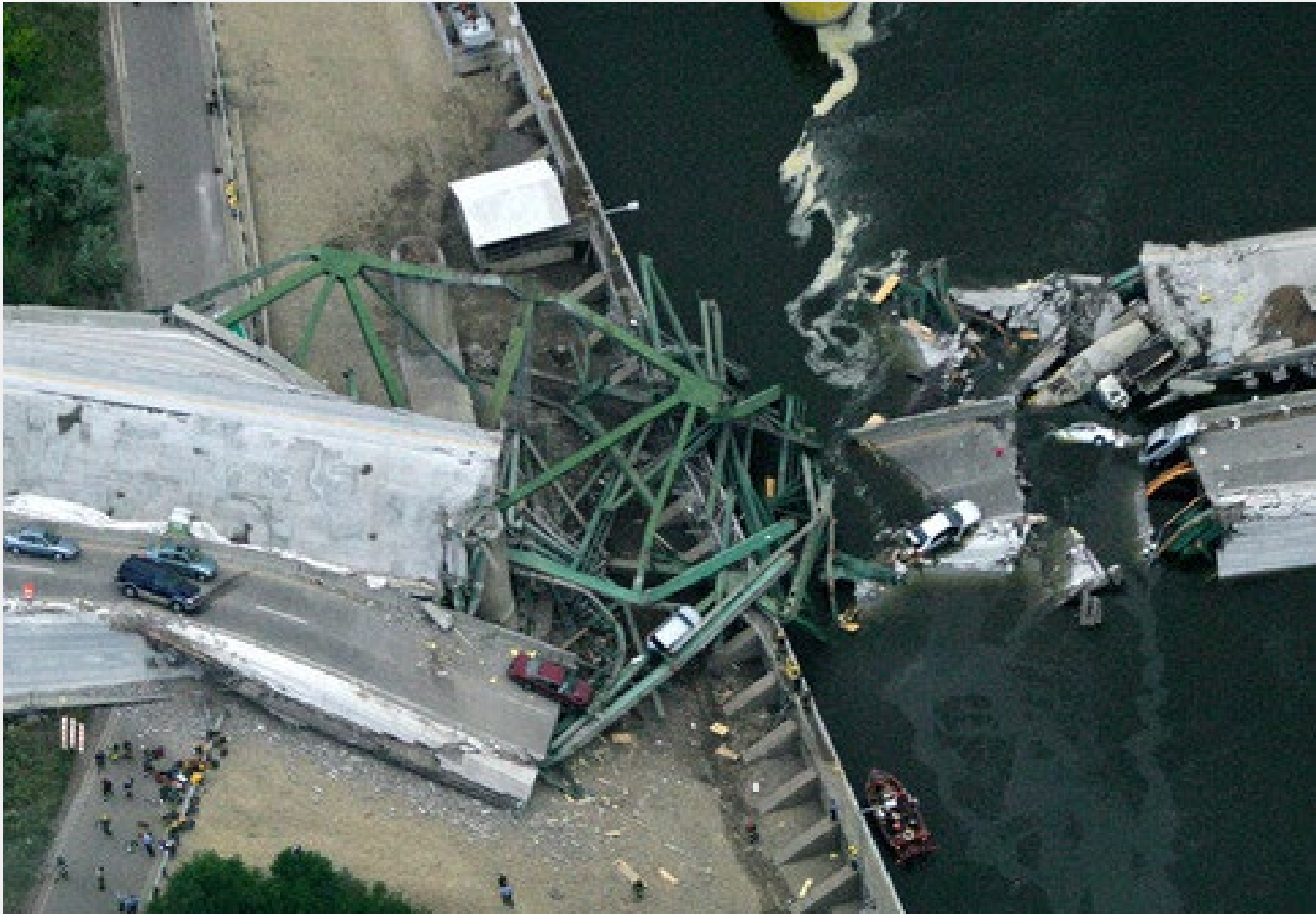
Zřícený most přes řeku Mississippi, Minneapolis, srpen 2007

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Zřícený most přes řeku
Mississippi, Minneapolis,
srpen 2007

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Zřícený most přes řeku
Mississippi, Minneapolis,
srpen 2007

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Zřícený most přes řeku Mississippi, Minneapolis, srpen 2007

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Sídlo stavební firmy TCHAS,
Ostrava,
foto:
doc. Ing. Karel Kubečka, Ph.D.

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Sídlo stavební firmy TCHAS,
Ostrava,
foto:
doc. Ing. Karel Kubečka, Ph.D.

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Destrukce betonového vazníku,
foto: prof. Ing. Radim Čajka, CSc.

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Destrukce dřevěného vazníku v Ostravě,
foto: doc. Ing. Karel Kubečka, Ph.D.

Vnitřní síly, napětí

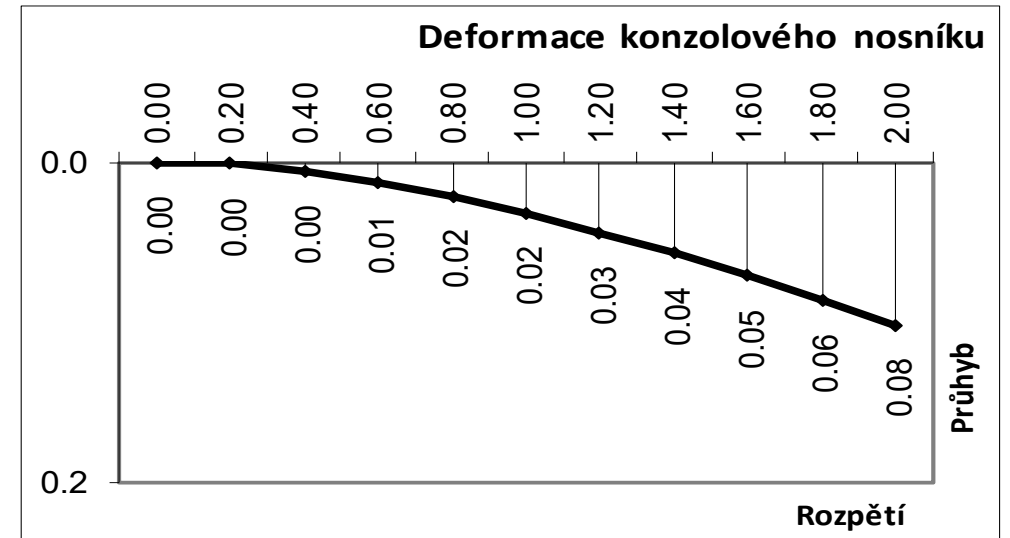
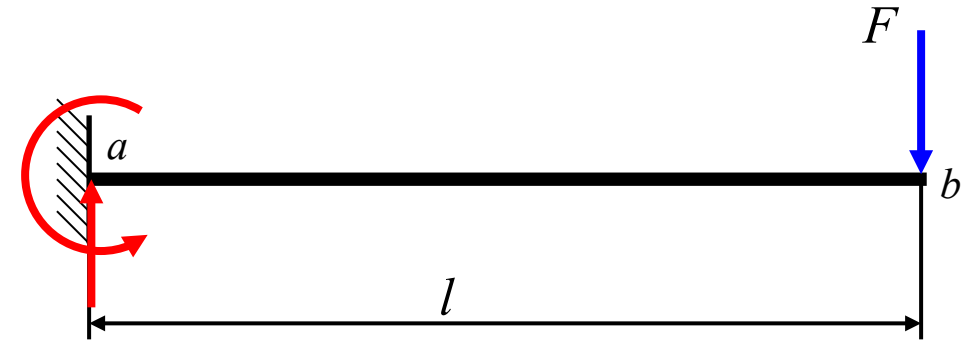
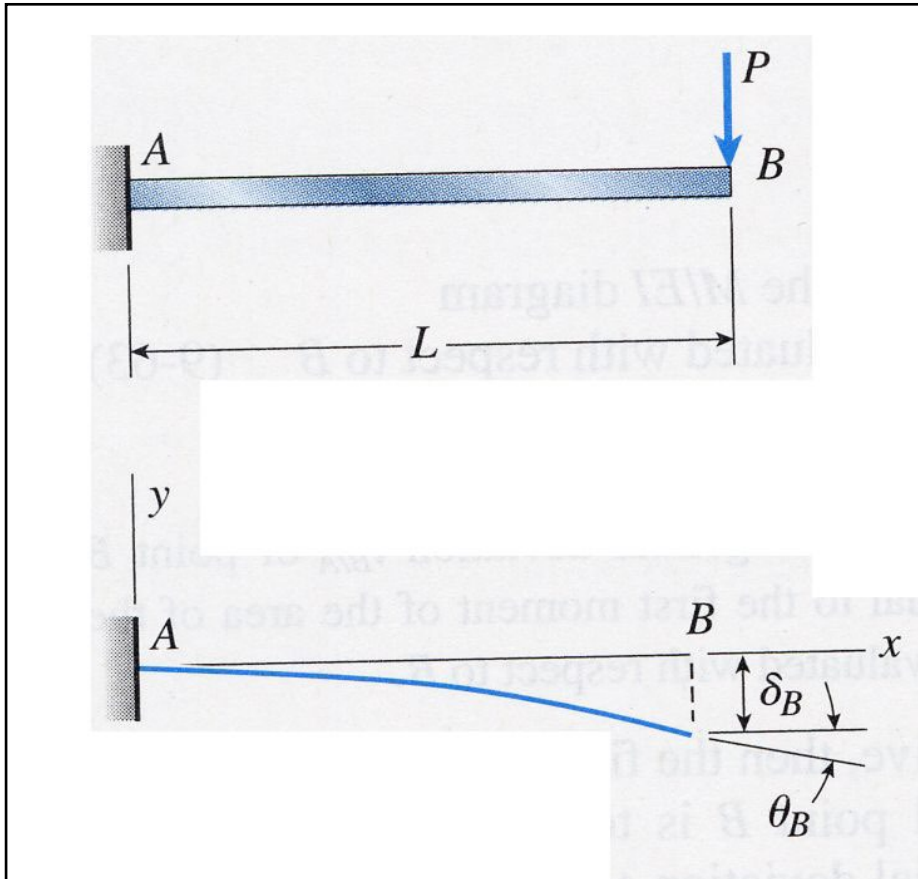
Vnitřní síly nevypovídají nic o míře namáhání tělesa nebo nosného prvku stavební konstrukce. Je nutné uvažovat také s vlivem **tvaru** a **velikosti průřezové plochy**, což do výpočtu vstupuje v podobě tzv. **průřezových charakteristik**.



Významnější veličinou je **napětí** – jeden z klíčových pojmů teorie pružnosti a plasticity.

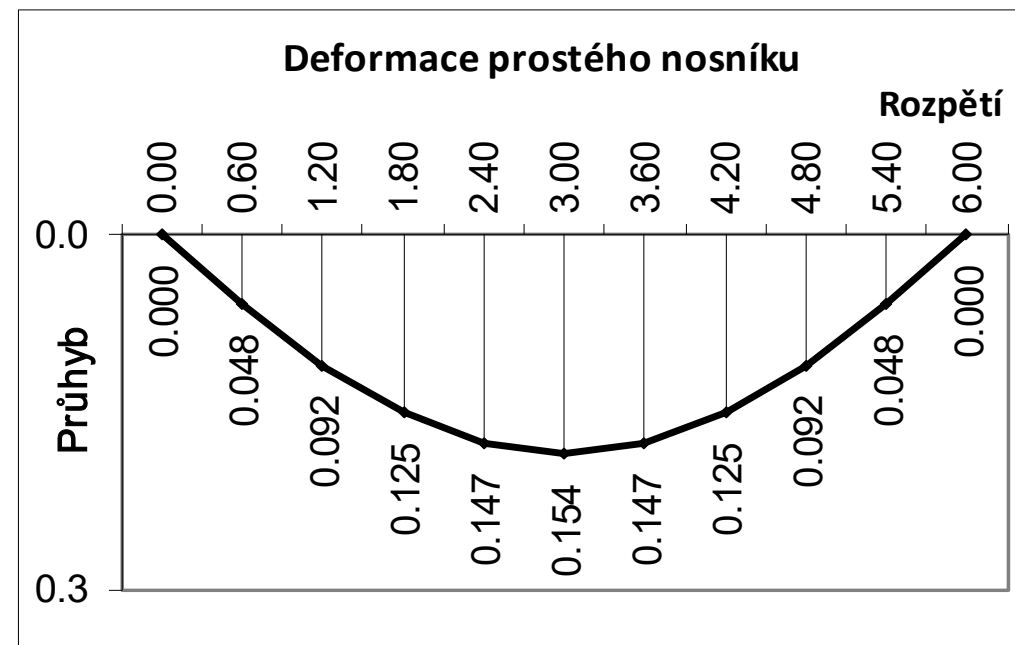
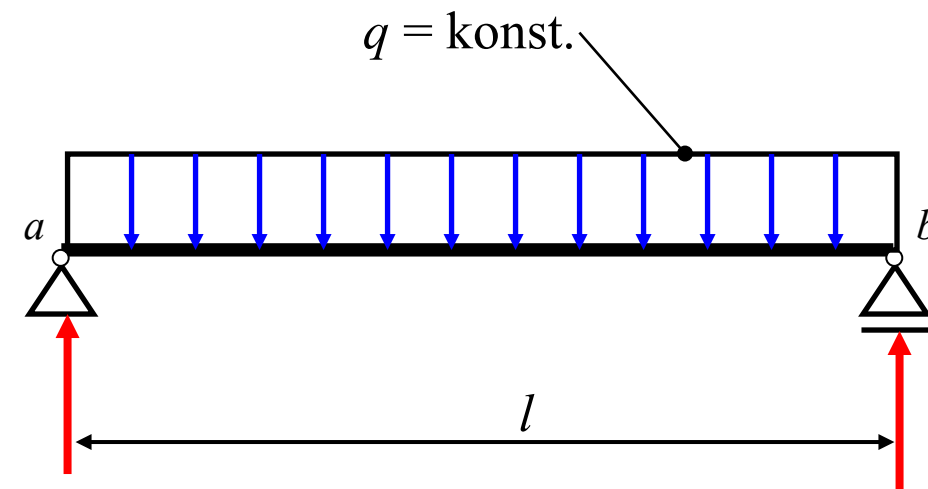
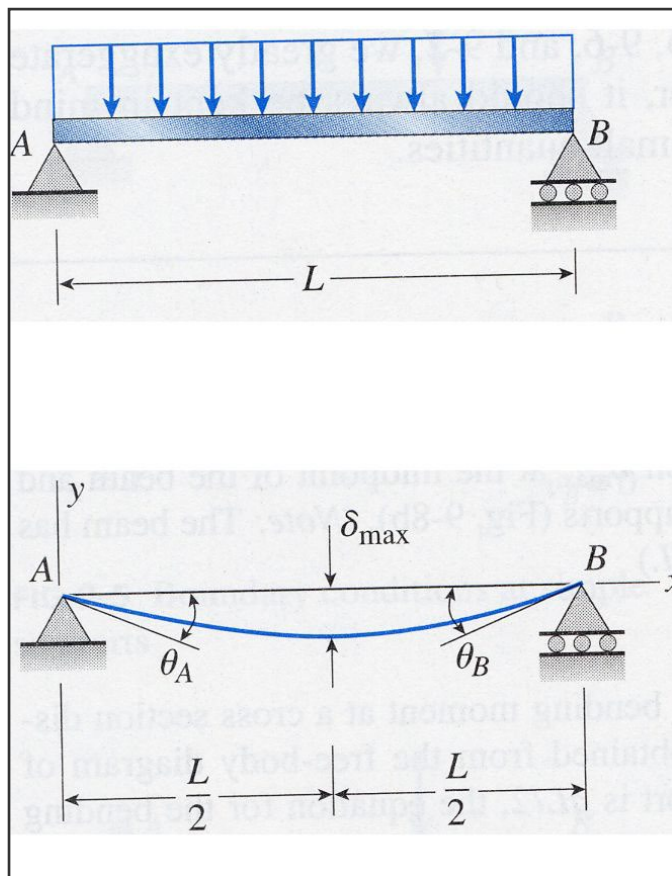
Deformace (přetvoření)

Geometrické změny rozměrů a tvaru těles způsobené účinkem zatížení.



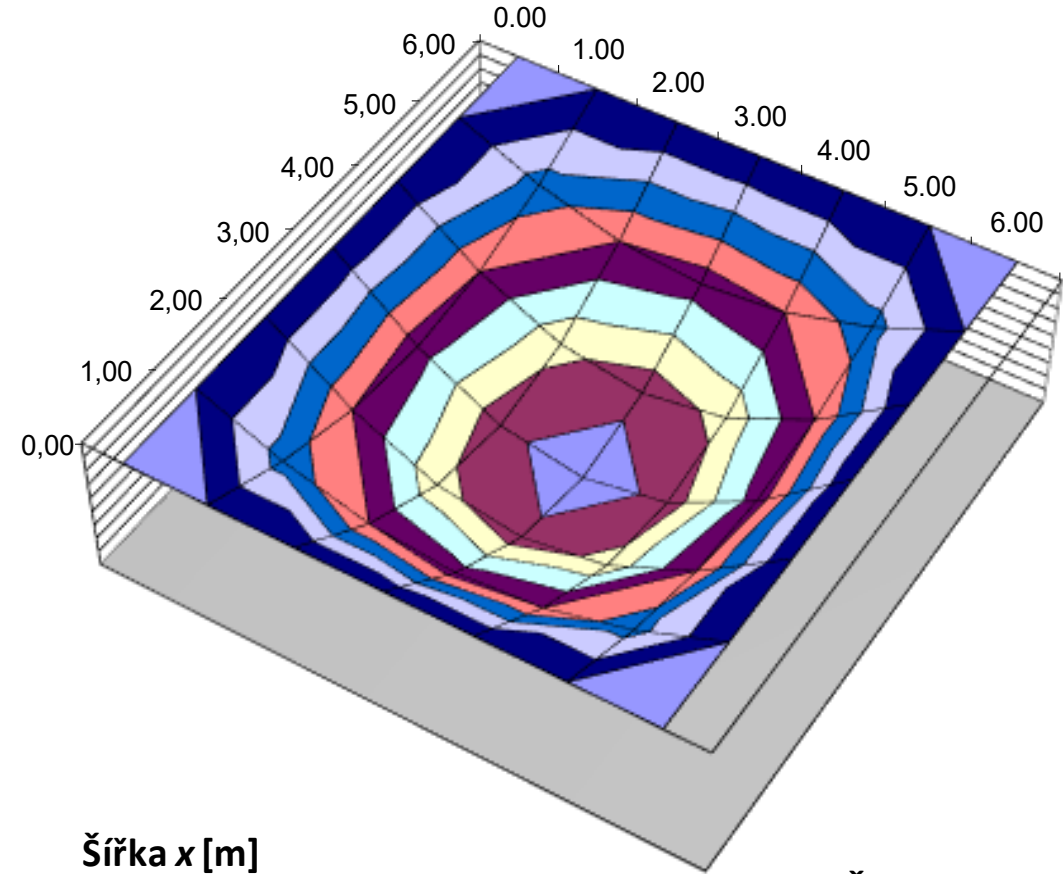
Deformace (přetvoření)

Geometrické změny rozměrů a tvaru těles způsobené účinkem zatížení.



Deformace (přetvoření)

Deformace nosné desky



Průhyb w [m]

- 0.000000-0.000250
- 0.000250-0.000500
- 0.000500-0.000750
- 0.000750-0.001000
- 0.001000-0.001250
- 0.001250-0.001500
- 0.001500-0.001750
- 0.001750-0.002000
- 0.002000-0.002250

Deformace (přetvoření)



Porucha způsobená nerespektováním
přetvoření betonového průvlastku,
foto: prof. Ing. Radim Čajka, CSc.

Deformace

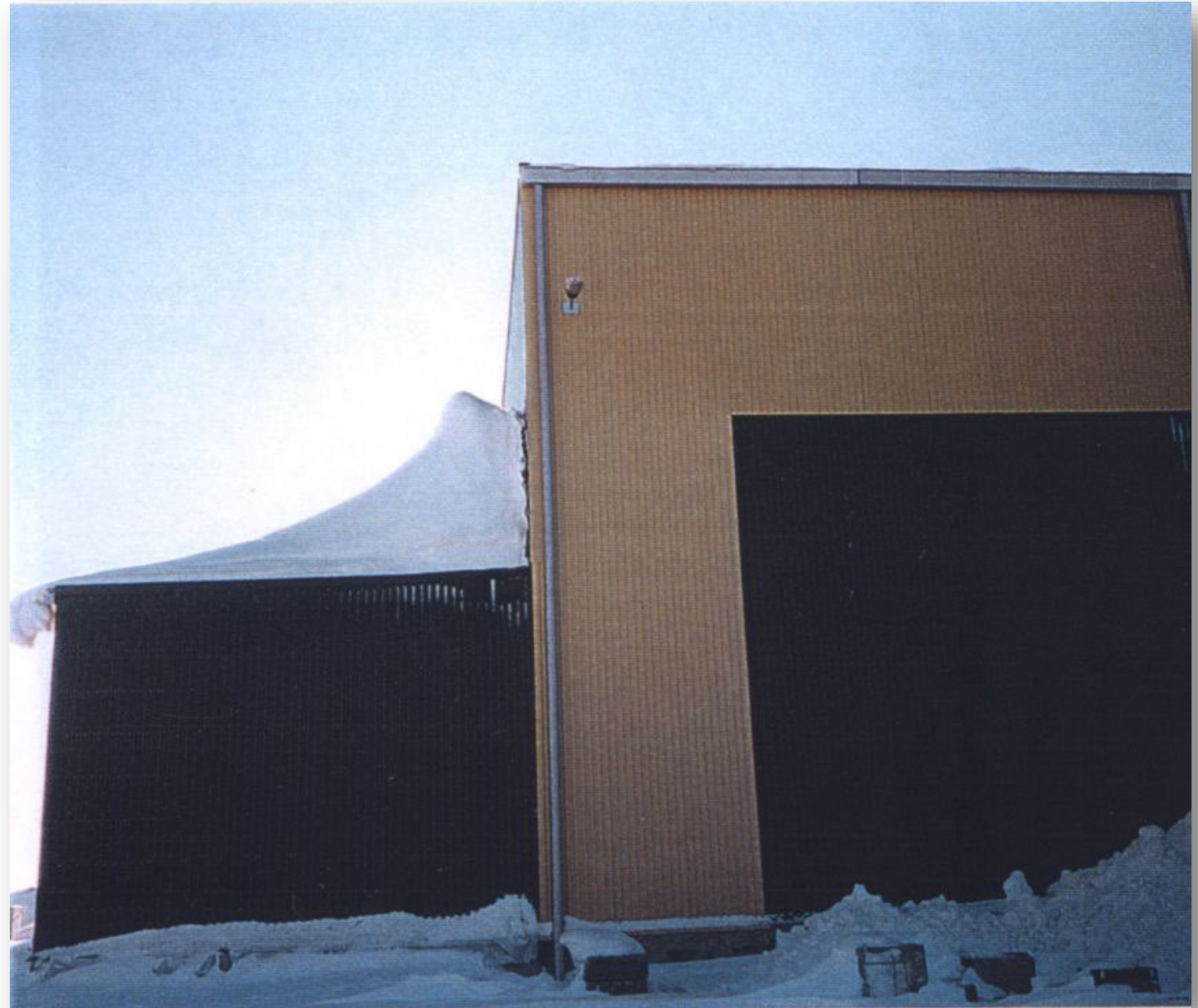


Přetvoření dřevěného vazníku vlivem absence podélného ztužení,
foto: prof. Ing. Radim Čajka, CSc.

Deformace (přetvoření)



Nadměrné přetvoření střechy vlivem extrémního zatížení sněhem, hala Divišov, foto: prof. Ing. Radim Čajka, CSc.



Deformace (přetvoření)

Nadměrné přetvoření střechy
vlivem extrémního zatížení
sněhem, hala Divišov,
foto: prof. Ing. Radim Čajka, CSc.



Deformace (přetvoření)

Nadměrné přetvoření střechy
vlivem extrémního zatížení
sněhem, hala Divišov,
foto:
prof. Ing. Radim Čajka, CSc.



Deformace (přetvoření)



Porušení štítové stěny
vlivem nerespektování
přetvoření konzoly
jeřábové dráhy, hala Baška



Deformace



Porušení štítové stěny vlivem nerespektování přetvoření konzoly jeřábové dráhy, hala Baška

Deformace (přetvoření)

Konstrukce světlíku,
nadměrné deformace
způsobené nesprávným
montážním postupem,
Ostrava



Deformace (přetvoření)

Konstrukce světlíku,
nadměrné deformace
způsobené nesprávným
montážním postupem,
Ostrava



Deformace (přetvoření)

Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava



Deformace (přetvoření)

Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava



Deformace (přetvoření)

Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava



Deformace (přetvoření)

Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava



Deformace (přetvoření)

Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava



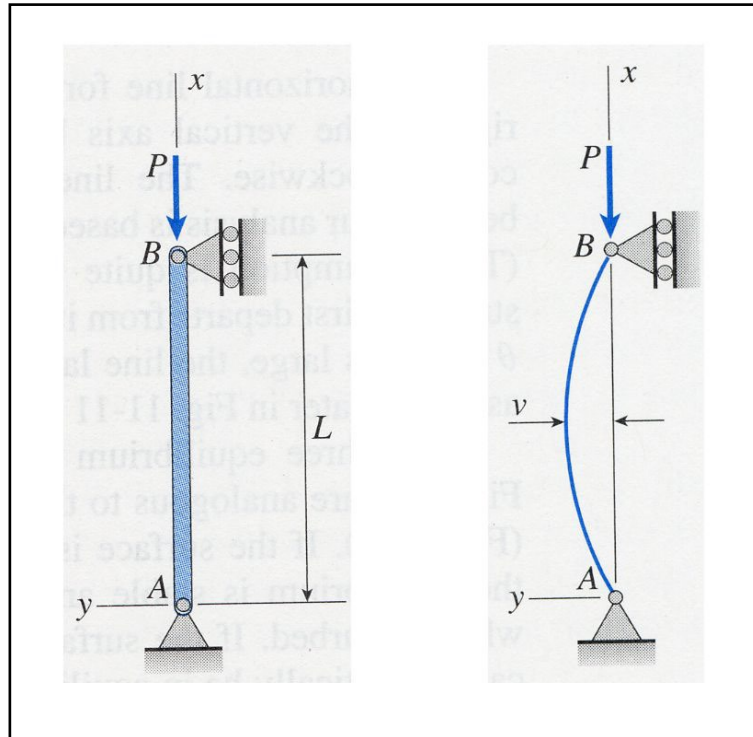
Deformace (přetvoření)

Konstrukce světlíku,
nadměrné deformace
způsobené nesprávným
montážním postupem,
Ostrava



Stabilita

Stabilita - schopnost zachovat nebo obnovit původní rovnovážný stav soustavy bez samovolného narůstání deformací.



Stabilita

Destrukce ocelové konstrukce
zastřešení tribuny stadionu,
foto: prof. Ing. Radim Čajka, CSc.

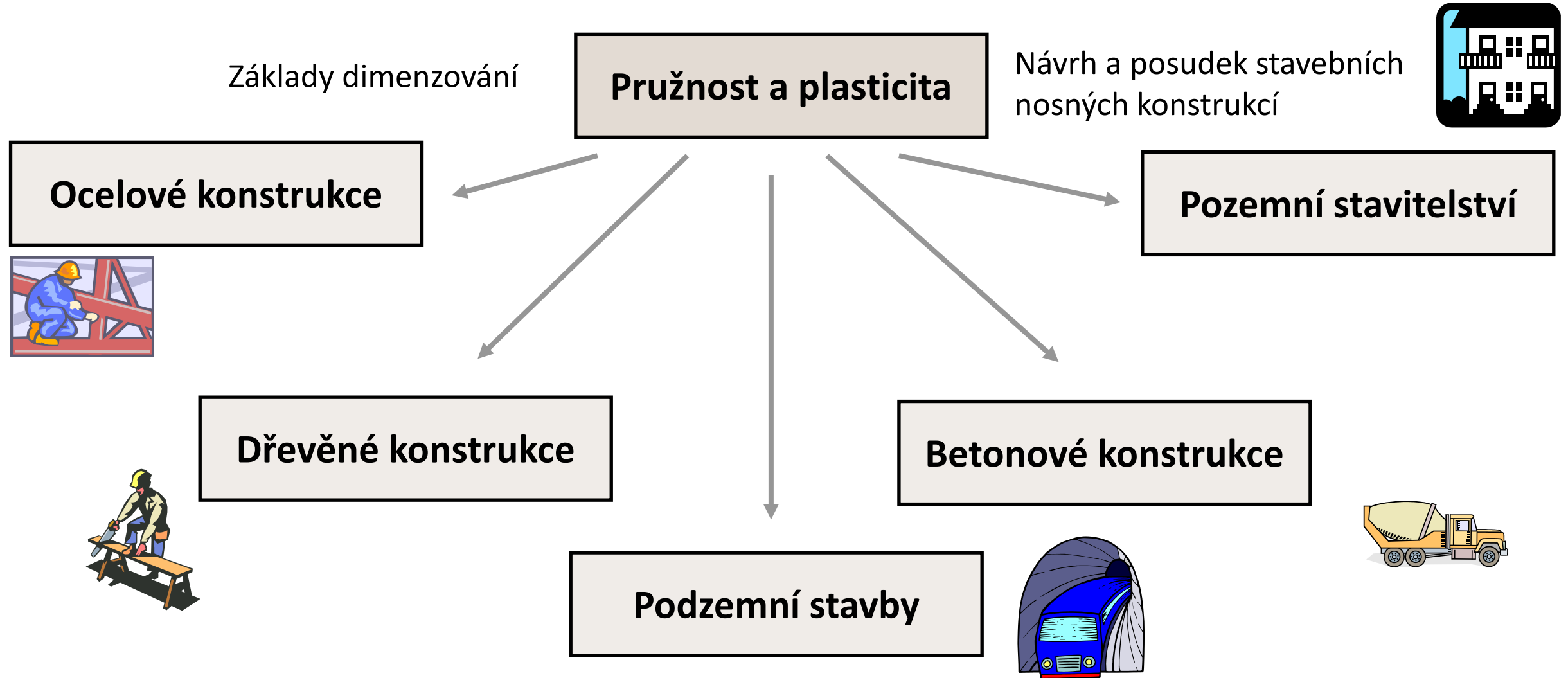


Stabilita

Destrukce ocelové konstrukce
zastřešení tribuny stadionu,
foto: prof. Ing. Radim Čajka, CSc.



Začlenění problematiky předmětu



Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

1. Spojitost látky:

Těleso se považuje za kontinuum, mající celý objem bez mezer, nezabývá se mikrostrukturou materiálu. Díky tomu lze brát napětí i deformaci jako spojitou funkci.

2. Homogenita (pouze jeden materiál)
a izotropie (fyzikální vlastnosti jsou stejné ve všech směrech)
3. Lineární pružnost (platí Hookův zákon)
4. Teorie malých deformací
5. Statické zatěžování
6. Není počáteční napjatost (vnitřní pnutí)

Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

1. Spojitost látky

2. **Homogenita** (pouze jeden materiál) a **izotropie** (fyzikální vlastnosti jsou stejné ve všech směrech):

Homogenní (stejnorodá) **látka** má fyzikální vlastnosti ve všech místech shodné. Nerespektují se náhodné vady a nerovnoměrnosti – beton, ocel a dřevo. Při kombinaci dvou a více materiálů (např. beton a ocel) se předpoklad homogenní látky opouští. **Izotropní materiál** má vlastnosti nezávislé na směru (např. beton a ocel, NE – dřevo)

3. Lineární pružnost (platí Hookův zákon)

4. Teorie malých deformací

5. Statické zatěžování

6. Není počáteční napjatost (vnitřní pnutí)

Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

1. Spojitost látky
2. Homogenita (pouze jeden materiál)
a izotropie (fyzikální vlastnosti jsou stejné ve všech směrech)

3. Lineární pružnost (platí Hookův zákon):

Pružnost je schopnost látky vracet se po odstranění příčin změn (např. zatížení) do původního stavu. Pokud platí přímá úměrnost mezi napětím a deformací – tzn. Hookův zákon, jedná se o tzv. **fyzikální linearitu**.

4. Teorie malých deformací
5. Statické zatěžování
6. Není počáteční napjatost (vnitřní pnutí)

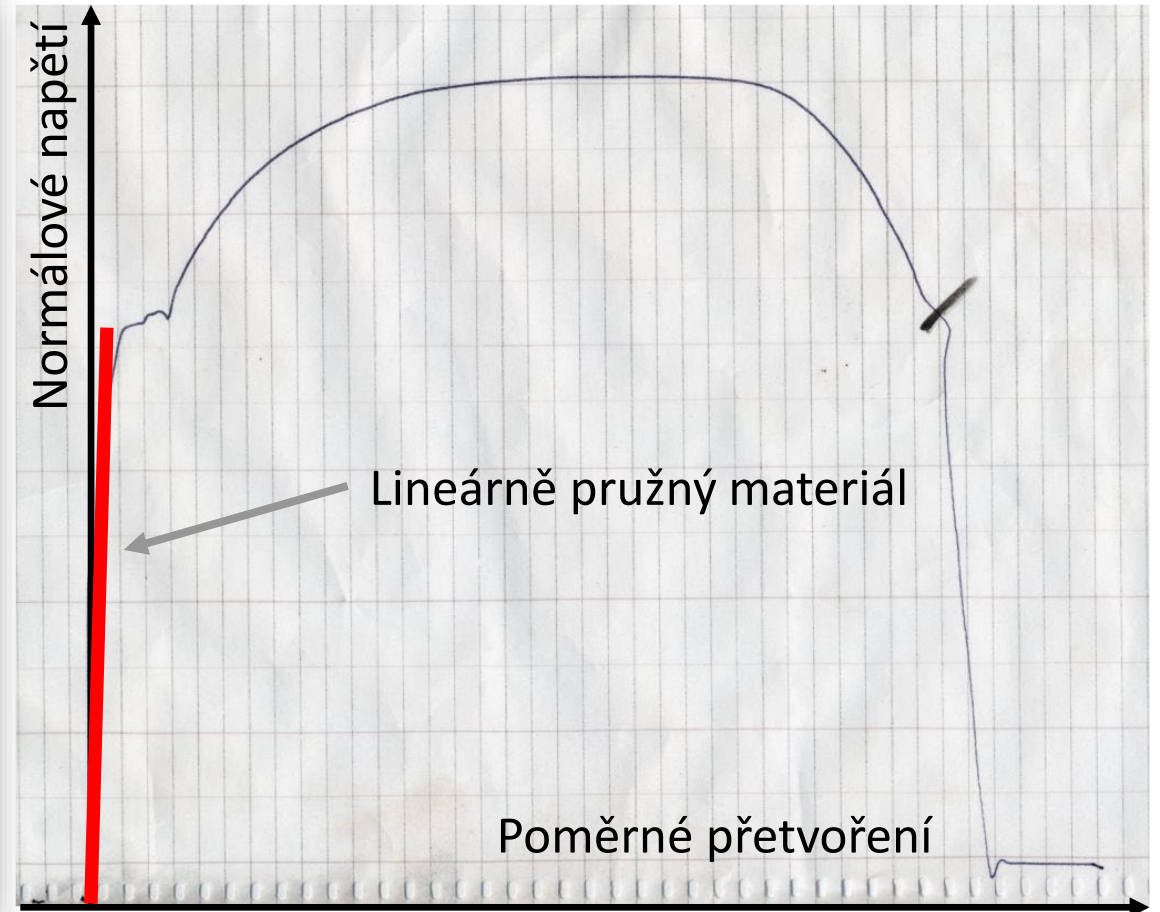
Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

Tahová zkouška oceli,
experimentální určení
pracovního diagramu



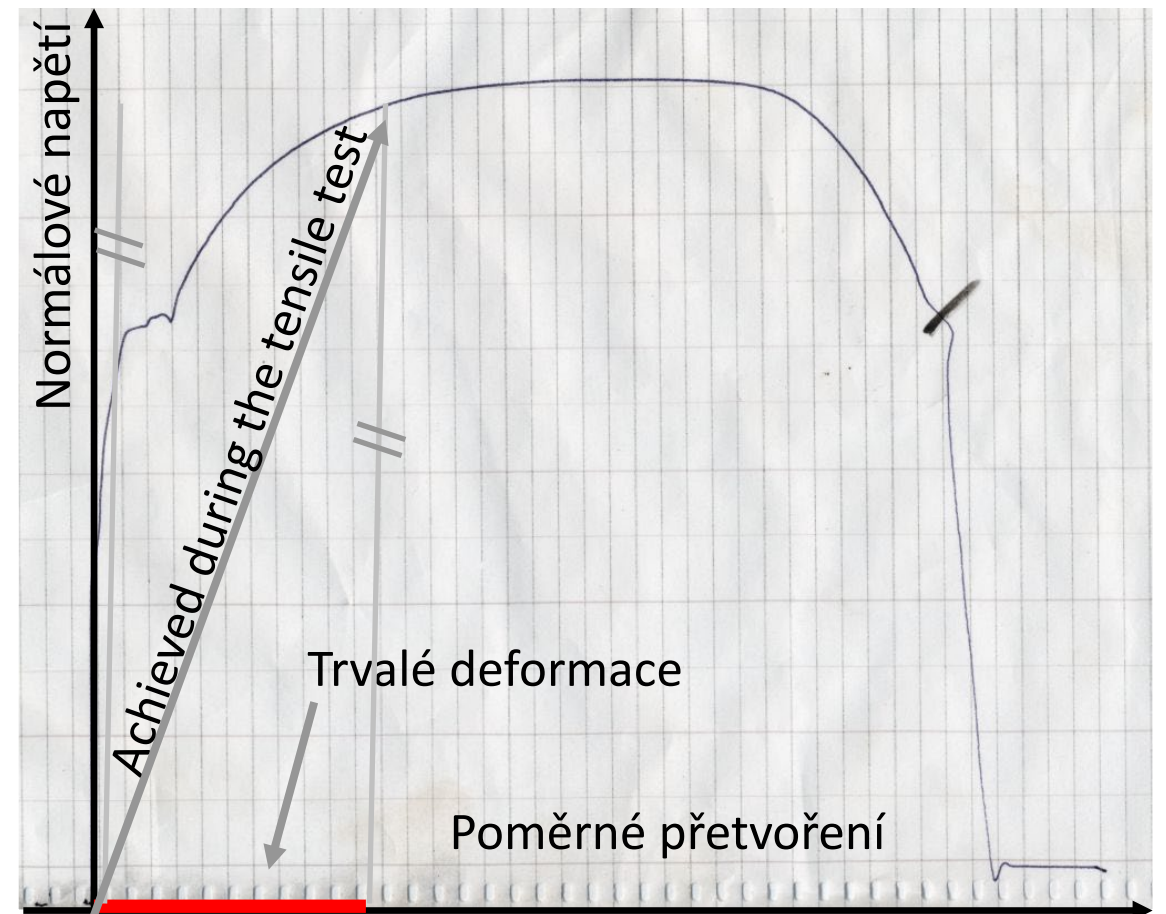
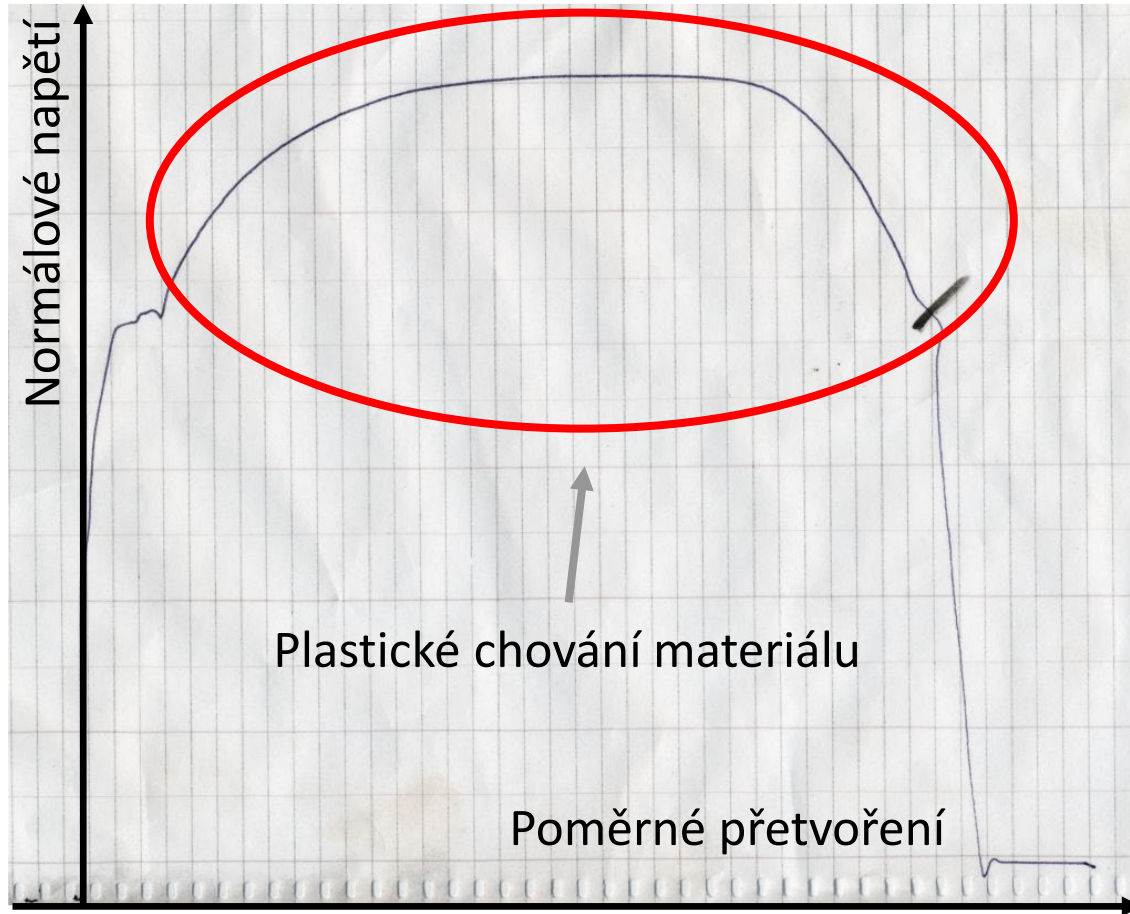
Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

Tahová zkouška oceli, experimentální určení pracovního diagramu



Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

Nelineární pružnost, fyzikální nelinearita

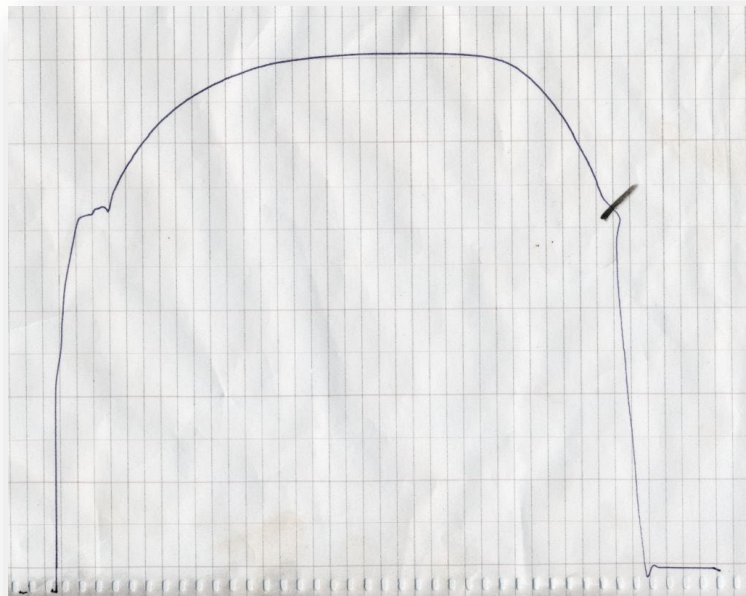


Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

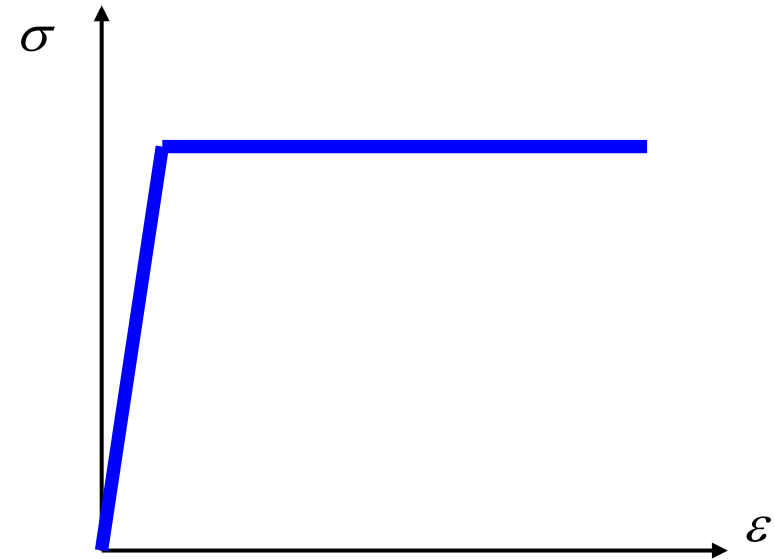
Plasticita: Schopnost látky deformovat se bez porušení nevratným, tvárným způsobem. Zatížení a odlehčení se neřídí shodnými zákonitostmi – po odstranění zatížení zůstávají **trvalé deformace**.

Plastických vlastností oceli se využívá při navrhování ocelových a železobetonových konstrukcí.

Pracovní diagram oceli



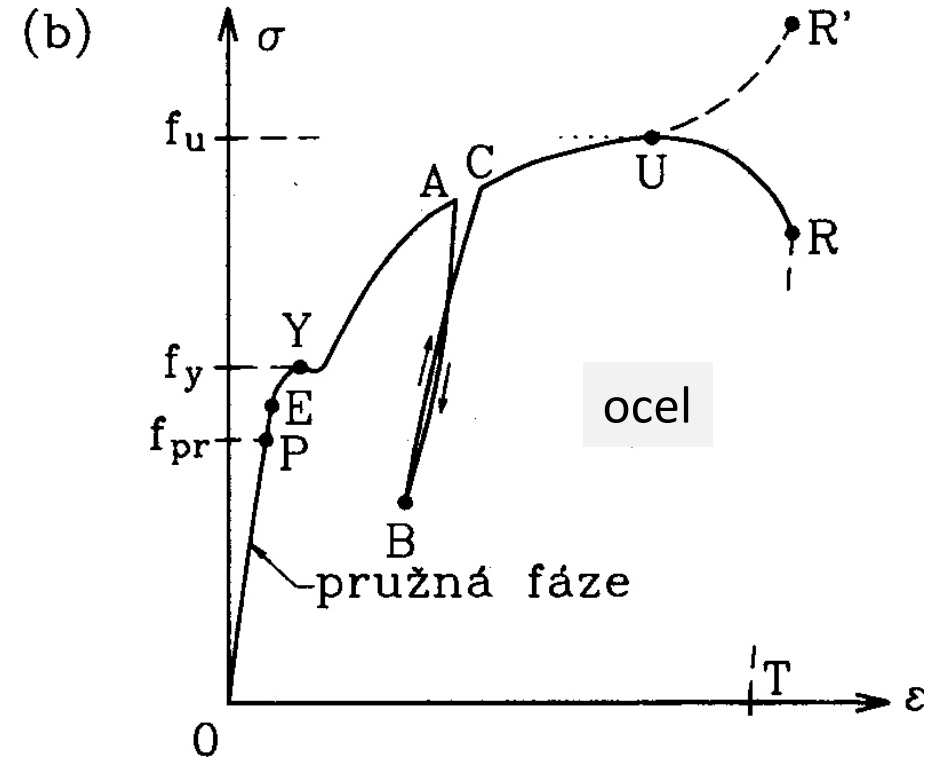
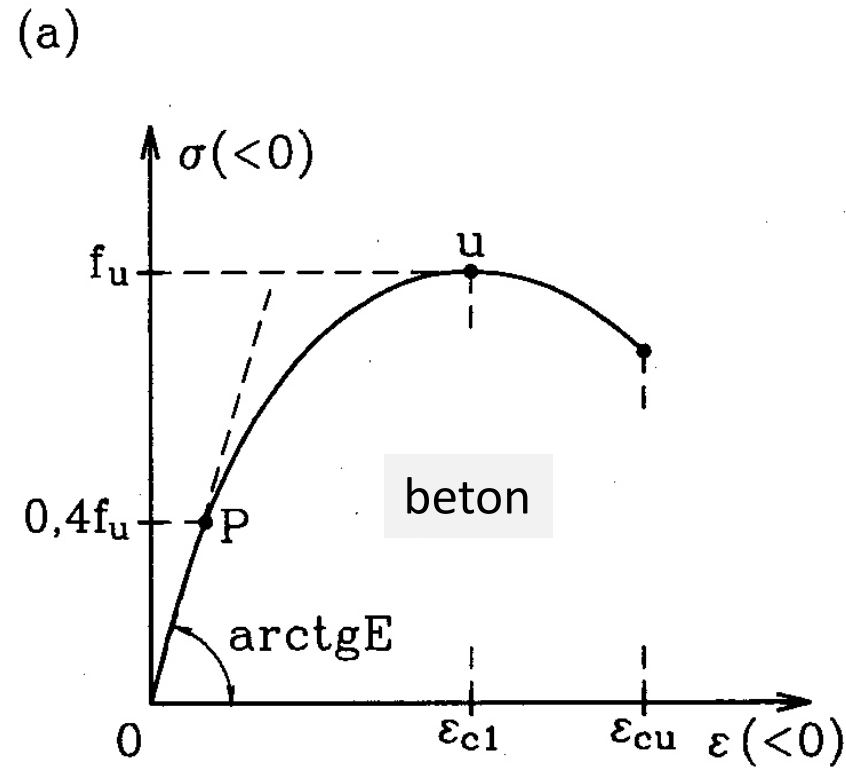
Ideálně pružno-plastický materiál



Základní pojmy teorie pružnosti a plasticity

Pracovní diagramy stavebních materiálů

f_e, f_{pr} ... mez pružnosti
 f_y ... mez kluzu
 f_u ... mez pevnosti



Plasticita: schopnost materiálu měnit tvar nevratným způsobem bez porušení celistvosti.

Tažnost: plastické protažení při přetržení (vzdálenost \overline{OT} v procentech, ocel 15%).

Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

1. Spojitost látky
2. Homogenita (pouze jeden materiál)
a izotropie (fyzikální vlastnosti jsou stejné ve všech směrech)
3. Lineární pružnost (platí Hookův zákon)

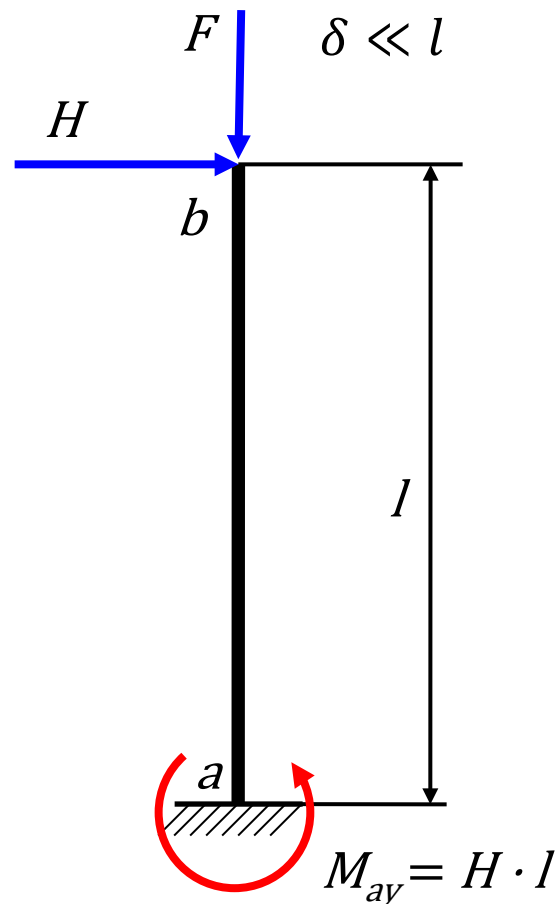
4. Teorie malých deformací:

Pokud jsou změny tvaru konstrukce vzhledem k jejím rozměrům malé, pak lze při řešení úloh teorie pružnosti využít řady matematických zjednodušení, které obvykle vedou k lineárním vztahům.

5. Statické zatěžování
6. Není počáteční napjatost (vnitřní pnutí)

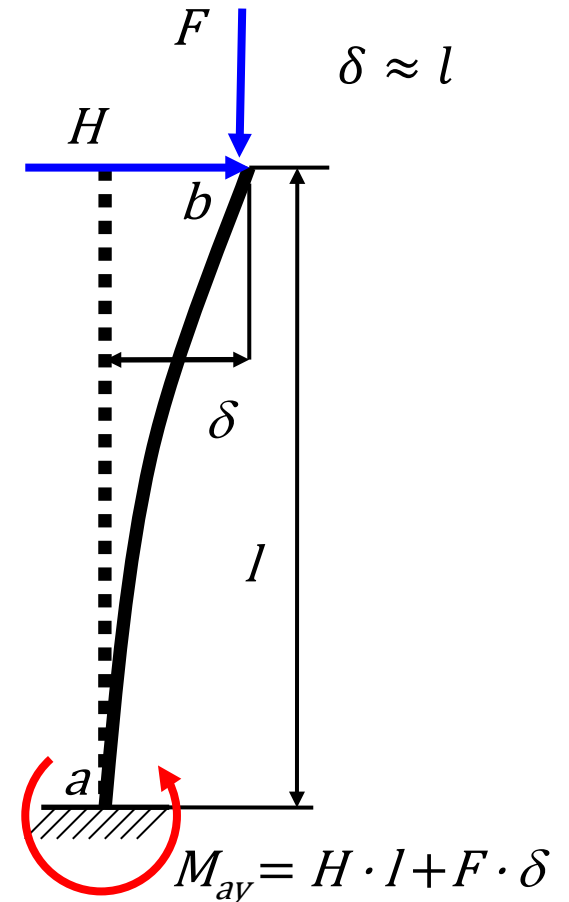
Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

Teorie malých deformací



Teorie I. řádu

Teorie velkých (konečných) deformací



Teorie II. řádu
(geometrická nelinearita)

Podmínky rovnováhy se určují na zdeformované konstrukci (např. při řešení vzpěru sloupů).

Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

1. Spojitost látky
2. Homogenita (pouze jeden materiál)
a izotropie (fyzikální vlastnosti jsou stejné ve všech směrech)
3. Lineární pružnost (platí Hookův zákon)
4. Teorie malých deformací

5. Statické zatěžování:

Předpoklad postupného narůstání vnějších účinků (např. zatížení) v čase a v důsledku toho i napětí a deformací, lze zanedbat dynamické účinky.

6. Není počáteční napjatost (vnitřní pnutí)

Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

1. Spojitost látky
2. Homogenita (pouze jeden materiál) a izotropie (fyzikální vlastnosti jsou stejné ve všech směrech)
3. Lineární pružnost (platí Hookův zákon)
4. Teorie malých deformací
5. Statické zatěžování



6. **Není počáteční napjatost** (vnitřní pnutí):

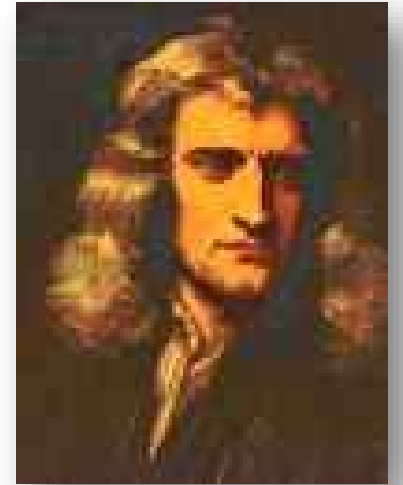
Ve výchozím stavu jsou všechna napětí rovna nule. Vnitřní pnutí, vyvolaná např. výrobou (válcováním ocelových nosníků, svařováním), nejsou zahrnuta.

Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

1. Spojitost látky
2. Homogenita a izotropie
3. Lineární pružnost (platí Hookův zákon)
4. Teorie malých deformací
5. Statické zatěžování
6. Není počáteční napjatost

Základní zákony statiky

- Princip akce a reakce
- Princip superpozice (skládání) účinků
- Princip úměrnosti



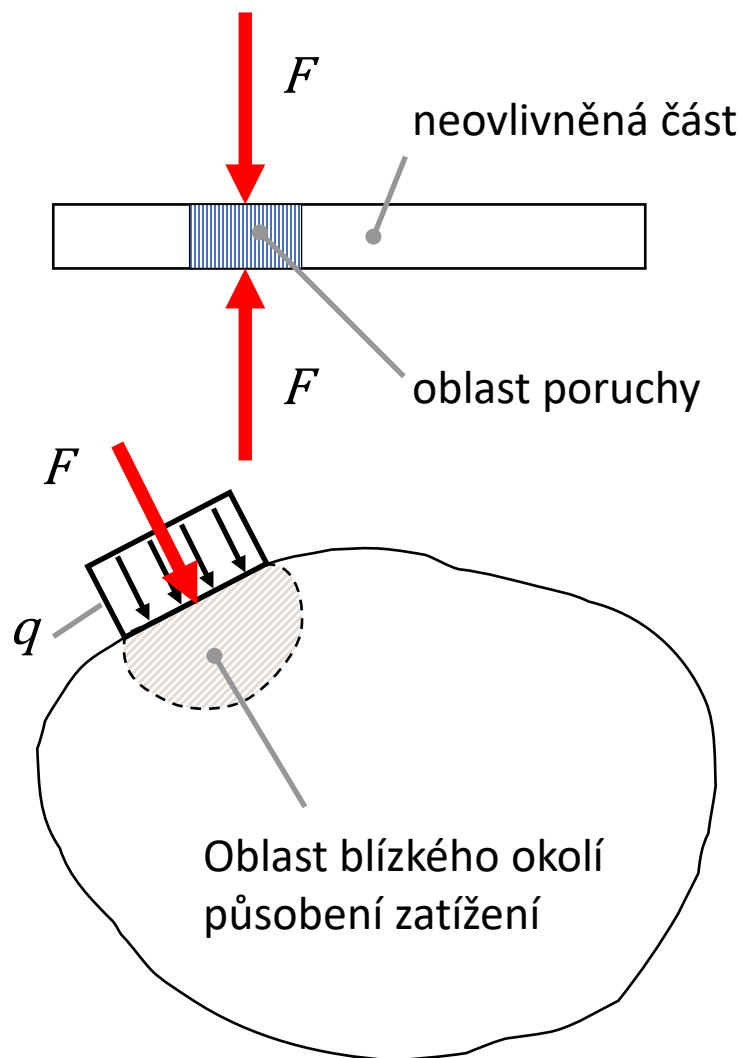
Issac Newton
(1642 - 1727)

Tyto předpoklady umožňují uplatnění **principu superpozice** (skládání účinků), který je založen na **linearitě** všech matematických závislostí.

Saint - Venantův princip lokálního účinku



Jean Claude Saint-Venant
(1797-1886)



Saint - Venantův princip lokálního účinku umožňuje nahradit skutečné zatížení jednodušším pro účely snadnějšího výpočtu napětí v tělesech (stavebních konstrukcích).

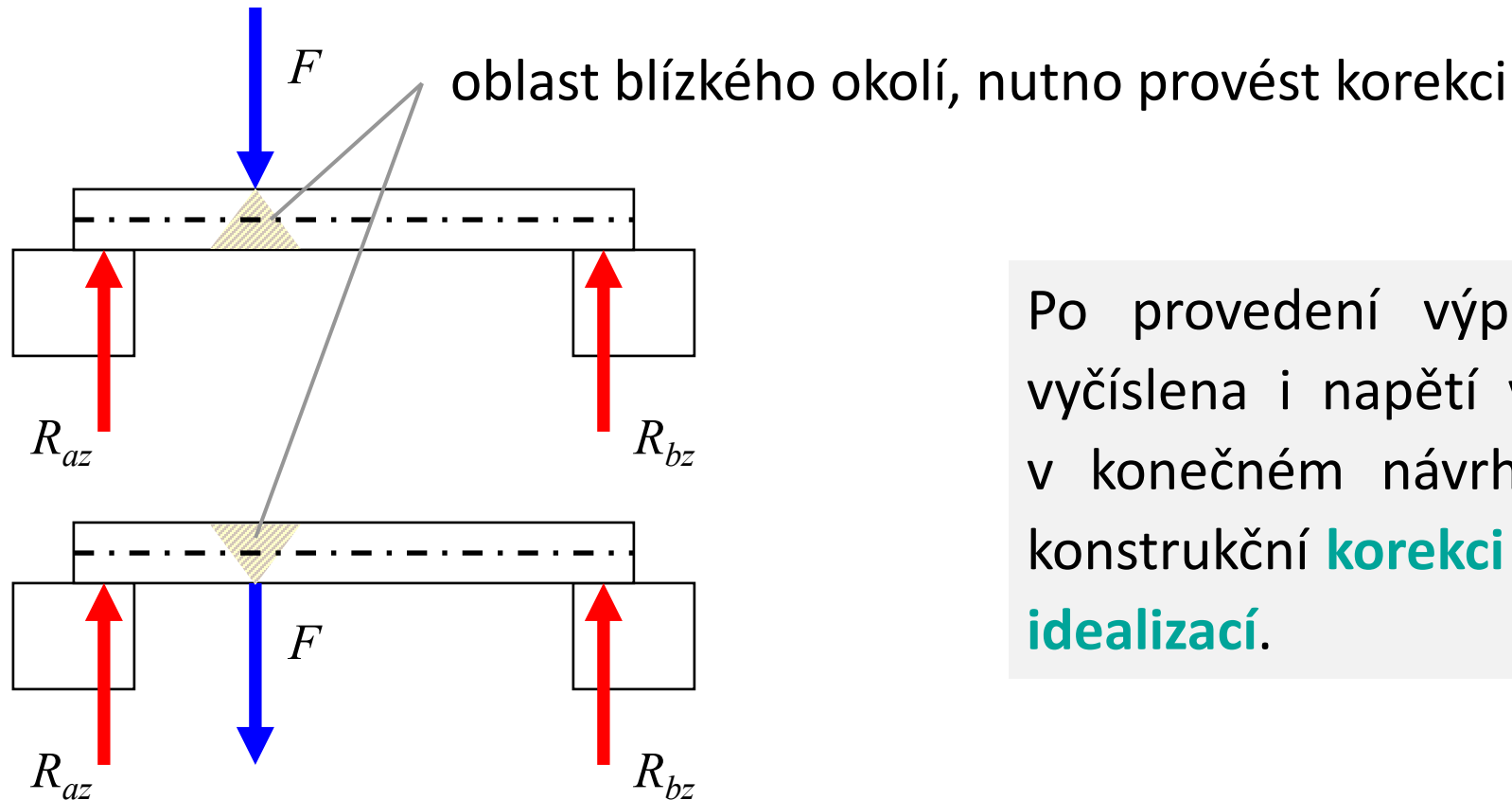
- Rovnovážná soustava zatěžovacích sil ovlivní stav napjatosti jen v blízkém okolí jejich působení.
- Ve vzdálenějších bodech má zanedbatelné účinky.

Používá se:

- a) ke **zjednodušení povrchového zatížení** jeho náhradou - staticky ekvivalentním, pro výpočet výhodnějším zatížením (spojité zatížení na malé ploše lze nahradit osamělým břemenem)

Saint - Venantův princip lokálního účinku

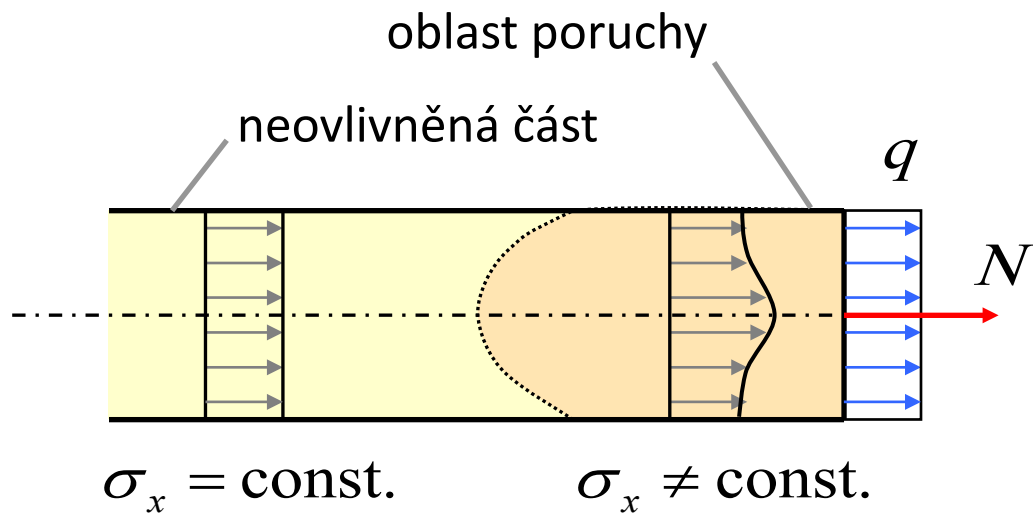
- b) skutečné rozměry prutu lze **idealizovat do střednice** (síla působí na střednici prutu nikoliv na horní nebo spodní líc).



Po provedení výpočtu, zejména jsou-li vyčíslena i napětí v průřezech, je nutno v konečném návrhu konstrukce provést konstrukční **korekci v oblasti provedených idealizací**.

Saint - Venantův princip lokálního účinku

Příklad uplatnění **Saint - Venantova principu lokálního účinku** - koncentrované zatížení na konci prutu



Saint - Venantův princip lokálního účinku

Saint - Venantův princip lokálního účinku neplatí v případech prutů s náhlou změnou průřezu (oslabení průřezu dírami, zářezy nebo zúžením).

