

VŠB TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA | FAKULTA STAVEBNÍ | KATEDRA STAVEBNÍ MECHANIKY

## Téma 8: Ohyb

- Základní vztahy a předpoklady řešení
- Výpočet normálového napětí v prutech namáhaných ohybem
- Dimenzování nosného prvku namáhaného ohybem podle mezního stavu únosnosti
- Řešení ohýbaného nosníku v pružno-plastickém oboru

3/11/22 Průžnost a plasticita 0

0

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb

Při ohybu prutů vznikají v jejich průřezech **ohybové momenty**  $M$  a zpravidla i **posouvající síly**  $V$ .

**Rovinný ohyb:** vnitřní i vnější síly leží v **hlavních rovinách** (v rovině vodorovné  $xy$  a/nebo v rovině svislé  $xz$ ).

Ve **svislé** rovině  $xz$ :  $N = V_y = M_x = M_z = 0$      $V_z, M_y \neq 0$

Ve **vodorovné** rovině  $xy$ :  $N = V_z = M_x = M_y = 0$      $V_y, M_z \neq 0$

3/11/22 Základní vztahy a předpoklady řešení 1

1

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb

**Ohybové momenty:**  
znaménková konvence

3/11/22 Základní vztahy a předpoklady řešení 2

2

---

---

---

---

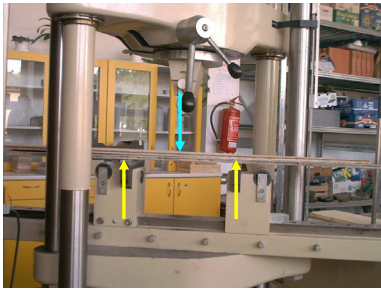
---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb



Princip ohybové zkoušky (tříbodový ohyb)

3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

3

3

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška

3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

4

4

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška

3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

5

5

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška

3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

6

6

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška

3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

7

7

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška

3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

8

8

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška

3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

9

9

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška

3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

10

10

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška

3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

11

11

---

---

---

---

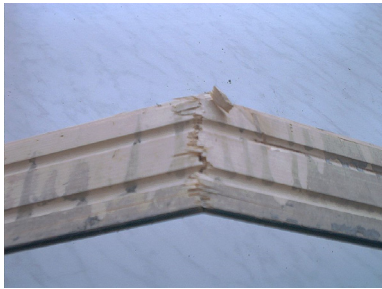
---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb



Zkušební vzorek po ohybové zkoušce

3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

12

12

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb



Zlomená keramická stropnice Hurdis po zatěžovací zkoušce ohybem foto: doc. Ing. Václav Cepek, CSc.

3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

13

13

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb



Ověření odolnosti vláknobetonů a drátkobetonů za ohybu při působení vysokých teplot foto: Zuzana Ševčíková, studentka oboru Stavební hmoty a diagnostika staveb

3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

14

14

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb

Ověření odolnosti vláknobetonů a drátkobetonů za ohybu při působení vysokých teplot  
foto: Zuzana Ševčíková, studentka oboru Stavební hmoty a diagnostika staveb



3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

15

15

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb

Ohybová zkouška drátkobetonových trámů, ČVUT, Praha



3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

16

16

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb

Ohybová zkouška železobetonových trámů, ČVUT, Praha



3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

17

17

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška  
železobetonových trámů,  
ČVUT, Praha

3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

18

18

---

---

---

---

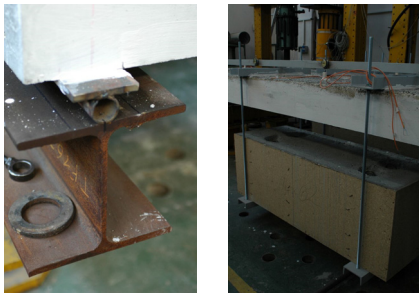
---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška  
železobetonových trámů,  
ČVUT, Praha

3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

19

19

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška  
železobetonových trámů,  
ČVUT, Praha

3/11/22

Základní vztahy a předpoklady řešení

20

20

---

---

---

---

---

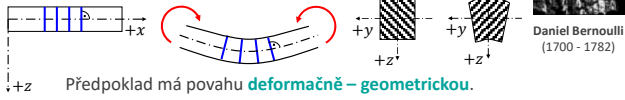
---

---

---

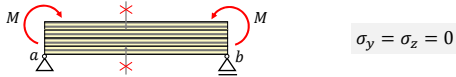
### Základní předpoklady řešení

a) Průřezy rovinné a kolmé k ose prutu před deformací zůstávají **rovninnými** a **kolnými k deformované ose** (Bernoulliiova hypotéza).



Předpoklad má povahu **deformačně – geometrickou**.

b) Podélná vlákna na sebe **vzájemně netlačí**.



$$\sigma_y = \sigma_z = 0$$

21

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Poměrné přetvoření za ohybu

$r$  ... poloměr křivosti

$o = r \cdot 2\pi \rightarrow dx = \overline{AB} = r \cdot d\varphi$

$dx' = \overline{CE} = (r + z) \cdot d\varphi$

$\Delta dx = \overline{DE} = dx' - dx = z \cdot d\varphi$

$\epsilon_x = \frac{\Delta dx}{dx} = \frac{z \cdot d\varphi}{r \cdot d\varphi} = \frac{z}{r}$

Podle **Hookova zákona**:

$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} \rightarrow \sigma_x = \epsilon_x \cdot E = \frac{z}{r} \cdot E$

22

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Vztahy mezi vnitřními silami a napětími v průřezu prutu

$dN = \sigma_x \cdot dA \rightarrow N = \int_A \sigma_x dA$

Obdobně:

$V_y = \int_A \tau_{xy} dA \quad V_z = \int_A \tau_{xz} dA$

$M_y = N \cdot z = \int_A (\sigma_x \cdot z) dA$

$M_z = -N \cdot y = - \int_A (\sigma_x \cdot y) dA$

$M_x = V_z \cdot y - V_y \cdot z = \int_A (\tau_{xz} \cdot y - \tau_{xy} \cdot z) dA$

23

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### Závěry vyplývající z odvození

Vztahy, které obsahují  $\sigma_x$ :

$$\sigma_x = \varepsilon_x \cdot E = \frac{z}{r} \cdot E$$

$$1. \quad N = \int_A \sigma_x \, dA \quad S_y = \int_A z \, dA \quad N = \frac{E}{r} \cdot \int_A z \, dA = \frac{E}{r} \cdot S_y = 0$$

Statický moment plochy průřezu  $A$  k ose  $y$  je nulový, neboť osa průřezu prochází těžištěm průřezu. Potvrzení předpokladu, že těžištěm prochází **neutrálná osa**, na které je  $\sigma_x = 0$ .

$$3. \quad M_z = - \int_A (\sigma_x \cdot y) \, dA \quad D_{yz} = \int_A y \cdot z \, dA \quad M_z = - \frac{E}{r} \cdot \int_A y \cdot z \, dA = - \frac{E}{r} \cdot D_{yz} = 0$$

$D_{yz}$  ... **deviační moment** k hlavním osám setrvačnosti.

24

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Normálové napětí v prutech namáhaných ohybem

Vztahy, které obsahují  $\sigma_x$ :

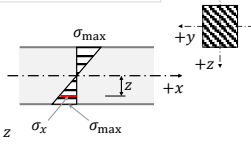
$$2. \quad M_y = \int_A (\sigma_x \cdot z) \, dA \quad I_y = \int_A z^2 \, dA \quad M_y = \frac{E}{r} \cdot \int_A z^2 \, dA = \frac{E}{r} \cdot I_y$$

z toho plyne  $M_y = \frac{E}{r} \cdot I_y \rightarrow \frac{1}{r} = \frac{M_y}{E \cdot I_y}$

Podle **Hookova zákona**:

$$\sigma_x = \varepsilon_x \cdot E = \frac{z}{r} \cdot E$$

$$\sigma_x = \frac{M_y}{I_y} \cdot z \quad \sigma_x = \frac{1}{r} \cdot E \cdot z = \frac{M_y}{E \cdot I_y} \cdot E \cdot z$$



**Normálové napětí**  $\sigma_x$  probíhá **lineárně** po výšce nosníku a extrémní hodnoty vznikají v **krajních vláknech**.

25

---

---

---

---

---

---

---

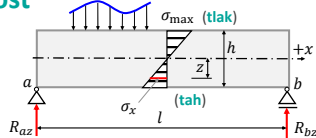
---

---

---

### Závěry a omezená platnost

$$\sigma_x = \frac{M_y}{I_y} \cdot z$$



• Vztah platí pro případ **prostého ohybu**, stálého průřezu a  $h \ll l$ .

• Tvar průřezu se deformuje v souladu se vztahem  $\varepsilon_y = \varepsilon_z = -v \cdot \varepsilon_x$ . Příčné deformace mají u nosníků zanedbatelný význam.

• Pokud je  $V_z \neq 0$ , vzorec je pouze přibližný, neboť  $V_z$  způsobuje smykové napětí, zkosení, a tím i ztrátu rovinnosti průřezu. Je-li však  $h < \frac{l}{5}$ , lze vztah použít s dostatečnou přesností.

26

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Závěry a omezená platnost

$$\sigma_x = \frac{M_y \cdot z}{I_y}$$

Hlavní napětí  $\sigma_1$

Vztah neplatí u stěn, kde  $h > \frac{l}{3}$ .

3/11/22 Vypočet normálového napětí v prutech namáhaných ohybem 27

27

---

---

---

---

---

---

---

---

### Závěry a omezená platnost

Vztah neplatí v místě náhlých průřezových změn.

3/11/22 Vypočet normálového napětí v prutech namáhaných ohybem 28

28

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázka konstrukce s prolamovanými nosníky

**Prolamované nosníky:**

- výroba z válcovaných profilů rozřezáním stojiny a následným svařením vzniklých dílů
- vyšší ohybová tuhost při nižší hmotnosti nosného prvku
- možnost průchodu instalačních rozvodů otvory nosníku

3/11/22 Vypočet normálového napětí v prutech namáhaných ohybem 29

29

---

---

---

---

---

---

---

---

### Extrémní normálová napětí za ohybu

$$\sigma_{x,horní} = -\frac{M_y}{I_y} \cdot e_{horní} = -\frac{M_y}{W_{y,e_{horní}}}$$


$$\sigma_{x,dolní} = \frac{M_y}{I_y} \cdot e_{dolní} = \frac{M_y}{W_{y,e_{dolní}}}$$

Průřezové moduly ke krajním vláknům [m<sup>3</sup>]

$$W_{y,e_{horní}} = \frac{I_y}{e_{horní}} \quad W_{y,e_{dolní}} = \frac{I_y}{e_{dolní}}$$


Neutrálná osa a  $\sigma_x = 0$  v těžišti průřezu.

Výpočet průřezových modulů u jednoduchých rovinných obrazců:



$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

$$W = \frac{I}{\left(\frac{d}{2}\right)} = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$$




$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h$$

$$W_y = \frac{I_y}{\left(\frac{h}{2}\right)} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2$$

$$W_z = \frac{I_z}{\left(\frac{b}{2}\right)} = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h$$



3/11/22 30

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

30

### Dimenzování ohýbaného prvku podle MSÚ

Návrh nosné konstrukce

↓

Posouzení

↓

Realizace

Zvýšit  $M_{Rd}$

$M_{Ed} = \max|M_d|$ ,  $W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_d}$   $f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$


Dimenzování

$M_{Ed} \leq M_{Rd} = W_y \cdot f_d$

$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$

**Předpoklady řešení:**

- Materiál se stejnou pevností v tahu a tlaku.
- Pružné chování materiálu.
- Zanedbání vliv smykových napětí.



3/11/22 31

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

31

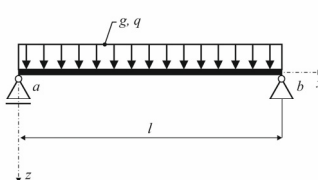
### Příklad 1 Dimenzování prvku namáhaného ohybem

**Vstupní údaje**

$g_k = 2,0 \text{ kN/m}$     $\gamma_G = 1,35$   
 $q_k = 6,0 \text{ kN/m}$     $\gamma_Q = 1,5$

Ocel S235  
 $f_{yk} = 235 \text{ MPa}$     $\gamma_M = 1,0$   
 $E = 210 \text{ GPa}$     $l = 6 \text{ m}$

Nadimenzujte ohýbaný nosný prvek z profilu **IPN**



3/11/22 32

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

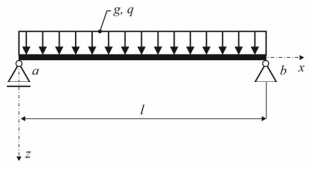
32

**Příklad 1**      **Dimenzování prvku namáhaného ohybem**

**Kombinace zatížení** v návrhové hodnotě:

$$p_d = g_k \cdot \gamma_G + q_k \cdot \gamma_Q = 2 \cdot 1,35 + 6 \cdot 1,5 = 11,7 \text{ kN/m}$$

**Ohybový moment:**

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot p_d \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 11,7 \cdot 6^2 = 52,65 \text{ kNm}$$


3/11/22      Dimenzování nosného prvku namáhaného ohybem podle mezního stavu únosnosti      33

33

---

---

---

---

---

---

---

---

**Příklad 1**      **Dimenzování prvku namáhaného ohybem**

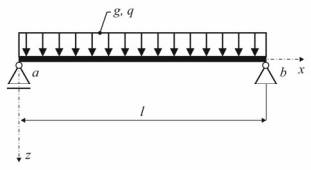
Návrh podle **mezního stavu únosnosti**:

$$W_{\min} = \frac{M_{Ed}}{\left(\frac{f_{yk}}{\gamma_M}\right)} = \frac{52,65 \cdot 10^3}{\left(\frac{235 \cdot 10^6}{1,0}\right)} = 2,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$W_y(\text{IPN220}) = 2,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Navržen profil podle **mezního stavu únosnosti: IPN220**

Návrh podle **mezního stavu použitelnosti** a posouzení spolehlivosti: **Téma 10**



3/11/22      Dimenzování nosného prvku namáhaného ohybem podle mezního stavu únosnosti      34

34

---

---

---

---

---

---

---

---

**San Sebastian, Auditorium, Španělsko**



**Prostorový rám**

3/11/22      Ukládky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem      35

35

---

---

---

---

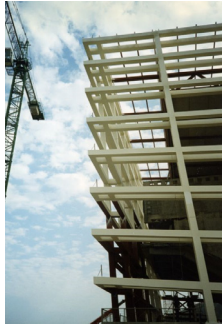
---

---

---

---

**San Sebastian, Auditorium,  
Španělsko**



**Prostorový  
rám**

3/11/22 Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem 36

36

---

---

---

---

---

---

---

---

**Pavilon C, Brněnské výstaviště**



**Prostorový rám  
se skořepinovou  
střešní konstrukcí**

3/11/22 Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem 37

37

---

---

---

---

---

---

---

---

**Pavilon C, Brněnské výstaviště**



**Prostorový rám  
se skořepinovou  
střešní konstrukcí**

3/11/22 Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem 38

38

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pavilon C, Brněnské výstaviště



Prostorový rám se skořepinovou střešní konstrukcí

3/11/22

Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem

39

39

---

---

---

---

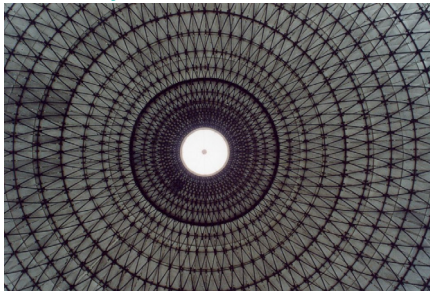
---

---

---

---

### Pavilon C, Brněnské výstaviště



Prostorový rám se skořepinovou střešní konstrukcí

3/11/22

Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem

40

40

---

---

---

---

---

---

---

---

### Tramvajový most, Brno – Pisárky



Železobetonový předpjatý tramvajový most, tzv. brněnský Karakas:  
• Specifický svým prostorovým zakřivením, stoupáním a nestejnou tloušťkou  
• Šířka 9 m

3/11/22

Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem

41

41

---

---

---

---

---

---

---

---

### Maloměřický most, Brno – Husovice



**Trojkloubový oblouk**

z roku 1928:

- 3 masivní železobetonové mostní oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m<sup>2</sup>
  - Mezilehlá mostovka
- Ocelové momentové klouby

3/11/22

Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem

42

42

---

---

---

---

---

---

---

---

### Maloměřice bridge, Brno - Husovice



**Trojkloubový oblouk**

z roku 1928:

- 3 masivní železobetonové mostní oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m<sup>2</sup>
  - Mezilehlá mostovka
- Ocelové momentové klouby

3/11/22

Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem

43

43

---

---

---

---

---

---

---

---

### Maloměřice bridge, Brno - Husovice



**Trojkloubový oblouk**

z roku 1928:

- 3 masivní železobetonové mostní oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m<sup>2</sup>
  - Mezilehlá mostovka
- Ocelové momentové klouby

3/11/22

Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem

44

44

---

---

---

---

---

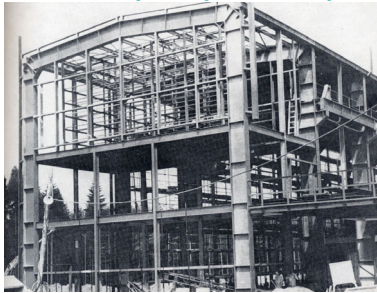
---

---

---



### Rámová ocelová konstrukce průmyslové haly



Rovinný ocelový rám (lomený nosník) s rozpětím 20,5 m

3/11/22

Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem

45

45

---

---

---

---

---

---

---

---

### Rámová ocelová konstrukce průmyslové haly



3/11/22

Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem

46

46

---

---

---

---

---

---

---

---

### Hala pro výrobu komponent jaderných elektráren, Vítkovice



- Systém ocelových rovinných rámu:
- Půdorys 130 x 320 m
  - Jeřáby o nosnosti 80 t a 200 t
  - Poddolované území

3/11/22

Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem

47

47

---

---

---

---

---

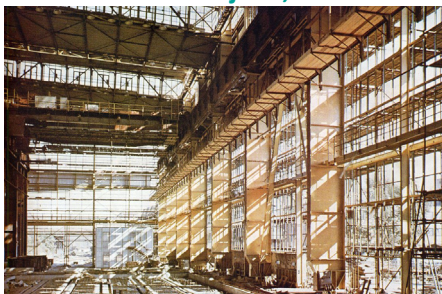
---

---

---



## Rámová ocelová konstrukce dvojhalí, Vítkovice



Systém ocelových **rovinných rámu**:

- Rozpětí 30 a 24 m
- Jeřáby o nosnosti 80 t a 50 t
- Poddolované území

3/11/22

Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem

48

48

---

---

---

---

---

---

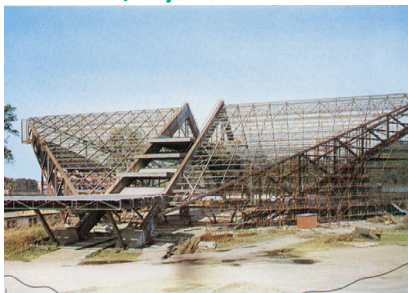
---

---

---

---

## Víceúčelová sportovní hala, Frýdek - Místek



Systém ocelových **rovinných rámu**:

- Výstavba 1971 až 1985
- Demolice 2013
- Čtvercový půdorys o straně 82,26 m, výška 31,06 m
- Hlavní nosný prvek střechy: 2 rámy tvaru A s rozpětím 118,12 m a vzdáleností 10,2 m
- Průřez truhlíkový 3,65 m x 0,8 m

3/11/22

Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem

49

49

---

---

---

---

---

---

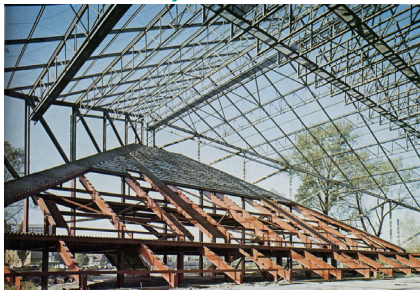
---

---

---

---

## Víceúčelová sportovní hala, Frýdek - Místek



Systém ocelových **rovinných rámu**:

- Výstavba 1971 až 1985
- Demolice 2013
- Čtvercový půdorys o straně 82,26 m, výška 31,06 m
- Hlavní nosný prvek střechy: 2 rámy tvaru A s rozpětím 118,12 m a vzdáleností 10,2 m
- Průřez truhlíkový 3,65 m x 0,8 m

3/11/22

Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem

50

50

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Tribuna fotbalového stadiónu na Bazalech, Ostrava



Systém ocelových **rovinných rámu**:  
• Poddolované území

3/11/22

Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem

51

51

---

---

---

---

---

---

---

---

### Tribuna fotbalového stadiónu na Bazalech, Ostrava

Detail momentového kloubu



Systém ocelových **rovinných rámu**:  
• Poddolované území

3/11/22

Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem

52

52

---

---

---

---

---

---

---

---

### Most přes řeku Ostravici, Černá louka, Ostrava



**Gerberův nosník**:  
• 3 pole  
• 2 vnitřní momentové klouby

3/11/22

Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem

53

53

---

---

---

---

---

---

---

---

### Most přes řeku Ostravici, Černá louka, Ostrava



Gerberův nosník:

- 3 pole
- 2 vnitřní momentové klouby

3/11/22

Ukázký stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhaných ohybem

54

54

---

---

---

---

---

---

---

---

### Most přes řeku Ostravici, Ostrava - Kunčice



Langerův nosník (trám vyztužený obloukem):

- Rozpětí 100 m

3/11/22

Ukázký stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhaných ohybem

55

55

---

---

---

---

---

---

---

---

### Budova C, areál VŠB – Technická univerzita Ostrava



3/11/22

Ukázký stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhaných ohybem

56

56

---

---

---

---

---

---

---

---

Budova C, areál VŠB – Technická univerzita Ostrava



3/11/22 Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem 57

57

---

---

---

---

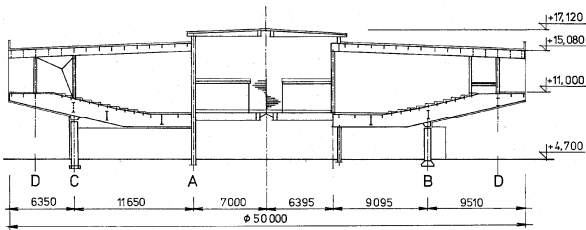
---

---

---

---

Budova C, areál VŠB – Technická univerzita Ostrava



• Průměr budovy 50 m nosníků  
• 15 radiálně umístěných plostěnných svařovaných • Ve středu vetknuty do prstence uzavřeného průřezu  
3/11/22 Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem 58

58

---

---

---

---

---

---

---

---

Centrum energetických a environmentálních technologií, VŠB-TUO



**Stropní konstrukce:**  
• Ocelové válcované profily I  
• Trapézový plech  
• Betonová podlaha

3/11/22 Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem 59

59

---

---

---

---

---

---

---

---

Centrum energetických a environmentálních technologií, VŠB-TUO



**Stropní konstrukce:**

- Ocelové válcované profily I
- Trapézový plech
- Betonová podlaha

3/11/22 Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem 60

60

---

---

---

---

---

---

---

---

Centrum energetických a environmentálních technologií, VŠB-TUO



**Konzola ochozu:**

- Ocelový svařovaný a válcovaný profil I
- Trapézový plech
- Betonová podlaha

3/11/22 Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem 61

61

---

---

---

---

---

---

---

---

Centrum energetických a environmentálních technologií, VŠB-TUO



**Konzola ochozu:**

- Ocelový svařovaný a válcovaný profil I
- Trapézový plech
- Betonová podlaha

3/11/22 Ukázky stavebních konstrukcí s nosnými prvky namáhanými ohybem 62

62

---

---

---

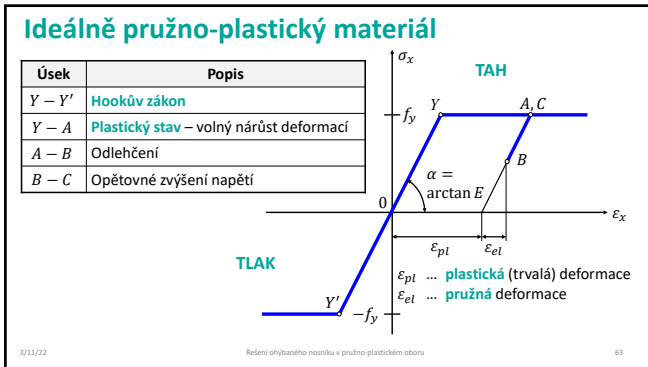
---

---

---

---

---



63

---

---

---

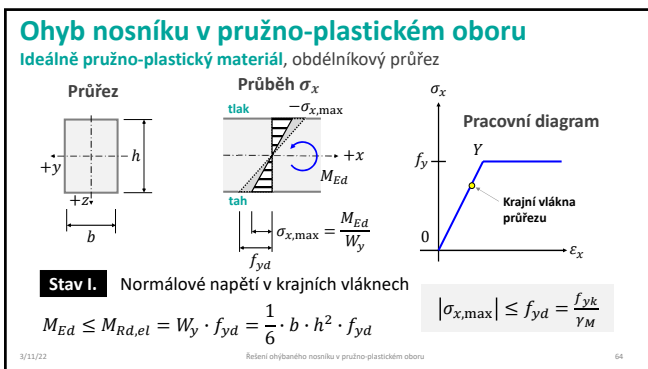
---

---

---

---

---



64

---

---

---

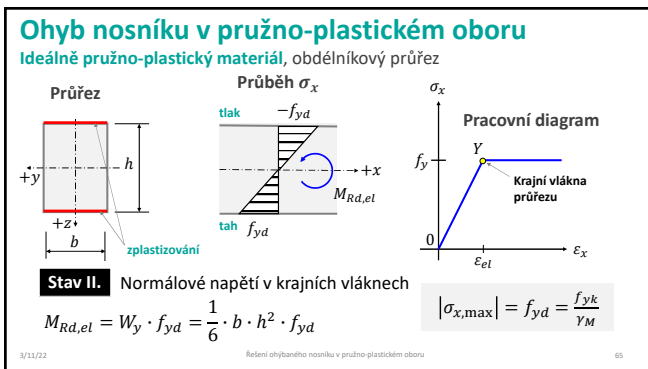
---

---

---

---

---



65

---

---

---

---

---

---

---

---









### Příklad 2.2

Ideálně pružno-plastický materiál, obdélníkový průřez

Zadáni: Určete maximální zatížitelnost nosníku  $q_d$  [kN/m] za předpokladu: **b) dojde zplastizování krajních čtvrtin průřezu**

Vstupní údaje:  $l = 6$  m  $f_{yk} = 235$  MPa

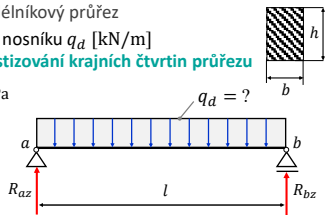
$b = 20$  mm  $h = 80$  mm  $\gamma_M = 1,15$

Řešení:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = 204,35$  MPa

$$M_{Ed,el,pl} = M_{y,max} = \frac{1}{8} \cdot q_{d,el,pl} \cdot l^2$$

$$W_{y,el,pl} = \frac{11}{48} \cdot b \cdot h^2 = 2,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{x,max} = f_{y,d} = \frac{M_{Ed,el,pl}}{W_{y,el,pl}} \rightarrow f_{y,d} = \frac{q_{d,el,pl} \cdot l^2}{8 \cdot W_{y,el,pl}} \rightarrow q_{d,el,pl} = \frac{8 \cdot f_{y,d} \cdot W_{y,el,pl}}{l^2} = 1,33 \text{ kN/m}$$



3/11/22 72

72

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Příklad 2.3

Ideálně pružno-plastický materiál, obdélníkový průřez

Zadáni: Určete maximální zatížitelnost nosníku  $q_d$  [kN/m] za předpokladu: **c) dojde k úplnému zplastizování průřezu**

Vstupní údaje:  $l = 6$  m  $f_{yk} = 235$  MPa

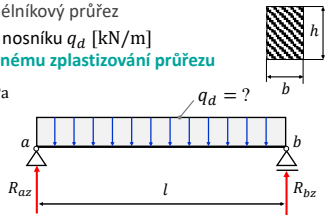
$b = 20$  mm  $h = 80$  mm  $\gamma_M = 1,15$

Řešení:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = 204,35$  MPa

$$M_{Ed,pl} = M_{y,max} = \frac{1}{8} \cdot q_{d,pl} \cdot l^2$$

$$W_{y,pl} = \frac{1}{4} \cdot b \cdot h^2 = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{x,max} = f_{y,d} = \frac{M_{Ed,pl}}{W_{y,pl}} \rightarrow f_{y,d} = \frac{q_{d,pl} \cdot l^2}{8 \cdot W_{y,pl}} \rightarrow q_{d,pl} = \frac{8 \cdot f_{y,d} \cdot W_{y,pl}}{l^2} = 1,45 \text{ kN/m}$$



3/11/22 73

73

---

---

---

---

---

---

---

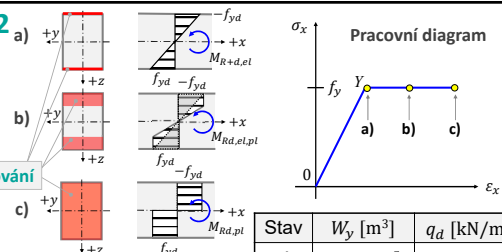
---

---

---

### Příklad 2

Shrnutí:



Plastická rezerva obdélníkového průřezu

$$\frac{q_{d,pl}}{q_{d,el}} = \frac{1,45}{0,97} = 1,5 \rightarrow 50\%$$

Stav	$W_y$ [m <sup>3</sup> ]	$q_d$ [kN/m]
a)	$2,13 \cdot 10^{-5}$	<b>0,97</b>
b)	$2,93 \cdot 10^{-5}$	<b>1,33</b>
c)	$3,20 \cdot 10^{-5}$	<b>1,45</b>

3/11/22 74

74

---

---

---

---

---

---

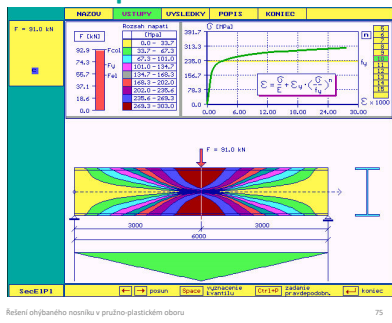
---

---

---

---

### Ukázka studie plastizování prostého nosníku



**Ukázka úplného zplastizování průřezu**



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

3/11/22 Řešení ohybaného nosníku v pružno-plastickém oboru 78

78

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ukázka úplného zplastizování průřezu**



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

3/11/22 Řešení ohybaného nosníku v pružno-plastickém oboru 79

79

---

---

---

---

---

---

---

---