

VŠB TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA | FAKULTA STAVEBNÍ | KATEDRA STAVEBNÍ MECHANIKY

Téma 1: Úvod do předmětu

- Předmět **Úvod do pružnosti a plasticity** ve studijním programu **Architektura a stavitelství**
- Začlenění předmětu do problematiky navrhování nosných stavebních konstrukcí
- Základní pojmy a výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti
- Saint - Venantův princip lokálního účinku

22/8/22 Úvod do pružnosti a plasticity 0

0

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**

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 1

1

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Dům „U čtyř Mamlasů“, náměstí Svobody, Brno

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 2

2

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Původní vzhled mostu přes Mississippi z roku 1967, Minneapolis

22/8/22

Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství

3

3

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Zřícený most přes řeku Mississippi, Minneapolis, srpen 2007

22/8/22

Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství

4

4

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Zřícený most přes řeku Mississippi, Minneapolis, srpen 2007

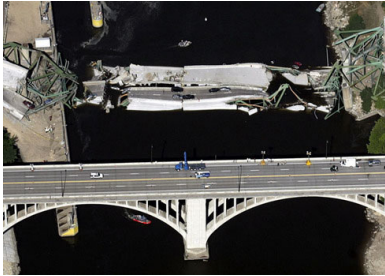
22/8/22

Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství

5

5

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci

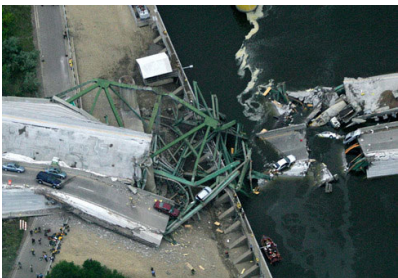


Zřícený most přes řeku Mississippi, Minneapolis, srpen 2007

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 6

6

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Zřícený most přes řeku Mississippi, Minneapolis, srpen 2007

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 7

7

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Zřícený most přes řeku Mississippi, Minneapolis, srpen 2007

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 8

8

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



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

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 9

9

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



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

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 10

10

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



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

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 11

11

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



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

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 12

12

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.



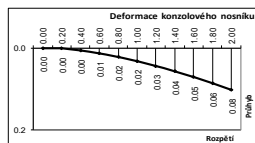
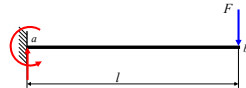
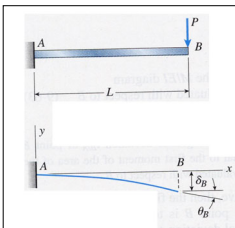
Významnější veličinou je napětí – jeden z klíčových pojmů teorie pružnosti a plasticity.

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 13

13

Deformace (přetvoření)

Geometrické změny rozměrů a tvaru těles způsobené účinkem zatížení.



22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 14

14

Deformace (přetvoření)

Geometrické změny rozměrů a tvaru těles způsobené účinkem zatížení.

Průhyb	Rozpětí
0.000	0.00
0.048	0.60
0.092	1.20
0.125	1.80
0.147	2.40
0.154	3.00
0.147	3.60
0.125	4.20
0.092	4.80
0.048	5.40
0.000	6.00

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 15

15

Deformace (přetvoření)

Deformace nosné desky

Průhyb w [m]

- 0.00000-0.000250
- 0.00025-0.000500
- 0.00050-0.000750
- 0.00075-0.001000
- 0.00100-0.001250
- 0.00125-0.001500
- 0.00150-0.001750
- 0.00175-0.002000
- 0.00200-0.002250

Šířka x [m] Šířka y [m]

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 16

16

Deformace (přetvoření)

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

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 17

17

Deformace

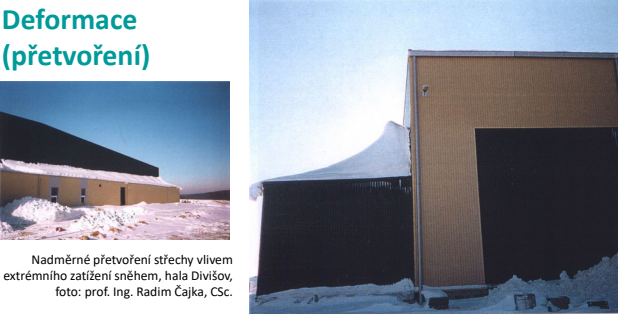


Přetvoření dřevěného vazniku vlivem absence podélného ztužení, foto: prof. Ing. Radim Čajka, CSc.

22/8/22 Předmět Úvod do průžnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 18

18

Deformace (přetvoření)




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

22/8/22 Předmět Úvod do průžnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 19

19

Deformace (přetvoření)



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

22/8/22 Předmět Úvod do průžnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 20

20

Deformace (přetvoření)



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

22/8/22 Předmět Úvod do praxe a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 21

21

Deformace (přetvoření)

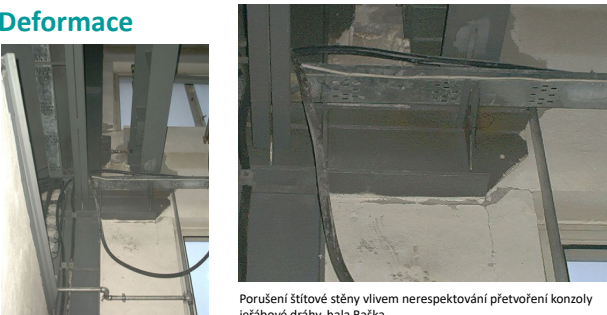


Porušení štitové stěny vlivem nerespektování přetvoření konzoly jeřábové dráhy, hala Baška

22/8/22 Předmět Úvod do praxe a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 22

22

Deformace




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

22/8/22 Předmět Úvod do praxe a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 23

23

Deformace (přetvoření)



Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava

22/8/22 Předmět Úvod do praxe a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 24

24

Deformace (přetvoření)



Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava

22/8/22 Předmět Úvod do praxe a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 25

25

Deformace (přetvoření)



Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava

22/8/22 Předmět Úvod do praxe a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 26

26

Deformace (přetvoření)



Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 27

27

Deformace (přetvoření)



Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 28

28

Deformace (přetvoření)



Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 29

29

Deformace (přetvoření)



Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 30

30

Deformace (přetvoření)



Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 31

31

Stabilita

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



22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 32

32

Stabilita



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

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 33

33

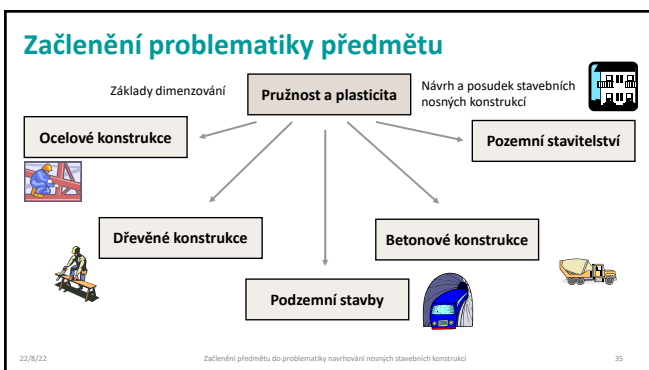
Stabilita



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

22/8/22 Předmět Úvod do pružnosti a plasticity ve studijním programu Architektura a stavitelství 34

34



35

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)

22/8/22

Základní pojmy a výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

36

36

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 předpokládá homogenní látka 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)

22/8/22

Základní pojmy a výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

37

37

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)

22/8/22

Základní pojmy a výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

38

38

Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

Tahová zkouška oceli, experimentální určení pracovního diagramu

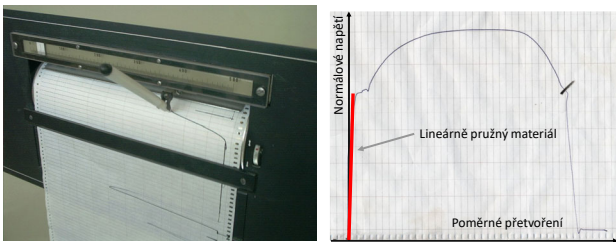


Základní pojmy a výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti 39

39

Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

Tahová zkouška oceli, experimentální určení pracovního diagramu



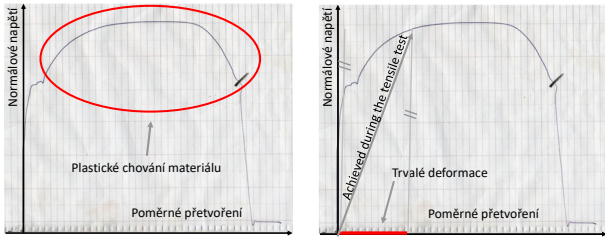
Normálové napětí
Lineárně pružný materiál
Poměrné přetvoření

Základní pojmy a výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti 40

40

Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

Nelineární pružnost, fyzikální nelinearita



Normálové napětí
Plastické chování materiálu
Poměrné přetvoření
Normálové napětí
Achieved during the tensile test
Trvalé deformace
Poměrné přetvoření

Základní pojmy a výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti 41

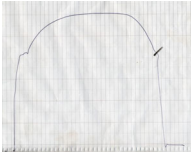
41

Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

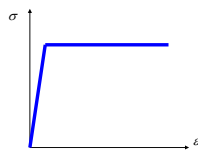
Plasticita: Schopnost látky deformovat se bez porušení nevratným, tvárným způsobem. Zatížení a odlehčení se neřídí shodnými zákonitostmi – po odstranění zatížení zůstávají **trvalé deformace**.

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

Pracovní diagram oceli



Ideálně pružno-plastický materiál

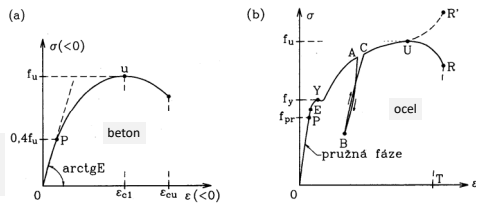


22/8/22 42

42

Základní pojmy teorie pružnosti a plasticity

Pracovní diagramy stavebních materiálů



f_{ce}, 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%).

22/8/22 43

43

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)

22/8/22 44

44

Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

Teorie malých deformací

$\delta \ll l$

Teorie I. řádu

$M_{xy} = H \cdot l$

Teorie velkých (konečných) deformací

$\delta \approx l$

Teorie II. řádu (geometrická nelinearita)

$M_{xy} = H \cdot l + F \cdot \delta$

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

22/8/22 Základní pojmy a výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti 45

45

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)

22/8/22 Základní pojmy a výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti 46

46

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.



22/8/22 Základní pojmy a výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti 47

47

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

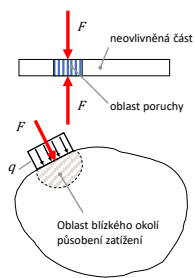


Issac Newton (1642 - 1727)

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

48

Saint - Venantův princip lokálního účinku



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



Jean Claude Saint-Venant (1797-1886)

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

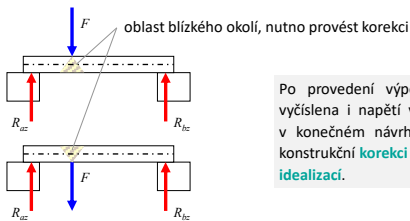
Používá se:

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

49

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 oblastí provedených idealizací**.

50

Saint - Venantův princip lokálního účinku

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

oblast poruchy
neovlivněná část

q

N

$\sigma_x = \text{const.}$ $\sigma_x \neq \text{const.}$

22/8/22 Saint - Venantův princip lokálního účinku 51

51

Saint - Venantův princip lokálního účinku

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

q

d

b

q

q

22/8/22 Saint - Venantův princip lokálního účinku 52

52
