

## Téma 4 Výpočet přímého nosníku

- Výpočet nosníku v osové úloze
- Výpočet nosníku v příčné úloze ve svislé a vodorovné hlavní rovině
- Výpočet nosníku v krutové úloze
- Výpočet nosníku v rovinné úloze
- Výpočet nosníku v prostorové úloze



Katedra stavební mechaniky  
Fakulta stavební, VŠB - Technická univerzita Ostrava

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Výpočet nosníku v prostorové úloze

Statically určitý nosník v prostoru musí být podepřen  $n_v=6$  jednoduchými vnějšími vazbami, které musí být správně uspořádány, aby nevznikl výjimečný případ podepření.

Přímý nosník musí být podepřen a může být zatížen obecně v prostoru – tzv. prostorová úloha. Prostorové zatížení lze rozložit:

- a) silové složky působící v ose nosníku
- b) silové složky kolmé k ose nosníku a momenty v 1.hlavní rovině prutu
- c) silové složky kolmé k ose nosníku a momenty ve 2.hlavní rovině prutu
- d) momenty v rovinách kolmých k ose prutu



Statically určité nosníky v prostorové úloze  
Obr. 7.51. / str. 123

Výpočet nosníku v prostorové úloze

2 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

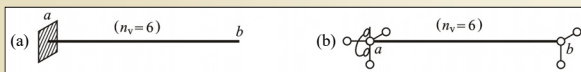
### Výpočet nosníku v prostorové úloze

Výpočet prostorově zatíženého a prostorově podepřeného nosníku lze zjednodušit rozložením na 4 jednodušší úlohy:

- a) osová úloha (namáhání **tahem** nebo **tlakem**)
- b) příčná úloha v 1.hlavní rovině (**příčný ohyb v 1.hlavní rovině**)
- c) příčná úloha ve 2.hlavní rovině (**příčný ohyb ve 2.hlavní rovině**)
- d) krutová úloha (namáhání **kroucením**)

Postup výpočtu má dvě hlavní etapy:

- a) **výpočet složek reakcí ve vnějších vazbách**
- b) **výpočet vnitřních sil nosníku**



Statically určité nosníky v prostorové úloze  
Obr. 7.51. / str. 123

Výpočet nosníku v prostorové úloze

3 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

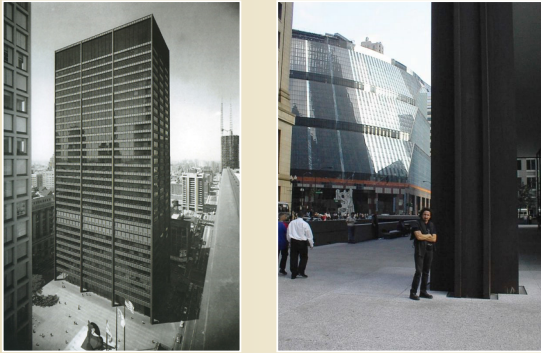
---







### Nosník v osové úloze - sloup



Odstupňovaný průřez sloupu Richard Daley Center v Chicagu z roku 1965

Výpočet nosníku v osové úloze

13 / 110

---

---

---

---

---

---

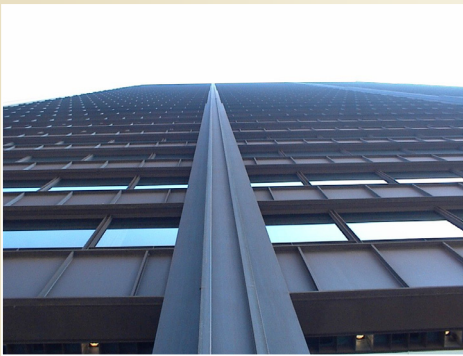
---

---

---

---

### Nosník v osové úloze - sloup



Odstupňovaný průřez sloupu Richard Daley Center v Chicagu z roku 1965

Výpočet nosníku v osové úloze

14 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

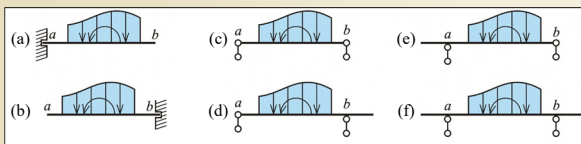
---

---

### Výpočet nosníku v příčné úloze

Zatížení libovolným příčným zatížením s trojím způsobem podepření ( $n_v=2$ ):

- a) konzola posuvně vetknutá vlevo nebo vpravo
- b) prostý nosník podepřený na obou koncích vazbami proti svislému posunu
- c) prostý nosník s převislými konci



Druhy přímých nosníků v příčné úloze  
Obr. 7.9. / str. 95

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

15 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

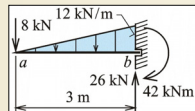
---





### Příklad 4.7

Zadání: určit složky reakcí pro uvedený zatěžovací stav



Zadání a řešení příkladu 4.7  
Obr. 7.14. / str. 98

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

22 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky konzolových nosníků



Chodníková konzola mostní konstrukce

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

23 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky konzolových nosníků



Chodníková konzola mostní konstrukce

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

24 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### Ukázky konzolových nosníků



Betonový skelet a ocelová kopule pavilonu C, Brněnské výstaviště

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

25 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky konzolových nosníků



Konstrukce schodiště pavilonu C, Brněnské výstaviště

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

26 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky konzolových nosníků



Konstrukce schodiště pavilonu C, Brněnské výstaviště

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

27 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky konzolových nosníků



Konzolový nosník konstrukce schodiště pavilonu C, Brněnské výstaviště

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

28 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky konzolových nosníků



Konzolový nosník podepření technologického mostu dolu ČSA v Karviné

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

29 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky konzolových nosníků



Nosná konstrukce plošiny, Výzkumné energetické centrum VŠB-TU Ostrava

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

30 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

## Ukázky konzolových nosníků



Nosná konstrukce plošiny, Výzkumné energetické centrum VŠB-TU Ostrava

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

31 / 110

---

---

---

---

---

---

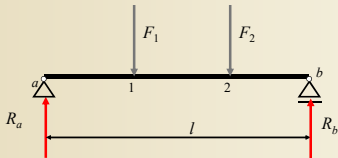
---

---

---

---

## Reakce prostého nosníku bez převislých konců



Výpočet reakcí pomocí podmínek rovnováhy:

1.  $\sum M_{aa} = 0 \Rightarrow R_b$
2.  $\sum M_{bb} = 0 \Rightarrow R_a$
3.  $R_z = 0$  kontrola

Kladné znaménko vypočtené složky reakce potvrzuje její předpokládaný smysl, záporné znaménko udává, že skutečný smysl složky reakce je opačný, než byl předpokládán.

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

32 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

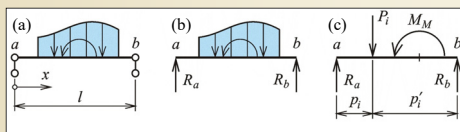
## Reakce prostého nosníku bez převislých konců

Výpočet reakcí pomocí podmínek rovnováhy:

1.  $\sum M_{bb} = 0 \Rightarrow R_a l - \sum P_i p_i' - M_M = 0 \Rightarrow R_a = \frac{1}{l} (\sum P_i p_i' + M_M)$
2.  $\sum M_{aa} = 0 \Rightarrow R_b l - \sum P_i p_i + M_M = 0 \Rightarrow R_b = \frac{1}{l} (\sum P_i p_i - M_M)$

Kontrola:

3.  $R_z = 0 \Rightarrow R_a + R_b = \sum P_i$



Reakce prostého nosníku a schéma upraveného zatížení  
Obr. 7.15. / str. 98

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

33 / 110

---

---

---

---

---

---

---

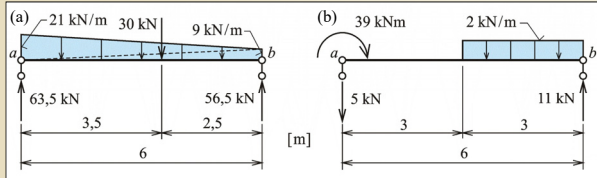
---

---

---

### Příklad 4.8

Zadání: určit složky reakcí pro dva zatěžovací stavy téhož nosníku



Zadání a řešení příkladu 4.8  
Obr. 7.16. / str. 99

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

34 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky prostých nosníků



Prosté nosníky železobetonového skeletu, Albert, Ostrava-Poruba

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

35 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky prostých nosníků



Prosté nosníky železobetonového skeletu, Interspar, Ostrava-Poruba

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

36 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---







### Diferenciální podmínka rovnováhy elementu v osové úloze

$R_x = 0: -N + (N+dN) + n \cdot dx = 0$   
 $\rightarrow \frac{dN}{dx} = -n$

Rovnováha elementu v osové úloze  
Obr. 7.8. / str. 94

Výpočet nosniku v osové úloze 43 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Diferenciální podmínky rovnováhy elementu v příčné úloze

$\int_1^2 dQ = q \cdot dx$      $R_z = 0: -V + (V+dV) + q \cdot dx = 0 \rightarrow \frac{dV}{dx} = -q$   
 $\Sigma M_{i,x2} = 0: -M + (M+dM) - V \cdot dx + q \cdot dx \cdot dx/2 + m \cdot dx = 0$   
 $\rightarrow \frac{dM}{dx} = V - m$      $\frac{dM}{dx} = V$  pro  $m = 0$

**Schwedlerovy vztahy**  
**Johann Wilhelm Schwedler**  
 (1823-1894)  
 významný německý inženýr,  
 např. Schwedlerova kupole

Rovnováha elementu v příčné úloze  
Obr. 7.22. / str. 102

Výpočet nosniku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině xz) 44 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Diferenciální podmínky rovnováhy elementu v příčné úloze

**Závěry:**

Extrém funkce  $f(x): \frac{df(x)}{dx} = 0$   
 $\frac{dV}{dx} = -q = 0 \rightarrow$  Extrém  $V$  v průřezu, kde  $q = 0$   
 $V(x) = -\int q(x)dx + C_1$   
 $\frac{dM}{dx} = V - m = 0 \rightarrow$  Extrém  $M$  v průřezu, kde  $V = 0, V = m, V$  mění znaménko  
 $M(x) = \int V(x)dx + C_2, m(x) = 0$

$C_1, C_2$  z okrajových podmínek

$\triangle \quad \triangle \quad M=0$        $\circ \quad M=0, V=0$

Výpočet nosniku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině xz) 45 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Diferenciální podmínky rovnováhy elementu v příčné úloze**

**Závěry:**

**Derivačně – integrační schéma**

Výpočet nosniku v příčné úloze (ve vstříčné hlavní rovině  $xz$ ) 46 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Diferenciální podmínky rovnováhy elementu v příčné úloze**

**Polynom stupně**

**Výpočet nosniku v příčné úloze (ve vstříčné hlavní rovině  $xz$ ) 47 / 110**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Souvislost mezi spojitým příčným zatížením a průběhy vnitřních sil**

**Závěry:**  $\frac{dV}{dx} = -q$     $\frac{dM}{dx} = V - m$     $\frac{d^2M}{dx^2} = \frac{dV}{dx} - \frac{dm}{dx} = -q - \frac{dm}{dx}$

pro  $m=0$ :  $\frac{dM}{dx} = V$     $\frac{d^2M}{dx^2} = -q$

**Souvislost mezi spojitým příčným zatížením a průběhy vnitřních sil**  
Obr. 7.23. / str. 103

Výpočet nosniku v příčné úloze (ve vstříčné hlavní rovině  $xz$ ) 48 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---





### Nejjednodušší zatěžovací stavy konzoly

$x \in (0, l)$

$V$

$M$

**Výpočet reakcí**

$$R_{bz} = F(\uparrow)$$

$$M_{by} = Fl(\curvearrowright)$$

**Posouvající síla**

$$V'_{(x)} = \text{konst.} = -F$$

$$V_{(a)} = V_{(x=0)} = -F$$

$$V_{(b)} = V_{(x=l)} = -F$$

**Ohybový moment**

$$M'_{(x)} = -F \cdot x$$

$$M_{(a)} = M_{(x=0)} = 0$$

$$M_{(b)} = M_{(x=l)} = -Fl$$

Výpočet nosniku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ ) 52 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Příklad 4.11

**Zadání:** určit silovou i momentovou složku reakce konzoly, sestavit průběhy posouvajících sil a ohybových momentů a určit extrémní hodnoty vnitřních sil.

$V$  [kN]

$M$  [kNm]

**Zadání a řešení příkladu 4.11**  
Obr. 7.25. / str. 104

Výpočet nosniku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ ) 53 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Nejjednodušší zatěžovací stavy konzoly

$x \in (0, l)$

$V$

$M$

**Výpočet reakcí**

$$R_{bz} = 0$$

$$M_{by} = M(\curvearrowright)$$

**Posouvající síla**

$$V'_{(x)} = 0$$

$$V_{(a)} = V_{(x=0)} = 0$$

$$V_{(b)} = V_{(x=l)} = 0$$

**Ohybový moment**

$$M'_{(x)} = 0$$

$$M_{(a)} = M_{(x=0)} = -M$$

$$M_{(b)} = M_{(x=l)} = -M$$

Výpočet nosniku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ ) 54 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---





### Nejjednodušší zatěžovací stavy prostých nosníků

**Výpočet reakcí**  
 $R_{az} = \frac{M}{l} (\downarrow)$     $R_{bz} = \frac{M}{l} (\uparrow)$

**Posouvající síla**  
 $V_{(x)}^L = \text{konst.} = -R_{az} = -\frac{M}{l}$   
 $V_{(a)} = V_{(x=0)} = -\frac{M}{l}$   
 $V_{(b)} = V_{(x=l)} = \frac{M}{l}$

**Ohybový moment**  
 $x \in (0, c)$     $M_{(x)}^L = -R_{az} \cdot x = -\frac{M \cdot x}{l}$   
 $x \in (c, l)$     $M_{(x)}^L = -R_{az} \cdot x + M = \frac{M}{l} \cdot (l - x)$   
 $M_{(x=c)} = -\frac{M \cdot c}{l}$     $M_{(x=l)} = \frac{M \cdot d}{l}$

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve vodorovné hlavní rovině xz) 61 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Nejjednodušší zatěžovací stavy prostých nosníků

**Výpočet reakcí**  
 $R_{az} = \frac{Q}{2} = \frac{q \cdot l}{2} (\uparrow)$     $R_{bz} = \frac{Q}{2} = \frac{q \cdot l}{2} (\uparrow)$

**Posouvající síla**  
 $V_{(x)}^L = R_{az} - q \cdot x = q \left( \frac{l}{2} - x \right)$   
 $V_{(a)} = V_{(x=0)} = \frac{q \cdot l}{2}$   
 $V_{(b)} = V_{(x=l)} = -\frac{q \cdot l}{2} = -R_{bz}$   
 $q \left( \frac{l}{2} - x \right) = 0 \rightarrow x_{\text{max}} = \frac{l}{2}$

**Ohybový moment**  
 $M_{(x)}^L = R_{az} \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2} = \frac{q}{2} (l \cdot x - x^2)$   
 $M_{(a)} = M_{(x=0)} = 0$     $M_{(b)} = M_{(x=l)} = 0$   
 $M_{(x=l/2)} = M_{(x_{\text{max}})} = \frac{q \cdot l^2}{8}$

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve vodorovné hlavní rovině xz) 62 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Momentové zatížení

**(a) Bodové momentové zatížení**  
 $V = \frac{M_c}{l} = \text{konst.}$   
 $M_{(x=0)} = M_c/2$     $M_{(x=l)} = M_c/2$

**(b) Rovnoměrné momentové zatížení**  
 $V = \frac{m}{2} = \text{konst.}$   
 $M_{(x=0)} = \frac{m \cdot l}{4}$     $M_{(x=l)} = \frac{m \cdot l}{4}$

Bodové a rovnoměrné momentové zatížení  
 Obr. 7.30. / str. 109  
 Výpočet nosníku v příčné úloze (ve vodorovné hlavní rovině xz) 63 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---









### Ukázka konstrukce s převislými konci



Nosná konstrukce střechy Fakultní dětské nemocnice v Černých Polích, Brno, projekt OKM  
Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ ) 73 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázka konstrukce s převislými konci



Nosná konstrukce střechy z lepeného lamelového dřeva, Štýrsko v Rakousku,  
foto: prof. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.  
Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ ) 74 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázka konstrukce s převislými konci



Nosná konstrukce střechy z lepeného lamelového dřeva, Štýrsko v Rakousku,  
foto: prof. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.  
Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ ) 75 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázka konstrukce s převislými konci



Převislé konce železobetonového skeletu, supermarket Albert, Ostrava-Poruba

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

76 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázka konstrukce s převislými konci



Převislé konce železobetonového skeletu, supermarket Albert, Ostrava-Poruba

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )

77 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

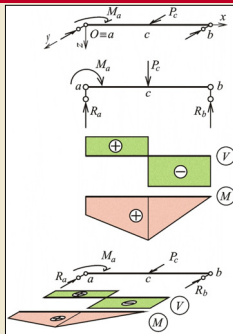
---

---

### Výpočet nosníku v příčné úloze (ve vodorovné hlavní rovině $xy$ )

**Řešení:**

Obraz nosníku i se zatížením se otočí o  $90^\circ$  kolem osy  $x$  tak, že kladný smysl osy  $y$  se ztotožní s kladným smyslem osy  $z$ . Lze pak řešit stejně jako nosník ve svislé rovině  $xz$ . Po vyřešení se vše pootočí zpět do vodorovné roviny  $xy$ .



Řešení nosníku v hlavní rovině  $xy$   
Obr. 7.38. / str. 114

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve vodorovné hlavní rovině  $xy$ )

78 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

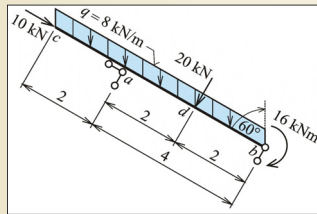
---





### Vodorovný prostý nosník se šikmým zatížením

V praktických aplikacích je nosník ve stavební konstrukci umístěn šikmo (viz obrázek). Pro usnadnění výpočtu lze i se zatížením a podepřením pootočit do vodorovného směru.



Nosník umístěný v konstrukci šikmo  
Obr. 7.45. / str. 119

Výpočet nosníku v rovině úlože

85 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

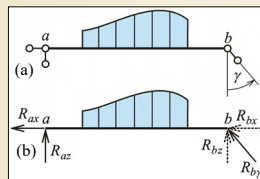
### Vodorovný prostý nosník se šikmým podepřením

Rozložení šikmé reakce na svislou a vodorovnou složku:

$$R_{bz} = R_{by} \cdot \cos \gamma \quad R_{bx} = R_{by} \cdot \sin \gamma$$

Postup řešení:

- $\sum M_a = 0 \Rightarrow R_{bz}$
- $\sum M_{bz} = 0 \Rightarrow R_{bx} \Rightarrow R_{by} = \frac{R_{bz}}{\cos \gamma}$
- $R_z = 0$  kontrola
- $R_{bx} = R_{by} \cdot \sin \gamma$
- $R_x = 0 \Rightarrow R_{ax}$
- Dále řešení příčné a osové úlohy



Nosník se šikmou vazbou  
Obr. 7.46. / str. 119

Výpočet nosníku v rovině úlože

86 / 110

---

---

---

---

---

---

---

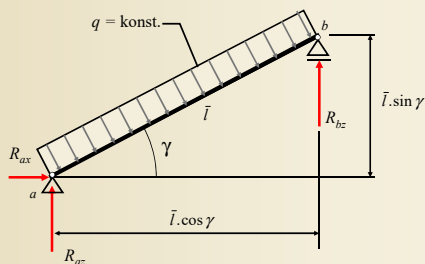
---

---

---

### Šikmý nosník - zatížení větrem

Spojité zatížení působící kolmo na nosník



Výpočet nosníku v rovině úlože

87 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

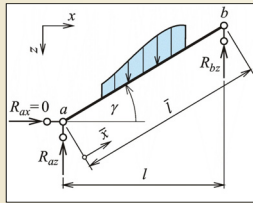


## Šikmý nosník

**Geometrie:** nosník leží v souřadnicové rovině  $xz$  skloněn oproti vodorovné ose  $x$  pod úhlem  $\gamma$ , šikmá délka  $\bar{l}$ , vodorovný průmět délky  $l = \bar{l} \cdot \cos \gamma$

**Podepření:** na obou koncích podepření třemi jednoduchými vazbami proti posunům rovnoběžnými s osami  $x$  a  $z$ .

**Zatížení:** předpoklad pouze svislého zatížení, vodorovná složka reakce tedy nulová a platí  $n_z=2$ .



Šikmý nosník se svislým zatížením  
Obr. 7.48. / str. 120

Výpočet nosníku v rovině úlože

91 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

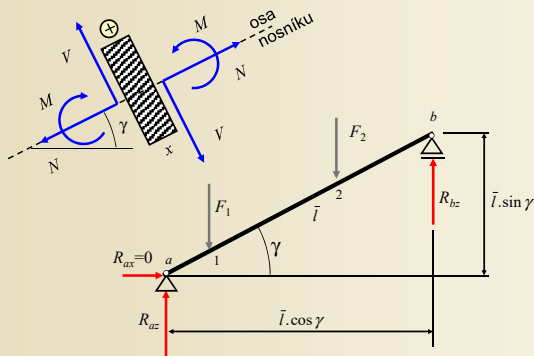
---

---

---

---

## Šikmý nosník



Výpočet nosníku v rovině úlože

92 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

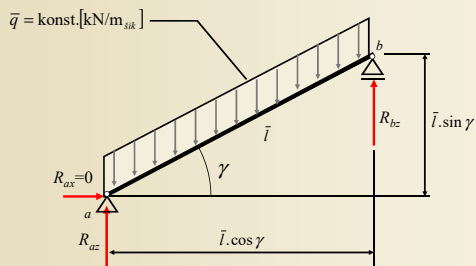
---

---

---

## Šikmý nosník – zatížení vlastní tíhou

Spojitě zatížení působící svisle podél střednice nosníku – na jednotku šikmé délky



Výpočet nosníku v rovině úlože

93 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

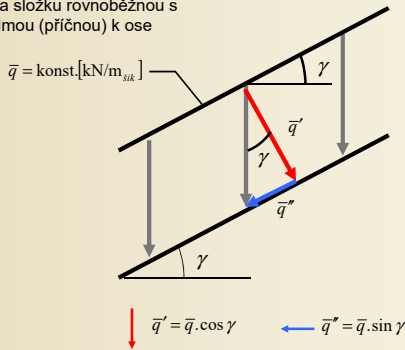
---

---

---

### Šikmý nosník – zatížení vlastní tíhou

Rozklad zatížení na složku rovnoběžnou s osou nosníku a kolmou (příčnou) k ose nosníku



Výpočet nosníku v rovinné úloze

94 / 110

---

---

---

---

---

---

---

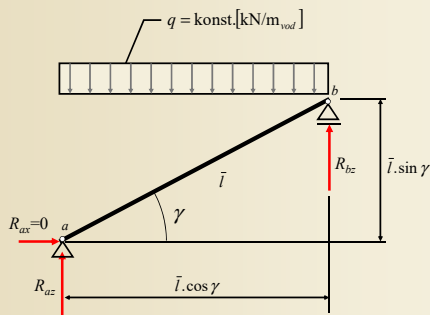
---

---

---

### Šikmý nosník – zatížení sněhem

Spojitě zatížení působící na vodorovný (půdorysný) průmět nosníku



Výpočet nosníku v rovinné úloze

95 / 110

---

---

---

---

---

---

---

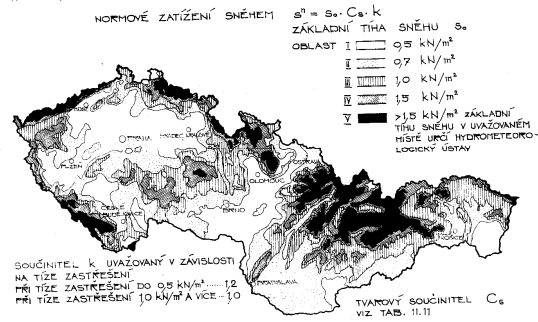
---

---

---

### Zatížení sněhem – charakteristická hodnota

TAB 11.9 MAPA SNĚHOVÝCH OBLASTÍ NA ÚZEMÍ ČSSR



Výpočet nosníku v rovinné úloze

96 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---







### Ukázky nosníků v rovinné úloze



Nosná konstrukce střechy základní školy, Brumov – Bylnice, projekt OKM

Výpočet nosníku v rovinné úloze

103 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky nosníků v rovinné úloze



Nosná konstrukce střechy kostelu sv. Michala, Praha, projekt OKM

Výpočet nosníku v rovinné úloze

104 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky nosníků v rovinné úloze



Nosná konstrukce radnice Ostrava – Krásné pole, projekt OKM

Výpočet nosníku v rovinné úloze

105 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ukázky nosníků v rovinné úloze**



Konstrukce ocelových svétlíkú, Ikea-Avion Shopping Park, Ostrava-Zábfeh

Výpočet nosníku v rovinné úloze

106 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ukázky nosníků v rovinné úloze**



Konstrukce ocelových svétlíkú, Ikea-Avion Shopping Park, Ostrava-Zábfeh

Výpočet nosníku v rovinné úloze

107 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ukázky nosníků v rovinné úloze**



Konstrukce ocelových svétlíkú, Ikea-Avion Shopping Park, Ostrava-Zábfeh

Výpočet nosníku v rovinné úloze

108 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ukázky nosníků v rovinné úloze



Konstrukce ocelových světlíků, Ikea-Avion Shopping Park, Ostrava-Zábřeh

Výpočet nosníku v rovinné úloze

109 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---

### Okruhy problémů k ústní části zkoušky

1. Výpočet nosníku v osové úloze
2. Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině  $xz$ )
3. Prostý nosník s převislými konci
4. Výpočet nosníku v příčné úloze (ve vodorovné hlavní rovině  $xy$ )
5. Výpočet nosníku v krutové úloze
6. Výpočet nosníku v rovinné úloze - vodorovný nosník se šikmým zatížením
7. Výpočet nosníku v rovinné úloze - vodorovný nosník se šikmým podepřením
8. Výpočet nosníku v rovinné úloze - šikmý nosník se svislým zatížením
9. Výpočet nosníku v prostorové úloze
10. Diferenciální podmínky rovnováhy elementu přímého nosníku, Schwedlerova věta, využití

Podklady ke zkoušce

110 / 110

---

---

---

---

---

---

---

---