

Brněnské veletrhy a výstavy,
podnik pro pořádání veletrhů a výstav
v B R N Ě , Výstaviště 1 .

P O S O U Z E N Í S T A T I C K É H O V Ý P Č T U
ocelové konstrukce pavilonu S brněnského výstaviště-
odborně vědecká expertiza

Statický výpočet s dimenzováním konstrukčních profilů (trubek) střešní konstrukce pavilonu "S" na brněnském výstavišti vypracoval Ing.Radúz R u s e, C.Sc. Ocelová střešní konstrukce je trubková, má podobu příhradové desky, v pásových prutech je třísměrná s oky sítě v podobě rovnoramenných trojúhelníků vepsaných do čtverce a v diagonálách, jdoucích tloušťkou deskového útvaru je soustava dvojnásobná s dalšími styčníky ve střednicové rovině, spojenými ještě dalšími pruty, ležícími v této střednicové rovině. Soustava je řešena jako prostorová příhradovina maticovou analýzou, kde neznámé veličiny v soustavě lineárních rovnic jsou posuvy jednotlivých stačníků ve třech souřadných směrech x, y, z v hodnotách u, v, w . Z nich počítač podle daného programu určí osové síly prutů a konečně i dimenze, popřípadě v opakovaných řešeních dosáhne určité optimalizace profilů.

Za účelem přezkoušení statického řešení a daných dimenzí trubkových prutů soustavy bylo autorem expertízy nastoupeno paralelní řešení metodou analogie kontinua za zjednodušených předpokladů hypotéz tenké desky, tedy bez uvažování účinku smyku na průhybové pořadnice w a za předpokladu $u = v = 0$ ve střednicové rovině. Při sestavování diferenčních rovnic tohoto kontrolního výpočtu byly zavedeny tuhosti náhradního kontinua, jak odpovídá-

jí dimenzím pásových prutů původního projektu a to i v okolí diskretních sloupových podpor, kde byla vzata v úvahu i tuhost podporových růžic (hlav hřibové desky).

V přílohách je uvedeno sestavování rovnic pro čtvrtinu soustavy s uvážením její dvojosé symetrie, takže rovnic je nasá-
no 324, které jsou zapsány do obsáhlé několikadílné matice,
připojené v kopiích. Soustava lineárních rovnic je rozřešena
na počítači Minsk 22 pomocí standardního programu M 80 Prof.
Z. Drahoňovského. Kořeny soustavy jsou zapsány v posledním řád-
ku matice a tyto hodnoty průhybových pořadnic w jsou vyneseny
do výkresů, v němž je zakreslena a očíslována i obdélníková
diferenční síť $\Delta_y = 2 \Delta_x$, které bylo při řešení soustavy pou-
žito. Z výkresu je tedy patrna průhybová plocha střednice desko-
vého útvaru. Výkres je v kopii rovněž připojen.

Z pořadnic průhybu w jsou vypočteny ohybové a kroutící mo-
menty m_x , m_y , m_d , z nichž dále ohybové momenty m_1 , m_2 , m_3 ve
směrech pásů a z nich pak osové síly v pásech a to vše podle
vztahů uvedených v záhlaví rukopisné části expertizního elabo-
rátu, který je prozatím připojen v rukopisném originálu.

Dimenze prutů trubkové příhradoviny byly přezkoušeny v ně-
kterých vybraných charakteristických místech, jak následuje.

Výpočet reakcí se děje podle obecného vztahu

$$(15) \quad A_{i,k} = (m_{x,i-1,k} - 2m_{x,i,k} + m_{x,i+1,k}) \frac{l_x l_y}{\Delta_x^2} + \\ + 2(m_{d,a} + m_{d,c} - m_{d,b} - m_{d,d})_{i,k} \frac{l_x l_y}{l_x l_y} + \\ + (m_{y,i,k+1} - 2m_{y,i,k} + m_{y,i,k-1}) \frac{l_x l_y}{l_y^2} + P_{i,k} x l_y.$$

Pro uzel 5,11 je

$$A_{5,11} = (m_{x,4,11} - 2m_{x,5,11} + m_{x,6,11}) \frac{1}{2} + \\ + (m_{y,5,10} - 2m_{y,5,11} + m_{y,5,12}) \frac{1}{2} + \quad ./..$$

$$+ 2 (m_{d,a} + m_{d,c} - m_{d,b} - m_{d,d})_{5,11} + p \frac{\Delta^2}{2},$$

kde je podle vztahů (6)

$$m_{x,4,11} = -1,5492 \frac{2,1}{k_0} \frac{1}{\Delta_x^2} / (w_{11,11} - 2w_{4,11} + w_{3,11}) + \\ + 4,0,2065 (w_{4,12} - 2w_{3,11} + w_{4,10}) / =$$

$$= -1,5492 \cdot 2,1 p \Delta_x^2 / (0,0000 - 2,0,7336 + 4,4079) + \\ + 0,826 (-10,1694 - 2,0,7336 + 12,2255) / =$$

$$= -3,25332 (2,9407 + 0,4846) p \Delta_x^2 = -11,1495 p \Delta_x^2,$$

$$m_{x,5,11} = -1,5492 \frac{3,9}{k_0} \frac{1}{\Delta_x^2} / (w_{6,11} - 2w_{5,11} + w_{4,11}) + \\ + 4,0,2065 (w_{5,12} - 2w_{5,11} + w_{4,11}) / =$$

$$= -1,5492 \cdot 3,9 p \Delta_x^2 / (4,2053 - 2,0,0000 + 0,7336) + \\ + 0,826 (-10,6384 - 2,0,0000 + 11,6428) / =$$

$$= -6,04188 (4,9389 + 0,0,8296) p \Delta_x^2 = -34,8526 p \Delta_x^2,$$

$$m_{x,6,11} = -1,5492 \frac{3,4}{k_0} \frac{1}{\Delta_x^2} / (w_{7,11} - 2w_{6,11} + w_{5,11}) + \\ + 4,0,2065 (w_{6,12} - 2w_{6,11} + w_{6,10}) / =$$

$$= -1,5492 \cdot 3,4 p \Delta_x^2 / (10,0640 - 2,4,2053 + 0,0000) + \\ + 0,826 (-6,3319 - 2,4,2053 + 15,2470) / =$$

$$= -5,2673 (1,6534 + 0,4167) p \Delta_x^2 = -10,9038 p \Delta_x^2,$$

$$m_{y,5,10} = -1,0800 \frac{3,9}{k_0} \frac{1}{\Delta_x^2} / (w_{5,11} - 2w_{5,10} + w_{5,9}) \cdot 4 + \\ + 0,2961 (w_{6,10} - 2w_{5,10} + w_{4,10}) / =$$

$$= -1,0800 \cdot 3,9 p \Delta_x^2 / 4 (0,0000 - 2,11,6428 + 23,5161) / =$$

$$= -4,2120 (0,9220 + 1,2397) p \Delta_x^2 = -9,1051 p \Delta_x^2,$$

$$m_{y,5,11} = -1,0800 \frac{3,9}{k_0} \frac{1}{\Delta_x^2} / 4 (w_{5,12} - 2w_{5,11} + w_{5,10}) + \\ + 0,2961 (w_{6,11} - 2w_{5,11} + w_{4,11}) / =$$

$$= -1,0800 \cdot 3,9 p \Delta_x^2 / 4 (-10,6384 - 2,0,0000 + 11,6428) + \\ + 0,2961 (4,2053 - 2,0,0000 + 20,7336) / =$$

$$= -4,2120 (4,0176 + 1,4624) p \Delta_x^2 = -22,0818 p \Delta_x^2,$$

$$m_{y,5,12} = -1,0800 \frac{2,7}{k_0} \frac{1}{\Delta_x^2} / 4 (w_{5,13} - 2w_{5,12} + w_{5,11}) + \\ + 0,2961 (w_{6,12} - 2w_{5,12} + w_{4,12}) / =$$

$$= -1,0800 \cdot 2,7 p \Delta_x^2 / 4 (-20,7078 + 2 \cdot 10,6384 + 0,0000) + \\ + 0,2961 (-6,3319 + 2 \cdot 10,6384 - 10,1694) / =$$

$$= -2,9160 (2,2760 + 1,4140) p \Delta_x^2 = -10,7600 p \Delta_x^2,$$

$$(m_{d,a})_{5,11} = -0,64 \cdot 2 \cdot 3,00 \frac{1}{k_0} \frac{1}{\Delta_x^2} (w_{4,10} + w_{5,11} - w_{5,10} - w_{4,11}) = \\ = -3,84 (12,2255 + 0,0000 - 11,6428 - 0,7336) p \Delta_x^2 = \\ = -3,84 (-0,1509) p \Delta_x^2 = +0,5795 p \Delta_x^2,$$

$$(m_{d,b})_{5,11} = -0,64 \cdot 2 \cdot 3,65 \frac{1}{k_0} \frac{1}{\Delta_x^2} (w_{5,10} + w_{6,11} - w_{6,10} - w_{5,11}) = \\ = -4,672 (11,6428 + 4,2053 - 15,2470 - 0,0000) p \Delta_x^2 = \\ = -4,672 (0,6011) p \Delta_x^2 = -2,8083 p \Delta_x^2,$$

$$(m_{d,c})_{5,11} = -0,64 \cdot 2 \cdot 3,175 (w_{5,11} + w_{6,12} - w_{6,11} - w_{5,12}) \frac{1}{k_0} \frac{1}{\Delta_x^2} = \\ = -4,064 (0,0000 - 6,3319 - 4,2053 + 10,6384) p \Delta_x^2 = \\ = -4,064 (0,1012) p \Delta_x^2 = -0,4113 p \Delta_x^2,$$

$$(m_{d,d})_{5,11} = -0,64 \cdot 2 \cdot 2,575 (w_{4,11} + w_{5,12} - w_{5,11} - w_{4,12}) \frac{1}{k_0} \frac{1}{\Delta_x^2} = \\ = -3,296 (0,7336 - 10,6384 - 0,0000 + 10,1694) p \Delta_x^2 = \\ = -3,296 (0,2646) p \Delta_x^2 = -0,8712 p \Delta_x^2,$$

takže dosazením je

$$A_{i,k} = (-11,1495 + 2 \cdot 34,8526 - 10,9038) \frac{1}{2} p \Delta_x^2 + \\ + (-9,1051 + 2 \cdot 22,0818 - 10,7600) 2 p \Delta_x^2 + \\ + 2(0,5795 - 0,4113 + 2,8083 + 0,8712) p \Delta_x^2 + \frac{1}{2} p \Delta_x^2 = \\ = (23,8260 + 48,5970 + 7,6954 + 0,5) p \Delta_x^2 = +80,6184 p \Delta_x^2 = A_{5,11}$$

Podobně byla vypočtena reakce $A_{15,11}$ hodnotou

$$A_{i,k} = +64,6593 p \Delta_x^2 = A_{15,11}$$

Součet reakcí na čtvrtině soustavy je

$$A_{5,11} + A_{15,11} = (80,6184 + 64,6593) p \Delta_x^2 = 145,2777 p \Delta_x^2 = \\ = 145,2777 \cdot 196 \cdot 3^2 = 256\,270 \text{ kp} = 256,270 \text{ Mp}$$

Součet všech břemen je

$$\sqrt{\frac{1}{2}(17 \cdot 0,5 + 0,5) + 14(17 \cdot 1 + 1,78) + (17 \cdot 1,2821,28) + (17 \cdot 0,75 + 1,335)} / \frac{1}{2} p \Delta_x^2 = \\ = 152,272 p \Delta_x^2 = 152,272 \cdot 196 \cdot 3^2 = 268\,608 \text{ kp} = 268,608 \text{ Mp}$$

takže kontrola dává numerickou chybu asi 4,6 %, což není podstatné.

Vztahy pro pásové momenty m_1, m_2, m_3 vypočítáme z rovnic (16)

$$m_x = m_1 \cos^2 \psi_1 + m_2 \cos^2 \psi_2 + m_3 \cos^2 \psi_3, \quad m_y = m_1 \sin^2 \psi_1 + m_2 \sin^2 \psi_2 + m_3 \sin^2 \psi_3,$$

$$m_d = m_1 \cdot 2 \sin \psi_1 \cos \psi_1 + m_2 \cdot 2 \sin \psi_2 \cos \psi_2 + m_3 \cdot 2 \sin \psi_3 \cos \psi_3,$$

$$\psi_1 = 90^\circ, \cos \psi_1 = 0, \sin \psi_1 = 1,$$

$$\psi_2 = \quad, \cos \psi_2 = 0,894, \sin \psi_2 = 0,448,$$

Zatížení

$$p = 196 \text{ kp/m}^2$$

$$\psi_3 = \quad, \cos \psi_3 = -0,894, \sin \psi_3 = 0,448.$$

Dosazením těchto funkcí do hořejších rovnic je

$$m_x = m_1 \cdot 0 + m_2 \cdot 0,894^2 + m_3 \cdot 0,894^2,$$

$$m_y = m_1 \cdot 1 + m_2 \cdot 0,448^2 + m_3 \cdot 0,448^2,$$

$$m_d = m_1 \cdot 0 + m_2 \cdot 0,894 \cdot 0,448 - m_3 \cdot 0,894 \cdot 0,448$$

z čehož

$$m_x = 0,7992 m_2 + 0,7992 m_3,$$

$$m_y = 0,2007 m_2 + 0,2007 m_3 + m_1,$$

$$m_d = 0,4005 m_2 - 0,4005 m_3$$

a konečně eliminací z nich je

$$m_1 = m_y - 0,2511 m_x,$$

Délka šikmého pásu je

$$m_2 = 0,6256 m_x + 1,2484 m_d,$$

$$s_2 = s_3 = \sqrt{1,5^2 + 0,75^2} =$$

$$m_3 = 0,6256 m_x - 1,2484 m_d.$$

$$= 1,677 \text{ m}$$

Dále je

(Výpočet momentů v uzlu 01

$$m_{x,01} = -1,5492 \cdot 1 \cdot \frac{1}{k_0} \frac{1}{\Delta_x^2} \sqrt{(w_{11} - 2w_{01} + w_{11})} +$$

$$(M_2)_{01} = (M_3)_{01} = 16 \cdot 0,2065 \left(\frac{1}{3} w_{02} - w_{01} + \frac{2}{3} w_{00} \right) / =$$

$$= -1,5492 p \Delta_x^2 \sqrt{(2,90,3652 - 2,90,8501)} +$$

$$+ 3,3040 \left(\frac{1}{3} 88,9581 - 90,8501 + \frac{2}{3} 91,0872 \right) / =$$

$$= -1,5492 p \Delta_x^2 (-0,9697 - 1,5582) = + 3,9161 p \Delta_x^2,$$

$$m_{y,01} = -1,0800 \cdot 1 \sqrt{16 \left(\frac{1}{3} w_{02} - w_{01} + \frac{2}{3} w_{00} \right) +}$$

$$+ 0,2961 (w_{11} - 2w_{01} + w_{11}) / =$$

$$= -1,0800 p \Delta_x^2 \sqrt{-7,5456 - 0,2871} / = + 8,4593 p \Delta_x^2.$$

$$(m_{d,a})_{01} = -0,64 \frac{1}{4k_0} \frac{1}{\Delta_x^2} / 4 (w_{10} + w_{01} - w_{00} - w_{11}) +$$

$$+ 4 (w_{00} + w_{11} - w_{10} - w_{01}) +$$

$$+ 2 (w_{01} + w_{12} - w_{11} - w_{02}) + 2 (w_{11} + w_{02} - w_{12}) / =$$

$$\begin{aligned}
 (M_1)_{0,11} &= 0,16p\Delta_x^2 / 4(90,6048+90,8501-91,0872-90,3652)+ \\
 &+ 4(91,0872+90,3652-90,6048-90,8501)+ \\
 &+ 2(90,8501+88,4570-90,3652-88,9581)+ \\
 &+ 2(90,3652+88,9581-90,8501-88,4530) / 7 = \\
 &= 0,16p\Delta_x^2 / 0,01-0,01-0,0404+ 0,0404 / 7 = 0
 \end{aligned}$$

což odpovídá ose symetrie. Dále je

$$\begin{aligned}
 (m_1)_{01} &= (8,4593-0,2511 \cdot 3,9161)p\Delta_x^2 = + 7,4760 p\Delta_x^2 = \\
 &= 7,4760 \cdot 196 \cdot 3^2 = 13187,664 \text{ kpm/m},
 \end{aligned}$$

což při vzdálenosti pásových prutů $a_1 = 1,5 \text{ m}$ dá

$$(M_1)_{01} = 1,5 \cdot 13187,664 = 19781,496 \text{ kpm}$$

a z toho dělíme-li výškou $h = 2,4 \text{ m}$ obdržíme osově síly v pásech

$$S = -H = \frac{19781,496}{2,4} = 8242,3 \text{ kp.}$$

Profil $\emptyset 44,5/2,5$, $F = 3,30 \text{ cm}^2$, $i = 1,49 \text{ cm}$, $L_0 = 150 \text{ cm}$,

$$\lambda = 150/1,49 = 100,7, c_{52} = 2,29$$

a napětí

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{8242,3}{3,30} \cdot 2,29 = 2498 \cdot 2,29 = 5720 \text{ kp/cm}^2 > 2900 \text{ kp/cm}^2 \\
 (m_1)_{51} & \quad \text{tah} \quad \quad \quad \text{vzpěr}
 \end{aligned}$$

Dále je

$$(m_3)_{01} = (m_3)_{01} = 0,6256m_x = 0,6256 \cdot 3,9161 = 2,4499 p\Delta_x^2 =$$

$$= 2,4499 \cdot 196 \cdot 3^2 = 4321,6236 \text{ kpm/m}, \quad \text{Vzdálenost šik-}$$

$$(M_2)_{01} = (M_3)_{01} = 4321,6236 \cdot 1,344 = 5808,26 \text{ kpm},$$

mých pásu je
 $a_s = 1,344 \text{ m}$

$$S = -H = \frac{5808,26}{2,4} = 2420,11 \text{ kp},$$

Profil $\emptyset 44,5/2,5$, $F = 3,30 \text{ cm}^2$, $i = 1,49 \text{ cm}$, $L_0 = 150/0,894 = 167,8 \text{ cm}$

$$\lambda = 168/1,49 = 112,7, c = 2,79$$

$$\sigma = \frac{2420,11}{3,30} \cdot 2,79 = 2250 \text{ kp/cm}^2 < 2900 \text{ kp/cm}^2$$

Podobně jsou určeny momentové hodnoty v uzlu 0,11

$$m_{x,0,11} = + 5,4464 p\Delta_x^2, \quad m_{y,0,11} = + 1,1070 p\Delta_x^2, \quad m_d,0,11 = 0,$$

$$(m_1)_{0,11} = m_y - 0,2511m_x = - 0,2406p\Delta_x^2 = - 424,4656 \text{ kpm/m},$$

$$(M_1)_{0,11} = 1,5 \cdot 424,4656 = - 636,6984 \text{ kpm} ,$$

$$-S = +H = \frac{636,6984}{2,4} = 256,29 \text{ kp} ,$$

osové síly jsou nepatrné, není třeba přezkušovat dimense.

Dále je

$$(m_2)_{0,11} = (m_3)_{0,11} = 0,6256 m_x \pm 0 = 0,6256 \cdot 5,4464 p \Delta_x^2 = + 3,4073 p \Delta_x^2 = + 3,4073 \cdot 196 \cdot 3^2 = + 6010,4772 \text{ kpm/m} ,$$

$$(M_2)_{0,11} = (M_3)_{0,11} = 3365,87 \text{ kp} ,$$

Profil trubka $\emptyset 60/3$, $F = 5,37 \text{ cm}^2$, $i = 2,02 \text{ cm}$, $\lambda = 168/2,02 = 83$,

$$e = 1,7 ,$$

$$\sigma = \frac{3365,87}{5,37} \cdot 1,7 = 626 \cdot 1,7 = 1065 \text{ kp/cm}^2 \text{ tah} < 2900 \text{ kp/cm}^2 \text{ vzpěr} ,$$

takže uprostřed soustavy podél mezi sloupy má konstrukce značné rezervy.

Rozměrný uzel 51 má (v ose soustavy napříč mezi vnitřními sloupy

$$m_{x,51} = + 2,1414 p \Delta_x^2 , m_{y,51} = + 11,8488 p \Delta_x^2 , (m_d)_{51} = \frac{1}{4} (m_{d,a} + m_{d,b} + m_{d,c} + m_{d,d})_{51} = - 0,0458 p \Delta_x^2 ,$$

$$(m_1)_{51} = (11,8488 - 0,2511 \cdot 2,1414) p \Delta_x^2 = 11,3111 p \Delta_x^2 = 11,3111 \cdot 196 \cdot 3^2 = 19952,78 \text{ kpm/m} ,$$

$$(M_1)_{51} = 1,5 \cdot 19952,78 = 29929,170 \text{ kpm} ,$$

$$S = -H = \frac{29929,17}{2,4} = 12470,49 \text{ kp} ,$$

a dimense horního tlačného pásu jsou trubka $\emptyset 60/3$

$$\sigma^- = \frac{12470,49}{5,37} \cdot 1,7 = 3948 \text{ kp/cm}^2 \geq 2900 \text{ kp/cm}^2 ,$$

spodní pás v tahu má menší dimenzi, trubku $\emptyset 44,5/2,5$, $F = 3,3 \text{ cm}^2$,

$$\sigma^+ = \frac{12470,49}{3,30} = 3780 \text{ kp/cm}^2 = 2900 \text{ kp/cm}^2 \text{ avšak rovno}$$

asi mezi průtažnosti. Dále je

$$(m_2)_{51} = (-0,6256 \cdot 0,2580 - 0,0485) p \Delta_x^2 = - 0,2099 p \Delta_x^2 ,$$

$$(m_3)_{51} = (-0,6256 \cdot 0,2580 + 0,0485) p \Delta_x^2 = - 0,1129 p \Delta_x^2 ,$$

$$(m_2)_{51} = -0,2099 \cdot 196 \cdot 3^2 = - 370,264 \text{ kpm/m} ,$$

$$(M_2)_{5,1} = -1,344.370,264 = -497,635 \text{ kpm},$$

$$-S = +H = \frac{497,635}{2,4} = 207,35 \text{ kp},$$

síly jsou nepatrné, není třeba přezkušovat dimenze; i zde je vidět, že v obou šikmých směrech mají pásy velkou rezervu, neboť podle tohoto výpočtu nejsou v daném místě téměř vůbec napjaty a je možná reologie.

Uprostřed mezi sloupy karajními v příčném směru, tedy v uzlu 15,1 je

$$m_{x,15,1} = +0,6688 p_x^2, m_{y,15,1} = +9,3763 p_x^2,$$

$$(m_1)_{15,1} = (9,3763 - 0,2511 \cdot 0,6688) p_x^2 = +9,2084 p_x^2 = 9,2084 \cdot 196,3^2 = 16243,6176 \text{ kpm/m},$$

$$(M_1)_{15,1} = 1,5 \cdot 16243,6176 = 24365,43 \text{ kpm},$$

$$S = -H = \frac{24365,43}{2,4} = 10152 \text{ kp},$$

dan profil trubka $\varnothing 60/3$, takže podle předchozího je

$$\sigma = \frac{10152}{5,37} \cdot 1,7 = 1891 \cdot 1,7 = 3215 \text{ kp/cm}^2 \quad \begin{matrix} \text{tah} \\ \text{vzpěr} \end{matrix} \quad 2900 \text{ kp/cm}^2$$

avšak ~~maximální~~ menší než mez peřtažnosti 3600 kp/cm^2 ;

dvojí šikmé pásy mají opět nepatrné namáhání, takže je možná případná reologie, ke které zde však nedojde, neboť by ani podle tohoto kontrolního výpočtu nedošlo k trvalým deformacím.

V místě u podpory, uzel 5,10

$$m_{x,5,10} = -29,6199 p_x^2, m_{y,5,10} = -9,1051 p_x^2,$$

$$(m_{d,a})_{5,10} = +0,2177 p_x^2, (m_{d,b})_{5,10} = -2,3389 p_x^2,$$

$$(m_{d,c})_{5,10} = -2,8083 p_x^2, (m_{d,d})_{5,10} = +0,5795 p_x^2,$$

$$(m_d)_{5,10} = \frac{1}{4}(m_{d,a} + m_{d,b} + m_{d,c} + m_{d,d}) = -1,0875 p_x^2,$$

$$(m_1)_{5,10} = (m_y - 0,2511 m_x) = (-9,1051 + 0,2511 \cdot 29,6199) p_x^2 = -1,6675 p_x^2 = -1,6675 \cdot 196,3^2 = -2943 \text{ kpm/m},$$

$$(M_1)_{5,10} = -1,5 \cdot 2943 = 4414,5 \text{ kpm},$$

$$-S = +H = \frac{4414,5}{2,4} = 1841 \text{ kp}, \text{ trubka } \varnothing 60/6, F = 10,74 \text{ cm}^2, i = 2 \text{ cm}$$

$$\lambda = 150/2 = 75, c = 1,49,$$

$$\sigma = \frac{1841}{10,74} \cdot 1,33 = 172 \cdot 1,49 = 236 \text{ kp/cm}^2 < 2900 \text{ kp/cm}^2$$

tah vzpěr

Šikmé pásy pak mají

$$(m_2)_{5,10} = 0,6256 m_x + 1,2484 m_d = (-0,6256 \cdot 29,6199 - 1,2484 \cdot 1,0875) p_{\Delta x}^2$$

$$= -19,897 p_{\Delta x}^2 = -19,897 \cdot 196,3^2 = -35110 \text{ kpm/m},$$

$$(M_2)_{5,10} = -1,344 \cdot 35110 = -47200 \text{ kpm},$$

$$-S = +H = \frac{47200}{2,4} = 19650 \text{ kp}, \text{ trubka } \varnothing 60/6, \text{ a podle předchozího je}$$

$$\lambda = 168/2 = 84, c = 1,7$$

$$\sigma = \frac{19650}{10,7} \cdot 1,7 = 1837 \cdot 1,7 = 3125 \text{ kp/cm}^2 \approx 2900 \text{ kp/cm}^2$$

tah vzpěr

což dobře vyhoví byť s malým překročením avšak ještě daleko do vyčerpání meze průtažnosti. (3600 kp/cm²).

Podporový uzel 5,11 má

$$m_{x,5,11} = -34,8526 p_{\Delta x}^2, m_{y,5,11} = -22,8018 p_{\Delta x}^2,$$

$$(m_d)_{5,11} = \frac{1}{4} (0,5795 - 2,8083 - 0,4113 - 0,8712) p_{\Delta x}^2 = -0,6278 p_{\Delta x}^2,$$

$$(m_1)_{5,11} = (-22,8018 + 0,2511 \cdot 34,8526) p_{\Delta x}^2 = -13,3303 p_{\Delta x}^3,$$

$$(M_1)_{5,11} = -1,5 \cdot 13,3303 = -19,99545 p_{\Delta x}^2 =$$

$$= -19,99545 \cdot 196,3^2 = -35250 \text{ kpm},$$

$$-S = +H = \frac{35250}{2,4} = 14700 \text{ kp}, \text{ trubka } \varnothing 60/6, F = 10,7 \text{ cm}^2, i = 2 \text{ cm},$$

$$\lambda = 150/2 = 75, c = 1,49,$$

$$\sigma = \frac{14700}{10,7} \cdot 1,7 = 1372 \cdot 1,7 = 2340 \text{ kp/cm}^2 < 2900 \text{ kp/cm}^2,$$

takže vyhoví sama trubka bez podporové hvězdice. Dále je

$$(m_2)_{5,11} = (-0,6256 \cdot 22,8018 - 1,2484 \cdot 0,6278) p_{\Delta x}^2 = -14,555 p_{\Delta x}^2,$$

$$(M_2) = -1,344 \cdot 14,555 p_{\Delta x}^2 = -19,720 p_{\Delta x}^2, \text{ takže vyhoví jako shora.}$$

Z Á V Ě R . Různé předpoklady statického výpočtu, u expertní metody analogie kontinua méně detailní než u strojní maticové analýzy původního projektu, vedly někde k dosti odlišným početním výsledkům. Při tom je v obou případech zachována podmínka rovnováhy zatížení a reakcí a i poměr reakce sloupu blíže středu soustavy k reakci sloupu blíže kraje soustavy je u obou řešení téměř stejný. Nejmarkantněji se rozdíly v osových silách pásů projevily v oblasti středu celé soustavy, tedy v poli mezi čtyřmi středními sloupy, kde podle expertního výpočtu podle str.6 profily na spođu soustavy v tahu dobře vyhoví, horní pásy ve vzpěru směrem napříč soustavy vysoko výpočtovou únosnost (výpočtové namáhání) překročují; v šikmých směrech pásy mají v této exponované oblasti jistou rezervu únosnosti, takže lze uvážit možnou reologii vnitřních sil, kterou by se jednosměrné překročení dovolených hodnot vyrovnalo - když bychom chtěli dát váhu expertnímu výpočtu. Jinak však autor expertního výpočtu nemá důvodu popírat početní správnost původního výpočtu, který, jak shora uvedeno řeší prostorovou prutovou soustavu přímo a tedy za podrobnějších předpokladů. Na druhé straně však jeden z výzkumných úkolů Katedry ocelových konstrukcí VUT v Brně prokázal dobrou shodu v posuvech a v ohybových momentech s metodou analogie kontinua, které používá autor expertního posudku. Je otázka, nelze-li tuto okolnost přičíst tuhým styčnícím, jako jsou styčníky kulové, proti teoreticky uvažovaným a neprovedeným styčnícím kloubovým. Zde, zejména, když je už konstrukce na staveništi hotova, ^{zbývá} posoudit, zda konstrukce bezpečně unese uvažované zatížení. O místě s největším nesouhlasem obou výpočtů jsme se již vyjádřili shora. Další zkoumané místo je uprostřed spojnice středních sloupů podél soustavy (str.7) kde jsou poměry napjatosti velmi příznivé s velkou rezervou bezpečné únosnosti (uzel 0,11). Dále bylo posuzováno místo uprostřed spojnice středních sloupů napříč

soustavy (uzel 51, str.7 a 8) kde pruty napříč soustavy (osnova 1) dávají vypočtené napětí přesahující mez průtažnosti, za to však pásy šikmé (osnova 2 a 3) nejsou téměř napjaty a skýtají při tak násobně tvarově přeurčité soustavě bezpečnou rezervu k přeskupení vnitřních sil v případě, že by se konstrukce chovala jak počítá expertiza. Stejně poměry jsou v pruhu kolem příčné spojnice sloupů. Ve spojnici krajních sloupů napříč soustavy je tatáž situace v nepatrné napjatosti šikmých pásových osnov, avšak pásy běžící napříč soustavy jsou tam již napjaty na uspokojivou míru, pod mez průtažnosti s malým překročením výpočtového namáhání oceli 52, jež se udává hodnotou 2900 kp/cm^2 . V okolí podpor (uzel 5,10 a uzel 5,11) jsou podpory napjatosti i ve výpočtu expertizy zcela uspokojivé, totiž ve směru příčných pásů č.1 s velkou rezervou únosnosti, ve směru šikmém v pásích č.2 a 3 s malým překročením výpočtového namáhání avšak pod mezí průtažnosti - posuzujeme-li konstrukci v metodě mezních stavů. Diagonály zkoumány nebyly. V podporách jsou v nutném rozsahu posíleny podporovými růžicemi velmi silně dimenzovanými a jinak posouvající síly jsou v poli menší než síly pásové, zatímco pruty skladebných jehlanů jsou jak v pásích tak v diagonálách dány z výrovňích důvodů namnoze stejné.

Nakonec autor expertizy vyslovuje názor, že reálná konstrukce podle předloženého globálního posouzení je s te přenést bezpečně uvažované zatížení. Rozhodnutí, která metoda výpočtu lépe vystihuje skutečnost v té které konstrukční úpravě je věcí našeho dalšího zkoumání.

Přílohy:

13 dílů rovnicové matice
1 výkres soustavy

rukopisný originál výpočtu
diferenčních uzlových rovnic
(248 stran)

L.F. Auer
autor expertního posudku