

NK III

ocelové a dřevěné konstrukce (cvičení)

Ústav nosných konstrukcí FA ČVUT

<http://15122.fa.cvut.cz>

středa: Ing. **Marián VEVERKA**, Ph.D. (512)

marianveverka@seznam.cz

čtvrtek: Ing. **Martin POSPÍŠIL**, Ph.D. (508)

martin.pospisil@fa.cvut.cz

Literatura

- Marek, P. a kol. (1985): **Kovové konstrukce pozemních staveb**, SNTL Praha
 - Pechar, J., Studnička, J., Vrba, K. (1985): **Prvky kovových konstrukcí**, SNTL Praha
 - Hořejší, J., Šafka, J. a kol. (1988): **Statické tabulky**, SNTL Praha
 - Svoboda, L. a kol. (2005): **Stavební hmoty**, Jaga Bratislava
 - Lorenz, K., Holický, M., Marková, J., Juranka, T. (2005): **Nosné konstrukce I** (Základy navrhování nosných konstrukcí), ČVUT Praha
 - Lorenz, K. (2003): **Nosné konstrukce II**, ČVUT Praha
 - Studnička, J., Holický, M., Marková, J. (2007): **Ocelové konstrukce 2** (Zatížení), ČVUT Praha
 - Eliášová, M., Sokol, Z. (2008): **Ocelové konstrukce** (příklady), ČVUT Praha
 - Vraný, T., Jandera, M., Eliášová, M. (2009): **Ocelové konstrukce 2** (cvičení), ČVUT Praha
 - Kuklík, P., Kuklíková, A., Mikeš, K. (2005): **Dřevěné konstrukce** (cvičení), ČVUT Praha
 - Soubor Eurokód 0 – Zásady navrhování
 - Soubor Eurokód 1 – Zatížení
 - EC1 1991-1-3 zatížení sněhem
 - EC1 1991-1-4 zatížení větrem
 - Soubor Eurokód 3 – Ocelové konstrukce
 - EC3 1993-1-1 obecná pravidla pro pozemní stavby
 - Soubor Eurokód 5 – Dřevěné konstrukce
 - EC5 1995-1-1 společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
 - ČSN 01 3483 Výkresy kovových konstrukcí
 - ČSN 01 3487 Výkresy dřevěných stavebních konstrukcí
-

Obecné zásady spolehlivosti staveb

(směrnice Rady EU – Council Directive 89/106/EEC => SZ)

- mechanická odolnost a stabilita
- bezpečnost při požáru
- hygiena a zdravotní nezávadnost
- uživatelská bezpečnost
- ochrana proti hluku
- úspora energie a ochrana tepla

(pozn.: SZ = zák.183/2006 Sb., stavební zákon)

Podmínky spolehlivosti

Stavební konstrukce musí být navržena tak, aby nedošlo ke:

- ❑ zřícení konstrukce nebo její části
- ❑ nepřípustné deformaci
- ❑ poškození nenosných částí, příslušenství či zařízení vinou deformace nosné konstrukce
- ❑ poškození v rozsahu neúměrném jeho příčině

(vyhl.č.499/2006 Sb., příloha č.1, písm.B/2)

Podmínky spolehlivosti - ověření

postupem, jenž vychází z koncepce:

- mezních stavů (MS)
- prvků spolehlivosti (= dílčích a kombinačních součinitelů)
- výstižných výpočetních modelů

⇒ **Podmínky spolehlivosti musí být splněny ve všech návrhových situacích, a to vzhledem ke všem mezním stavům**

Návrhové situace

- trvalé situace (běžné užívání kce)
 - dočasné situace (výstavba, opravy ...)
 - mimořádné situace (požár, výbuch ...)
 - seizmické situace
-
- zatížení se stanovuje dle lokálních podmínek
-

Mezní stavy (MS)

- 1.MS (únosnosti)
 - EQU = ztráta statické rovnováhy
 - STR = porušení pevnosti
 - GEO = porucha či přetvoření základ.půdy
 - FAT = únavové porušení

 - 2.MS (použitelnosti)
 - nadměrná deformace

 - další MS mimo pozemní stavby
 - (vznik trhlin apod.)
-

Prvky spolehlivosti

- dílčí součinitele (γ_G, γ_Q) zohledňují:
 - nepříznivé odchylky od charakteristických hodnot
 - nepřesnosti převodních součinitelů
 - nejistoty v geometrických vlastnostech a v modelu
 - kombinační součinitele ($\psi_{0,1,2}$):
 - pravděpodobnost výskytu hlavního zatížení nebo souběhu vedlejších zatížení
-

Zatížení - druhy

- dle působení
 - přímé zatížení (břemeno)
 - nepřímé zatížení (změna teploty, přetvoření...)
 - dle změny v čase
 - stálé zatížení G (vlastní tíha, pevné vybavení...)
 - proměnné zatížení Q (užitná, klimatická...)
 - mimořádné zatížení A (výbuch, náraz...)
 - dle změny v prostoru
 - pevné zatížení (vlastní tíha...)
 - volné zatížení (užitná, klimatická...)
 - dle odezvy
 - statické
 - dynamické
-

Zatížení - hodnoty

- charakteristické $G_k, Q_k, A_k \dots$
 - vychází ze statisticky zjištěných hodnot průměrných, nominálních, infimálních, supremálních...)
 - reprezentativní (liší se pouze u proměnných Q_{rep} ; stále G_{rep} a mimořádné A_{rep} jsou totožné s G_k a A_k)
 - kombinační hodnota $\psi_0 Q_k$ pro 1.MS a nevratný 2.MS
 - častá hodnota $\psi_1 Q_k$ pro 1.MS s mimořádným zatížením a vratný 2.MS
 - kvazistálá hodnota $\psi_2 Q_k$ pro 1.MS s mimořádným zatížením a vratný 2.MS a dlouhodobých účinků
 - návrhové
 - $G_d = \gamma_G \cdot G_{rep}; Q_d = \gamma_Q \cdot Q_k, \gamma_Q \psi_0 Q_k, \psi_1 Q_k, \psi_2 Q_k; A_k = \gamma_A \cdot A_{rep} \dots$
-

Kombinace zatížení pro 1.MS

(používají se hodnoty návrhové)

□ EQU

- $G_d = \gamma_G \cdot G_k = 1,1 \cdot G_k$ (nepříznivá)
- $G_d = \gamma_G \cdot G_k = 0,9 \cdot G_k$ (příznivá)
- $Q_d = \gamma_Q \cdot Q_{rep} = 1,5 \cdot Q_k$ (hlavní proměnné)
- $Q_d = \gamma_Q \cdot Q_{rep} = 1,5 \cdot \psi_0 Q_k$ (vedlejší proměnné)

□ STR

- $G_d = \gamma_G \cdot G_k = 1,35 \cdot G_k$ (nepříznivá)
 - $G_d = \gamma_G \cdot G_k = 1,0 \cdot G_k$ (příznivá)
 - $Q_d = \gamma_Q \cdot Q_{rep} = 1,5 \cdot Q_k$ (hlavní proměnné)
 - $Q_d = \gamma_Q \cdot Q_{rep} = 1,5 \cdot \psi_0 Q_k$ (vedlejší proměnné)
-

Kombinace zatížení pro 2.MS

(používají se hodnoty reprezentativní, resp. charakteristické)

□ kombinační

- $G_{k,sup}$ (nepříznivá stálá zatížení)
- $G_{k,inf}$ (příznivá stálá zatížení)
- Q_k (hlavní proměnná zatížení)
- $\psi_{0,i}, Q_{k,i}$ (vedlejší proměnná zatížení)

□ častá

- $G_{k,sup}$ (nepříznivá stálá zatížení)
- $G_{k,inf}$ (příznivá stálá zatížení)
- $\psi_{1,1}, Q_{k,1}$ (hlavní proměnná zatížení)
- $\psi_{2,i}, Q_{k,i}$ (vedlejší proměnná zatížení)

□ kvazistálá

- $G_{k,sup}$ (nepříznivá stálá zatížení)
 - $G_{k,inf}$ (příznivá stálá zatížení)
 - $\psi_{2,1}, Q_{k,1}$ (hlavní proměnná zatížení)
 - $\psi_{2,i}, Q_{k,i}$ (vedlejší proměnná zatížení)
-

Zatížení - intenzity

- stálá zatížení
 - dle skutečné tíhy (např. objemové), včetně prvků (např. strojů) trvale připevněných k nosné konstrukci
-

Zatížení - intenzity

□ proměnná zatížení

- užitná (běžné užívání lidmi, nábytek, přemístitelné stroje apod.)

□ kategorie:

- A – plochy pro domácí a obytné činnosti
 - stropy $q_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$
 - schodiště $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$
 - balkony $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$
 - B – kancelářské plochy $q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$
 - C – shromažďovací plochy $q_k = 3,0\text{-}5,0 \text{ kN/m}^2$
 - D - obchodní prostory $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$
 - E – skladovací prostory $q_k = 7,5 \text{ kN/m}^2$ a více
-

Zatížení - intenzity

□ proměnná zatížení

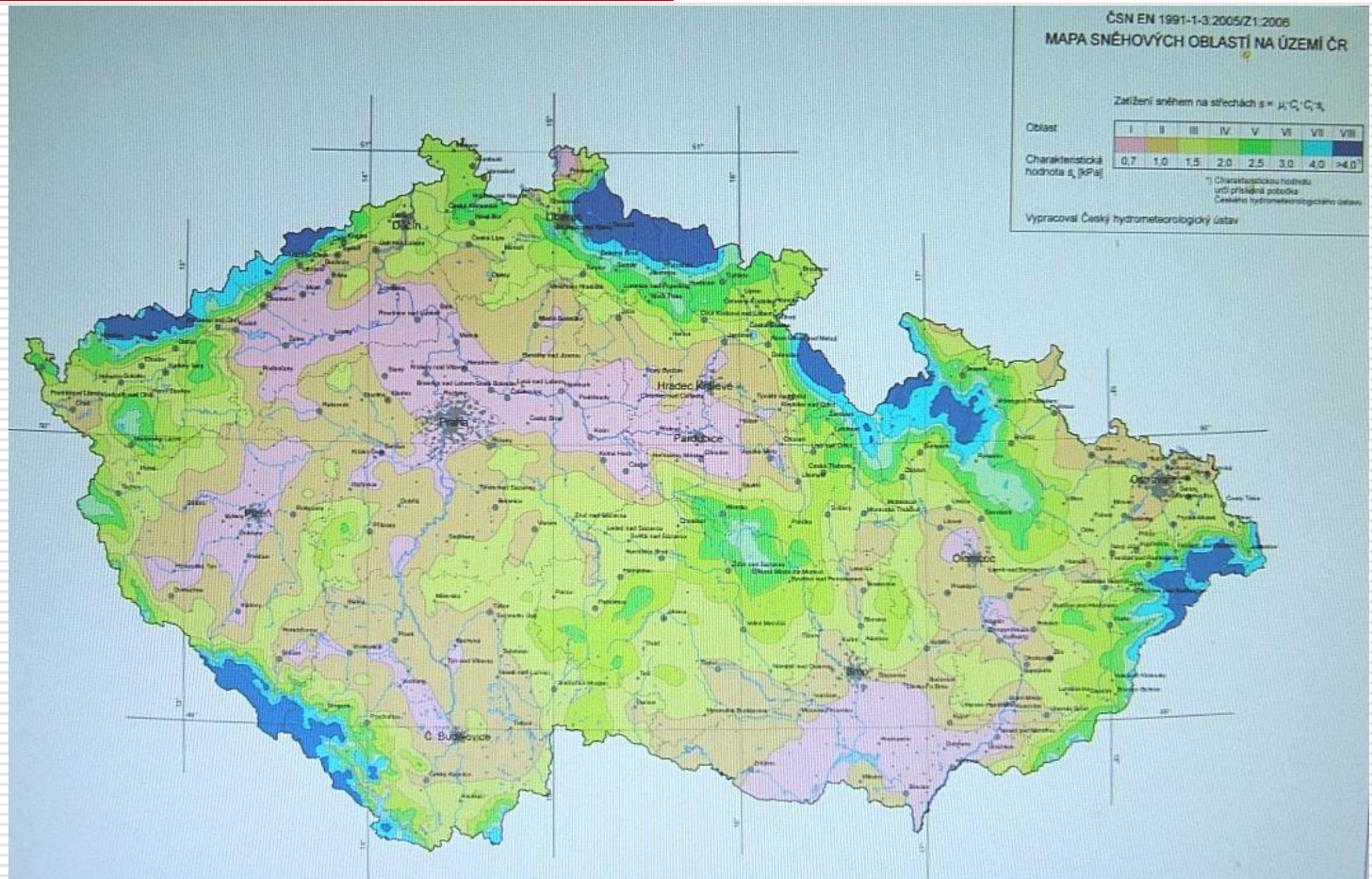
- sněhová (základní situace – např. bez návějí, pádu sněhu apod.)

- $s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$

- s_k ... charakteristická hodnota zatížení sněhem 50 letá (0,7-4,0 kPa)
 - μ_1 ... tvarový součinitel (sklon střechy) (0-0,8)
 - C_e ... součinitel expozice (odvanutí ze střechy) (obvykle 1,0)
 - C_t ... tepelný součinitel (odtávání prostupem) (obvykle 1,0)
-

Zatížení - intenzity

Mapa sněhových oblastí ČR



Zatížení - intenzity

□ proměnná zatížení

■ větrová (zde jen orientačně)

□ maximální tlak $q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$

■ $q_b = 0,5 \rho \cdot v_m^2(z)$... základní tlak větru

■ $I_v(z)$... vliv turbulence větru v závislosti na výšce

na základě

□ povětrnostních podmínek $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$

■ v_b ... základní rychlost větru (22-36 m/s)

■ c_{dir} ... součinitel směru větru (0,8-1,2)

■ c_{season} ... součinitel ročního období (u nás 1,0)

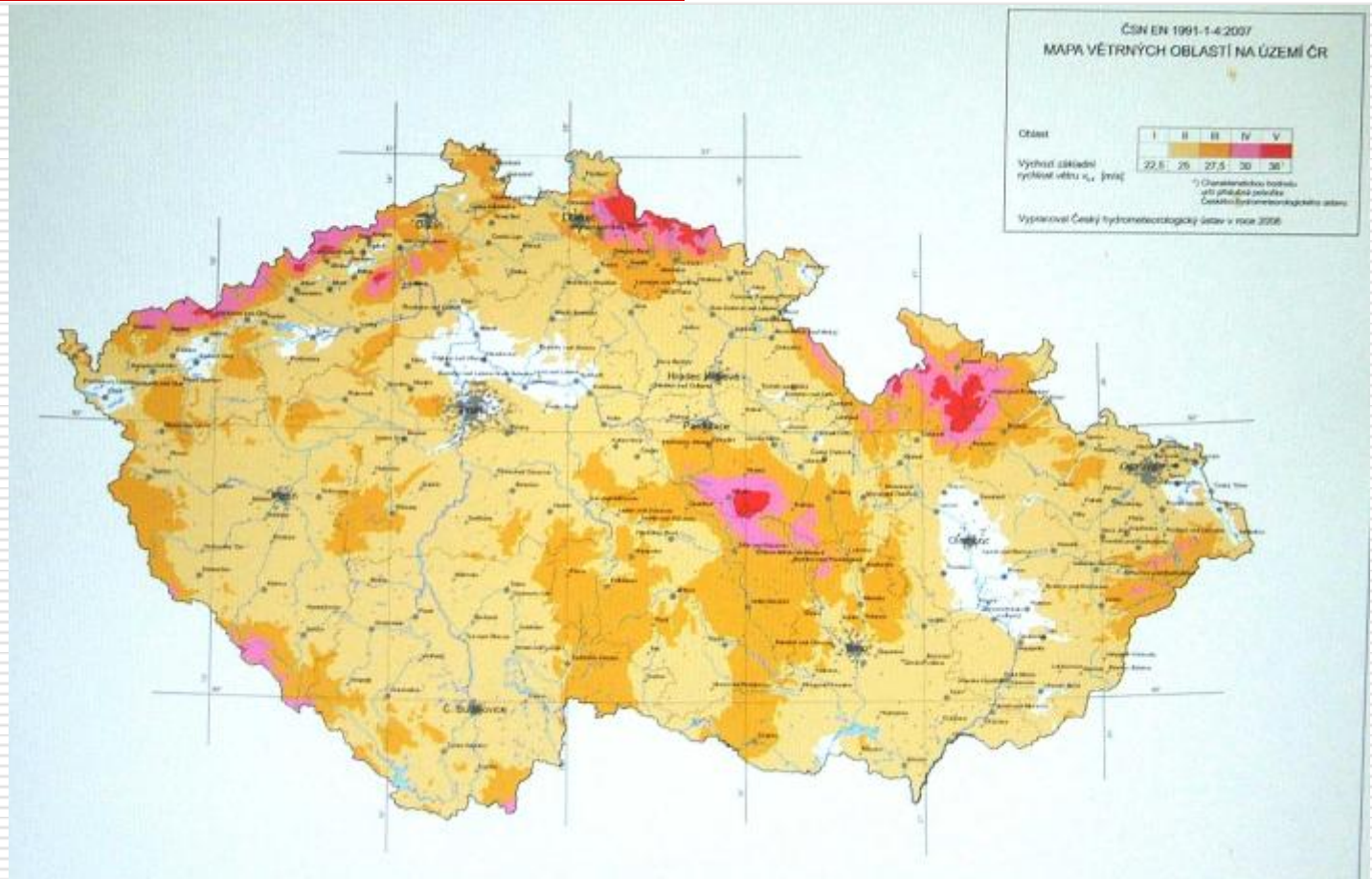
□ místních vlivů $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$

■ $c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0)$... součinitel drsnosti terénu
(dle délky a výšky terénní překážky, většinou kol. 1,0)

■ c_0 ... součinitel ortografie (u nás většinou 1,0)

Zatížení - intenzity

Mapa větrových oblastí ČR



Posuzovaný materiál

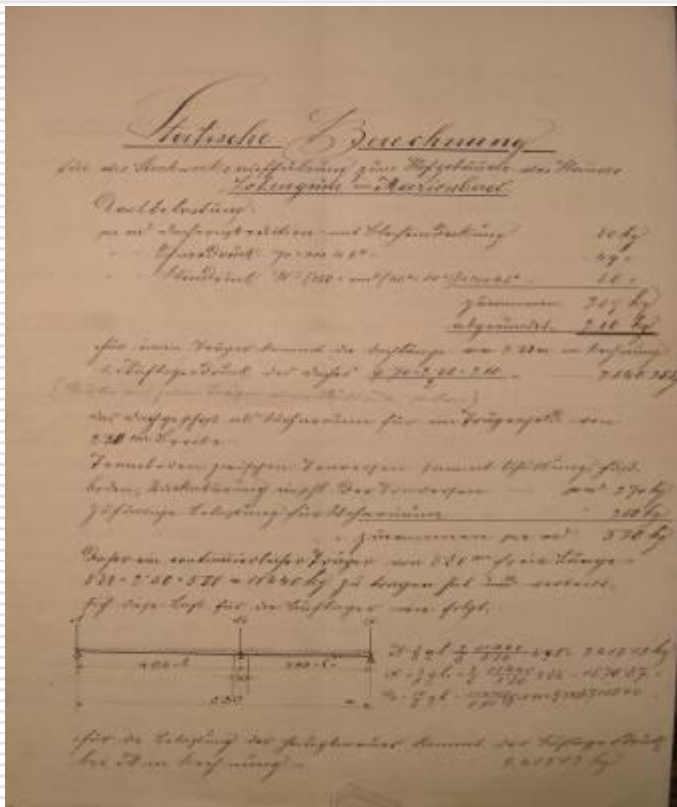
- 1. MS únosnosti – materiálová charakteristika: pevnost
 - Charakteristická
 - (např. pro ocel S235 ... $R_m = R_k = f_{uk}, f_{mk} \dots$
 $f_{uk} = 235 \text{ MPa}$)
 - (např. pro dřevo SII ... $f_{mk} = 16 \text{ MPa}$) ...
 - Návrhová
 - ocel ... $R_d = R_k / \gamma_m \dots$
 $\gamma_m = 1,1; \gamma_m = 1,15$
 - dřevo ... $\gamma_m = 1,3$
 - 2. MS použitelnosti – materiál.charakteristika: pružnost
 - Modul pružnosti v tahu, smyku E, G
 - (ocel ... $E = 210 \text{ GPa}; G = 81 \text{ GPa}$)
 - (litina ... $E = 100 \text{ GPa}; G = 38 \text{ GPa}$)
 - (dřevo SII ... $E_{0,mean} = 8 \text{ GPa}; G_{mean} = 0,5 \text{ GPa}$)
-

Statický výpočet

- Rozsah a struktura jsou závazně stanoveny ve vyhl.č. 499/2006 Sb. O projektové dokumentaci staveb, statický výpočet je povinnou součástí:
 - Projektu stavby pro stavební povolení (příloha č.1)
 - Prováděcího projektu (příloha č.2)
 - Forma a obsah jsou podrobněji rozepsány v DOS-T 5.17 (ČKAIT), výpočet obsahuje mj.:
 - Údaje o objektu a zpracovateli
 - Použité ČSN, klimatické, seizmické, geologické a hydrogeologické podmínky, materiálové a kční údaje, použitý SW
 - Vlastní výpočet (je-li ručně, je většinou psán tužkou s adjustací výsledků perem)
-

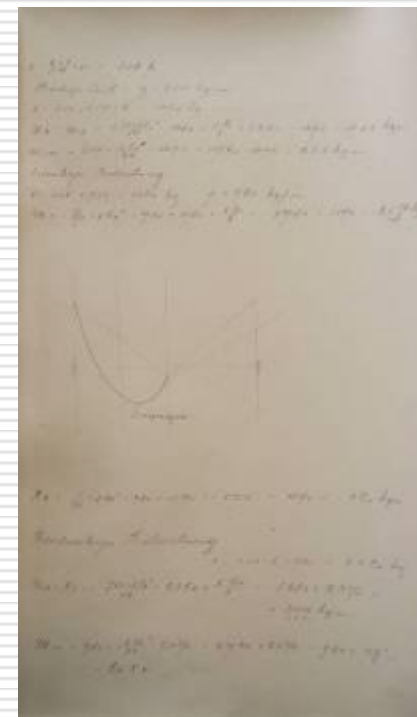
Statický výpočet – historická ukázka

- ❑ Statický výpočet z doby Rakousko-Uherska:



Statický výpočet – historická ukázka

- Statický výpočet z doby první čs. republiky:



Statický výpočet – postup ve cvičení

- ❑ Volné papíry A4, každý podepsán a očíslován
 - ❑ Schematický náčrt konstrukce jako celku (půdorys, pohled) s uvedením roztečí sloupů a konstrukčních výšek podlaží
 - ❑ Pod náčrtem uvést klimatické podmínky (sněhová a větrová oblast), kategorii užitného zatížení, použitý materiál
 - ❑ Normy, podle nichž se počítá (včetně roku vydání)
 - ❑ Návrhová životnost konstrukce EC0/str.24, tab.2.1
 - ❑ Výpočet a náčrty obyčejnou tužkou!
-

Statický výpočet – postup ve cvičení

- **1. Návrh a posouzení stropní desky** – použít trapézový plech jako nosný, bez spolupůsobení s betonovou deskou:
 - 1.1. Určení stálého zatížení působícího na trapézový plech – skladba jednotlivých vrstev podlahy a stropu
 - určení charakteristického zatížení, určení návrhového zatížení
 - 1.2. Určení užitého zatížení – dle kategorie (A-D)
 - určení reprezentativního zatížení, určení návrhového zatížení
 - 1.3. Stanovení statického modelu a výpočet ohybového momentu
plech považovat za spojitý nosník o 3 polích o zatěžovací šířce 1 m =>
 $[M_{Ed} = M_{max} = M_{nad\ vnitřní\ podporou} = 0,1 (g_d + q_d) \cdot L^2]$
 - 1.4. Návrh profilu plechu $[W_{min} = M \cdot (\gamma_M / f_y)]$ Pozor na polohu N, R
 - kde souč.spolehl.mater. $\gamma_M = 1,15$; mez kluzu $f_y =$ dle oceli EC3-1-1/tab.3.1, str.29
 - 1.5. Stanovení návrh. únosnosti v ohybu $[M_{c,Rd} = W_y \cdot (f_y / \gamma_M)]$
 - 1.6. Posouzení 1.MS (únosnosti) $[M_{Ed} < M_{c,Rd}]$ EC3-1-1/str.49
 - 1.7. Posouzení 2.MS (použitelnosti) $[\delta_{max} = \delta_v \text{ krajním poli} = (1/192) \cdot ((g_k + q_k) \cdot L^4 / EI) < \delta_{lim} = L/250]$ EC3-1-1/tab.NA1, str.90

Statický výpočet – postup ve cvičení

- **2. Návrh a posouzení stropnice** – použít např. válcovaný profil IPE:
 - 2.1. Určení stálého zatížení působícího na stropnici – skladba jednotlivých vrstev podlahy a stropu včetně plechu, stropnice (odhad např. IPE 260) a podhledu (vše v zatěžovací šířce stropnice)
 - charakteristické zatížení a návrhové zatížení
 - 2.2. Určení užitého zatížení – dle kategorie (A-D) (dtto 1.2; ale v zatěžovací šířce stropnice)
 - charakteristické zatížení a návrhové zatížení
 - 2.3. Výpočet ohyb.momentu (stropnice jako prostě podepřený nosník) [$M_{Ed} = (1/8)(g_d + q_d) \cdot L^2$] Statické tabulky
 - 2.4. Návrh profilu stropnice [$W_{min} = M \cdot (\gamma_M / f_y)$]
 - kde souč.spolehl.mater. $\gamma_M = 1,15$; mez kluzu $f_y =$ dle oceli EC3-1-1/tab.3.1, str.29
 - 2.5. Stanovení návrh.únosnosti v ohybu [$M_{C,Rd} = W_y \cdot (f_y / \gamma_M)$]
 - 2.4. Posouzení 1.MS (únosnosti) [$M_{Ed} < M_{C,Rd}$] EC3-1-1/str.49
 - 2.5. Posouzení 2.MS (použitelnosti) [$\delta = (5/384) \cdot ((g_k + q_k) \cdot L^4 / EI) < \delta_{lim} = L/250$] EC3-1-1/tab.NA1, str.90

Statický výpočet – postup ve cvičení

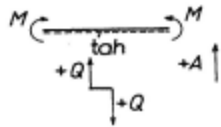
- **3. Návrh a posouzení průvlaku** – použít svařovaný průřez!
 - 3.1. Určení stálého a užitného zatížení působícího na průvlak = reakce jednotlivých stropnic
 - 3.2. Ke stálému zatížení nutno připočíst vlastní tíhu průvlaku (viz dále bod č. 4)
 - 3.3. Výpočet ohyb.momentu (průvlak jako prostě podepřený nosník) [vzorec zvolit podle statických tabulek]
viz Pomůcky pro cvičení nebo Statické tabulky
 - 3.4. Návrh profilu průvlaku [$W_{\min} = M \cdot (\gamma_M / f_y)$]
 - kde souč.spolehl.mater. $\gamma_M = 1,15$; mez kluzu $f_y =$ dle oceli; EC3-1-1/tab.3.1, str.29
 - 3.5. Stanovení návrhové únosnosti v ohybu [$M_{c,Rd} = W_y \cdot (f_y / \gamma_M)$]
 - 3.6. Posouzení 1.MS [$M_{Ed} < M_{c,Rd}$] EC3-1-1/str.49
 - 3.7. Posouzení 2.MS [vzorec pro zatížení osamělými břemeny zvolit podle statických tabulek (pozor, deformace uprostřed rozpětí „ v_s “!) + vlastní tíha průvlaku ($(5/384) \cdot (g_{k(\text{průvlak})}) \cdot L^4 / EI$)]
... $< \delta_{\lim} = L/400$] Stat.tab., EC3-1-1/str.90

Statický výpočet – postup ve cvičení

- 4. **Návrh profilu svařovaného průvlaku a výpočet jeho průřezových hodnot:**
 - 4.1. Návrh profilu:
 - $h=(1/15)L$
 - $t_s=(1/100)h$
 - cca 50% hmoty stojina + 50% hmoty pásnice]
 - 4.2. Výpočet I_y a W_y :
 - $I_y = \int z^2 dA$
 - \Rightarrow např. pro obdélník: $I_y=(1/12) b \cdot h^3$
 - $W_y = I_y/e_y$
 - \Rightarrow např. pro obdélník: $W_y=(1/6) b \cdot h^2$;
 - pro složený průřez: $I_y=I_{y1}+A_1 \cdot e_1^2$ (Steinerova věta)
 - V případě, že by stropnice nebyly uchyceny v horní části průvlaku, bylo by nutno posoudit i jeho klopení
-

Statické tabulky – vzorce pro výpočet 1

Tabulka C.35. Prostý nosník



M – ohybový moment
 Q – posouvající síla
 v – průhyb (kladný směrem dolů), vzorce platí pouze pro nosníky stálého průřezu
 S_a, S_b – statické momenty plochy momentového obrazce k podpore a, b

$$S_a = \int_a^b Mx'dx \quad S_b = \int_a^b Mx''dx$$

$\mathfrak{R}_a, \mathfrak{R}_b$ – členy do třímomentových rovnic

$$\mathfrak{R}_a = 6S_a = 6 \int_a^b Mx'dx \quad \mathfrak{R}_b = 6S_b = 6 \int_a^b Mx''dx$$

Z hodnot \mathfrak{R}_a (resp. S_a), \mathfrak{R}_b (resp. S_b) je možno rovněž vyjádřit pootočení podporových průřezů prostého nosníku stálého průřezu:

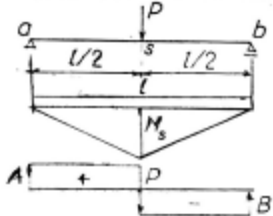
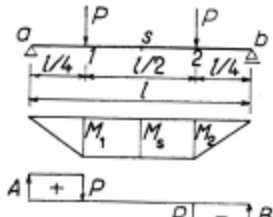
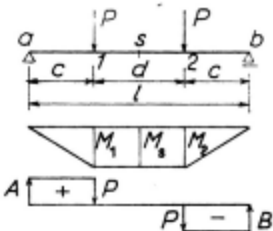
$$\text{pootočení podpory } a: \tau_a = \frac{\mathfrak{R}_b}{6EI} = \frac{S_b}{EI}$$

$$\text{pootočení podpory } b: \tau_b = \frac{\mathfrak{R}_a}{6EI} = \frac{S_a}{EI}$$

Zatížení	Statické hodnoty M, A, B, Q	Průhyb	$\mathfrak{R}_a = 6S_a; \mathfrak{R}_b = 6S_b$
	$M_1 = \frac{1}{l} Pcd$ $A = Q_{ab} = \frac{1}{l} Pd$ $B = -Q_{ba} = -\frac{1}{l} Pc$	$v_1 = \frac{Pc^2d^2}{3EI}$ pro $c \leq \frac{l}{2}$: $v_2 = \frac{Pc}{48EI} (3l^2 - 4c^2) \pm 0,02083 \frac{Pc}{EI} (3l^2 - 4c^2)$ pro $c \geq \frac{l}{2}$: $v_2 = \frac{Pd}{48EI} (3l^2 - 4d^2) \pm 0,02083 \frac{Pd}{EI} (3l^2 - 4d^2)$	$\mathfrak{R}_a = Pcd(l + c)$ $\mathfrak{R}_b = Pcd(l + d)$

Statické tabulky – vzorce pro výpočet 2

pokračování tab. C.35

Zatížení	Statické hodnoty M, A, B, Q	Průhyb	$\mathfrak{R}_a = 6S_a; \mathfrak{R}_b = 6S_b$
	$M_s = \frac{Pl}{4}$ $A = B = \frac{1}{2} P$ $Q_{ab} = -Q_{ba} = \frac{1}{2} P$	$v_s = \frac{Pl^3}{48EI} \doteq 0,02083 \frac{Pl^3}{EI}$	$\mathfrak{R}_a = \mathfrak{R}_b = \frac{3}{8} \frac{Pl^3}{EI} = 0,375 \frac{Pl^3}{EI}$
	$M_1 = M_2 = M_s = \frac{Pl}{4}$ $A = B = P$ $Q_{ab} = -Q_{ba} = P$	$v_s = \frac{11 Pl^3}{384 EI} \doteq 0,02864 \frac{Pl^3}{EI}$	$\mathfrak{R}_a = \mathfrak{R}_b = \frac{9}{16} \frac{Pl^3}{EI} = 0,5625 \frac{Pl^3}{EI}$
	$M_1 = M_2 = M_s = Pc$ $A = B = P$ $Q_{ab} = -Q_{ba} = P$ <p>pro $c = d = \frac{l}{3}$</p> $M_1 = M_2 = M_s = \frac{Pl}{3}$	$v_s = \frac{Pc}{24EJ} (3l^2 - 4c^2) \doteq 0,04166 \frac{Pc}{EI} (3l^2 - 4c^2)$ $v_s = \frac{23 Pl^3}{648 EI} \doteq 0,035494 \frac{Pl^3}{EI}$	$\mathfrak{R}_a = \mathfrak{R}_b = 3Pcl(l - c)$ $\mathfrak{R}_a = \mathfrak{R}_b = \frac{2}{3} \frac{Pl^3}{EI}$

Statické tabulky – vzorce pro výpočet 3

	$M_1 = M_2 = \frac{3}{8} Pl = 0,375 Pl$ $M_3 = \frac{1}{2} Pl$ $A = B = 1,5 P$ $Q_{01} = -Q_{02} = 1,5 P$ $Q_{12} = -Q_{23} = 0,5 P$	$v_s = \frac{19}{384} \frac{Pl^3}{EI} = 0,049 479 \frac{Pl^3}{EI}$	$\mathfrak{R}_a = \mathfrak{R}_b = \frac{15}{16} \frac{Pl^3}{EI} = 0,937 5 \frac{Pl^3}{EI}$
	$M_1 = M_2 = \frac{Pl}{4}$ $M_3 = \frac{5}{12} Pl = 0,41\bar{6} Pl$ $A = B = 1,5 P$ $Q_{01} = -Q_{02} = 1,5 P$ $Q_{12} = -Q_{23} = 0,5 P$	$v_s = \frac{53}{1 296} \frac{Pl^3}{EI} = 0,040 895 \frac{Pl^3}{EI}$	$\mathfrak{R}_a = \mathfrak{R}_b = \frac{19}{24} \frac{Pl^3}{EI} = 0,791 \bar{6} \frac{Pl^3}{EI}$
	$M_i = \frac{i(n-i)}{n} \frac{Pl}{2}$ <p>pro n sudé:</p> $M_s = \frac{n}{4} Pl$ <p>pro n liché:</p> $M_s = \frac{n^2 - 1}{8n} Pl$ $A = B = \frac{n-1}{2} P$ $Q_i = \frac{n-2i-1}{2} P$		$\mathfrak{R}_a = \mathfrak{R}_b = \frac{1}{4} \frac{n^2 - 1}{n} \frac{Pl^3}{EI}$

Statické tabulky – vzorce pro výpočet 3

Tabulka 3.3 Deformace prostého nosníku konstantního průřezu		
Schéma zatížení	Průhyb w	Pootočení volného konce φ
	$\frac{F \cdot a \cdot b}{27 \cdot E \cdot I \cdot l} \cdot \sqrt{3 \cdot a \cdot (l + b)^3}$	$\varphi_a = \frac{F \cdot a \cdot b}{6 \cdot E \cdot I \cdot l} \cdot (l + b)$ $\varphi_b = \frac{F \cdot a \cdot b}{6 \cdot E \cdot I \cdot l} \cdot (l + a)$
	$\frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I}$	$\varphi_a = \varphi_b = \frac{F \cdot l^2}{16 \cdot E \cdot I}$
	$\frac{23}{648} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I}$	$\varphi_a = \varphi_b = \frac{F \cdot l^2}{9 \cdot E \cdot I}$
	$\frac{19}{384} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I}$	$\varphi_a = \varphi_b = \frac{5}{32} \cdot \frac{F \cdot l^2}{E \cdot I}$
	$\frac{63}{1000} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I}$	$\varphi_a = \varphi_b = \frac{1}{5} \cdot \frac{F \cdot l^2}{E \cdot I}$
	$\frac{11}{144} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I}$	$\varphi_a = \varphi_b = \frac{35}{144} \cdot \frac{F \cdot l^2}{E \cdot I}$