

VŠB TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA | FAKULTA STAVEBNÍ | KATEDRA STAVEBNÍ MECHANIKY

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

22/8/22 Pružnost a plasticita 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 Pružnost a plasticita ve studijním programu Stavební inženýrství 1

1

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Dům „U čtyř Mamlasů“, náměstí Svobody, Brno

22/8/22 Předmět Pružnost a plasticita ve studijním programu Stavební inženýrství 2

2

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Původní vzhled mostu přes Mississippi z roku 1967, Minneapolis

22/8/22

Předmět Pružnost a plasticita ve studijním programu Stavební inženýrství

3

3

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Zřícený most přes řeku Mississippi, Minneapolis, srpen 2007

22/8/22

Předmět Pružnost a plasticita ve studijním programu Stavební inženýrství

4

4

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Zřícený most přes řeku Mississippi, Minneapolis, srpen 2007

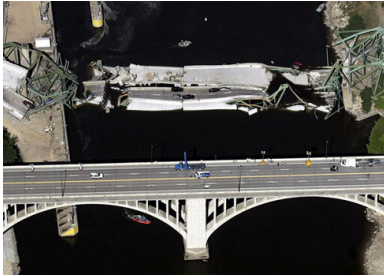
22/8/22

Předmět Pružnost a plasticita ve studijním programu Stavební inženýrství

5

5

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci

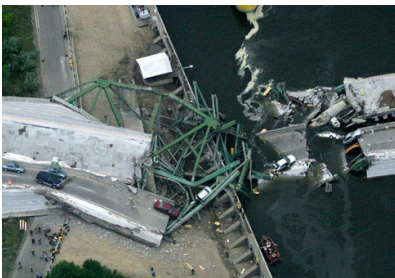


Zřícený most přes řeku Mississippi, Minneapolis, srpen 2007

22/8/22 Předmět Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 6

6

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Zřícený most přes řeku Mississippi, Minneapolis, srpen 2007

22/8/22 Předmět Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 7

7

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



Zřícený most přes řeku Mississippi, Minneapolis, srpen 2007

22/8/22 Předmět Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 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 Pružnost a plasticita ve studijním programu Stavební inženýrství

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 Pružnost a plasticita ve studijním programu Stavební inženýrství

10

10

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



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

22/8/22 Předmět Pružnost a plasticita ve studijním programu Stavební inženýrství

11

11

Napětí (intenzita vnitřních sil) v tělese, v konstrukci



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

22/8/22 Přednáška Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 12

12

Vnitřní síly, napětí

Vnitřní síly nevytvářejí 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.



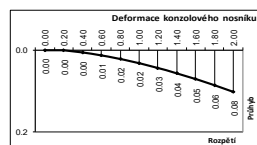
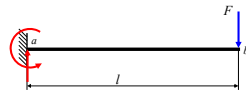
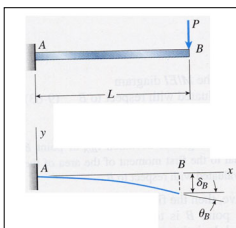
Významnější veličinou je **napětí** – jeden z klíčových pojmů teorie pružnosti a plasticity.

22/8/22 Přednáška Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 13

13

Deformace (přetvoření)

Geometrické změny rozměrů a tvaru těles způsobené účinkem zatížení.



22/8/22 Přednáška Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 14

14

Deformace (přetvoření)

Geometrické změny rozměrů a tvaru těles způsobené účinkem zatížení.

| Průhyb | Rozpětí |
|--------|---------|
| 0.000 | 0.00 |
| 0.0418 | 0.60 |
| 0.0102 | 1.20 |
| 0.125 | 1.80 |
| 0.147 | 2.40 |
| 0.154 | 3.00 |
| 0.147 | 3.60 |
| 0.125 | 4.20 |
| 0.0102 | 4.80 |
| 0.0418 | 5.40 |
| 0.000 | 6.00 |

22/8/22 Přednáška Průhybnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 15

15

Deformace (přetvoření)

Deformace nosné desky

Průhyb w [m]

- 0.00000-0.00002 50
- 0.00002-0.00004 50
- 0.00004-0.00007 50
- 0.00007-0.00010 50
- 0.00010-0.00012 50
- 0.00012-0.00015 50
- 0.00015-0.00017 50
- 0.00017-0.00020 50
- 0.00020-0.00025 50

Šířka x [m] Šířka y [m]

22/8/22 Přednáška Průhybnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 16

16

Deformace (přetvoření)

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

22/8/22 Přednáška Průhybnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 17

17

Deformace



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

22/8/22 Předmět Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 18

18

Deformace (přetvoření)




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

22/8/22 Předmět Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 19

19

Deformace (přetvoření)




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

22/8/22 Předmět Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 20

20

Deformace (přetvoření)



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

22/8/22 Předmět Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 21

21

Deformace (přetvoření)

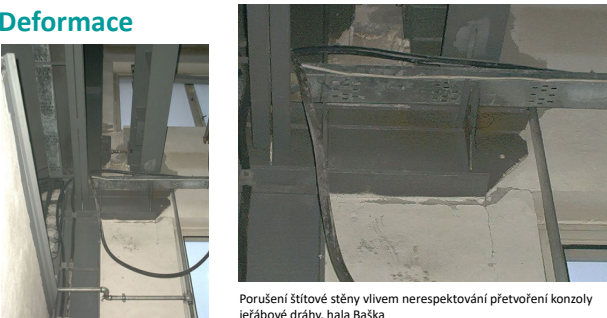


Porušení štítové stěny vlivem nerespektování přetvoření konzoly jeřábové dráhy, hala Baška

22/8/22 Předmět Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 22

22

Deformace




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

22/8/22 Předmět Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 23

23

Deformace (přetvoření)



Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava

22/8/22 Předmět Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 24

24

Deformace (přetvoření)



Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava

22/8/22 Předmět Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 25

25

Deformace (přetvoření)



Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava

22/8/22 Předmět Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 26

26

Deformace (přetvoření)



Konstrukce světliku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava

22/8/22 Předmít Průžnost a plasticita ve studijním programu Stavební inženýrství 27

27

Deformace (přetvoření)



Konstrukce světliku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava

22/8/22 Předmít Průžnost a plasticita ve studijním programu Stavební inženýrství 28

28

Deformace (přetvoření)



Konstrukce světliku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava

22/8/22 Předmít Průžnost a plasticita ve studijním programu Stavební inženýrství 29

29

Deformace (přetvoření)



Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava

22/8/22 Předmět Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 30

30

Deformace (přetvoření)



Konstrukce světlíku, nadměrné deformace způsobené nesprávným montážním postupem, Ostrava

22/8/22 Předmět Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 31

31

Stabilita

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



22/8/22 Předmět Pružnost a plastická ve studijním programu Stavební inženýrství 32

32

Stabilita



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

22/8/22 Předmět Pružnost a plasticita ve studijním programu Stavební inženýrství 33

33

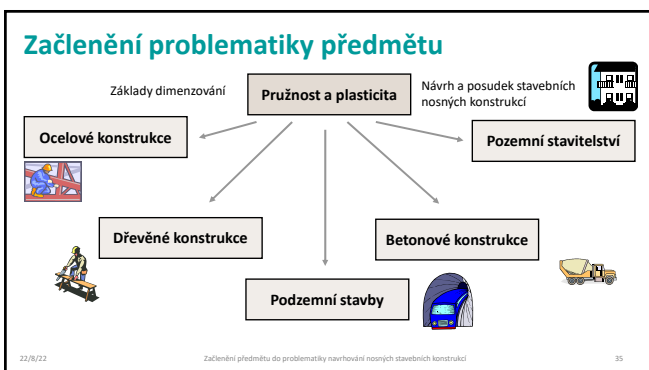
Stabilita



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

22/8/22 Předmět Pružnost a plasticita ve studijním programu Stavební inženýrství 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) **látk**a 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 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)

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

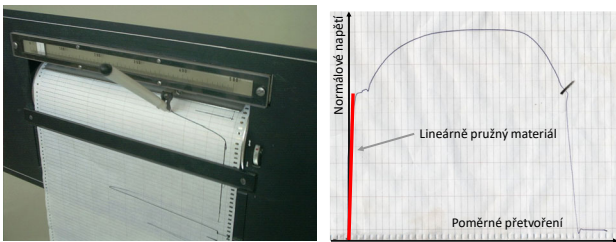


Základní pojmy a výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti 39

39

Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

Tahová zkouška oceli, experimentální určení pracovního diagramu

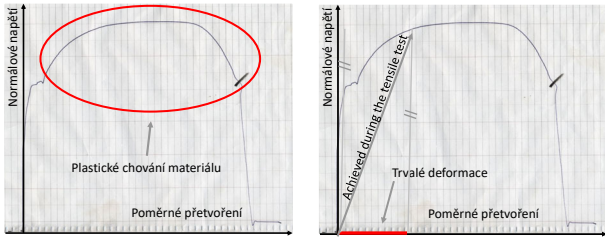


Základní pojmy a výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti 40

40

Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

Nelineární pružnost, fyzikální nelinearita



Základní pojmy a výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti 41

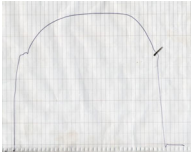
41

Výchozí předpoklady klasické teorie lineární pružnosti

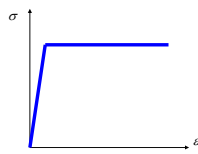
Plasticita: Schopnost látky deformovat se bez porušení nevratným, tvárným způsobem. Zatížení a odlehčení se neřídí shodnými zákonitostmi – po odstranění zatížení zůstávají **trvalé deformace**.

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

Pracovní diagram oceli



Ideálně pružno-plastický materiál



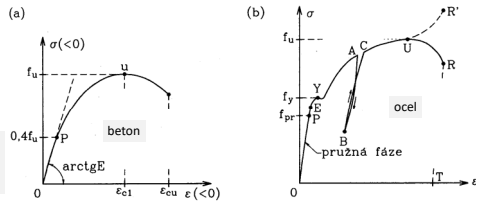
22/8/22 42

42

Základní pojmy teorie pružnosti a plasticity

Pracovní diagramy stavebních materiálů

f_e, f_{pe} ... 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

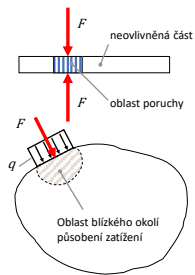


Issac Newton (1642 - 1727)

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.

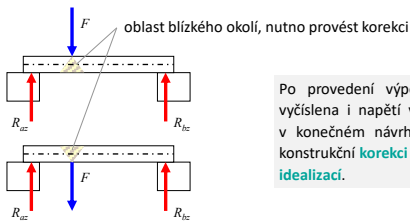
Používá se:

- 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).

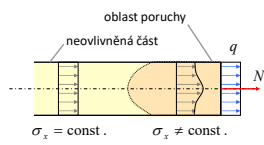


Po provedení výpočtu, zejména jsou-li vyčíslena i napětí v průřezech, je nutno v konečném návrhu konstrukce provést konstrukční **korekci v oblastí provedených idealizací**.

50

Saint - Venantův princip lokálního účinku

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



22/8/22

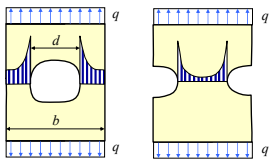
Saint - Venantův princip lokálního účinku

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).



22/8/22

Saint - Venantův princip lokálního účinku

52

52
