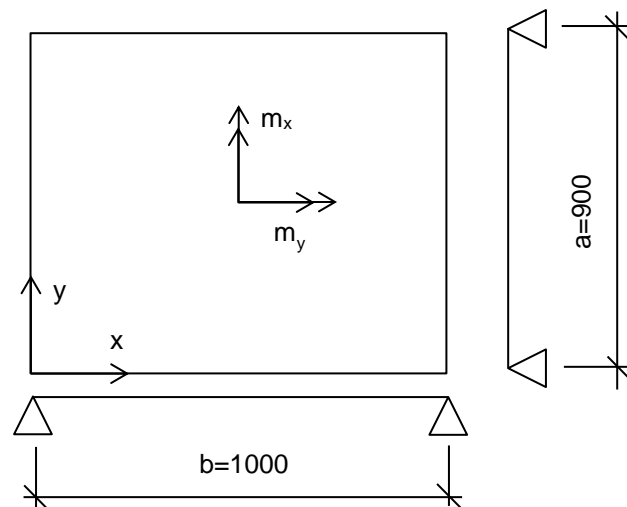


4. Pochozí skleněná deska v objektu muzea

Posuďte pochozí desku z vrstveného skla v objektu muzea. Posouzení provedte pro mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti podle zásad systému evropských norem v součinnosti s německými normami na skleněné konstrukce.

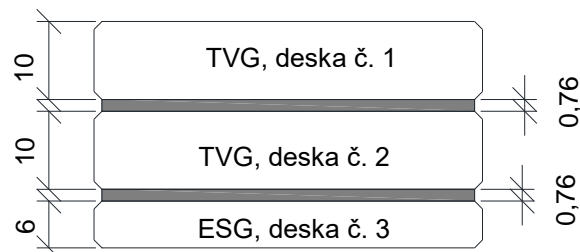
Pochozí desky z vrstveného skla o rozměrech $b = 1000 \text{ mm}$ a $a = 900 \text{ mm}$, viz obr. 4.1, jsou prostě uloženy na ocelovém roštu stropní konstrukce. Osová vzdálenost nosníků roštu je shodná s rozměry desky. Nosníky jsou uvažovány jako dostatečně tuhé a schopné zajistit nepoddajné obvodové podepření pro řešenou desku. Desky budou uloženy na horní pásnice válcovaných nosníků přes pryžovou podložku zabraňující kontaktu skla a oceli, viz obr. 4.2. Okraje desek budou lícovat s osou každého nosníku. Pochozí deska je tvořena třívrstevným sklem s PVB folií ve složení: tepelně zpevněné sklo (TVG) o tloušťce $t_1 = 10 \text{ mm}$ + folie PVB o tloušťce $t_{PVB} = 0,76 \text{ mm}$ + tepelně zpevněné sklo (TVG) o tloušťce $t_2 = 10 \text{ mm}$ + folie PVB + tepelně tvrzené sklo (ESG) o tloušťce $t_3 = 6 \text{ mm}$, viz obr. 4.3.



Obr. 4.1: Půdorysné rozměry skleněné desky podlahy a její lokální souřadný systém



Obr. 4.2: Detail uložení tabule podlahy na horní pásnici stropních nosníků



Obr. 4.3: Příčný řez deskou z vrstveného skla

4.1 Zatěžovací stavy

- **Vlastní tíha konstrukce – ZS1**

Objemová hmotnost skla činí $\rho_G = 2500 \text{ kg/m}^3$ (25 kN/m^3).

Plošné zatížení vlastní tíhou se určí jako:

$$g_k = \rho_G \cdot (t_1 + t_2 + t_3) = 25 \cdot (0,006 + 0,01 + 0,01) = 0,65 \text{ kN/m}^2$$

kde g_k je charakteristická hodnota plošného zatížení;

t_1 tloušťka vrchní skleněné desky;

t_2 tloušťka prostřední skleněné desky;

t_3 tloušťka spodní skleněné desky.

- **Rovnoměrné užité zatížení – ZS2**

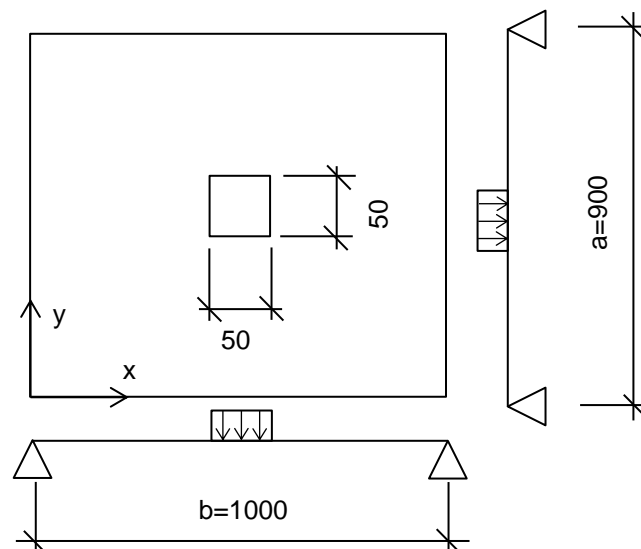
Z hlediska rovnoměrného užitého zatížení se zařazuje podlaha dle ČSN EN 1991-1-1, [1] do kategorie C3 – podlaha se nachází v muzeu.

Charakteristická hodnota rovnoměrného užitého zatížení na podestě $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$

- **Soustředěné užité zatížení – ZS3**

Podle normy ČSN EN 1991-1-1, [1], popř. DIN 18008-5, [2] je nutno desky podesty posoudit na lokální koncentrované užité zatížení.

Charakteristická hodnota tohoto zatížení je pro desky podesty $Q_k = 2,0 \text{ kN}$. Zatížení působí na ploše $50 \times 50 \text{ mm}$. Jeho umístění na konstrukci je nutné zvolit tak, aby vyvolalo maximální možné statické účinky. Pro tento příklad je rozhodující poloha lokálního břemene uprostřed desky, viz obr. 4.4.



Obr. 4.4: Pozice soustředěného zatížení

- **Zatížení poklesem podpory**

Svislé průhyby nosníků ocelového podpůrného roštu jsou pro naši navrhovanou desku zanedbatelné. V praxi mohou být nerovnoměrné poklesy podporových nosníků významné, zejména, jedná-li se o bodově podepřené skleněné desky. V těchto případech je nutné nerovnoměrné poklesy podporových terčů zahrnout do zatěžovacích stavů.

4.2 Kombinace zatěžovacích stavů

- **Kombinace zatěžovacích stavů na MSÚ**

Jednotlivé kombinace zatížení pro návrh konstrukce dle ČSN EN 1990, [3] jsou uvedeny v tab. 4.1.

Tab. 4.1: Kombinace zatěžovacích stavů na MSÚ

Číslo	Označení	Součinitel spolehlivosti pro stálé zatížení γ_G [-]	Součinitel spolehlivosti pro proměnné zatížení γ_Q [-]
KZ1	$\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k$	1,35	1,50
KZ2	$\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot Q_k$	1,35	1,50

- **Kombinace zatěžovacích stavů na MSÚ – nehodová situace**

Při porušení horní vrstvy tabule souvrství (např. náraz předmětu na skleněnou plochu, který má za následek narušení předpětí na povrchu tabule) je nutné ve výpočtu uvažovat tzv. nehodovou situaci. V praxi to znamená, že spodní vrstvy skla musí být schopny dále přenášet zatížení v mimořádné kombinaci, viz tab. 4.2.

Tab. 4.2: Mimořádná kombinace zatěžovacích stavů pro nehodovou situaci

Číslo	Označení	Součinitel spolehlivosti pro stálé zatížení γ_G [-]	Součinitel spolehlivosti pro proměnné zatížení γ_Q [-]
KZ3	$\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k$	1,0	0,5
KZ4	$\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot Q_k$	1,0	0,5

- **Kombinace zatěžovacích stavů na MSP**

Pro ověření použitelnosti konstrukce, a to zejména svislých průhybů je dle [3] uvažována charakteristická hodnota provozního zatížení. Kombinace zatěžovacích stavů na MSP jsou uvažovány dle tab. 4.3.

Tab. 4.3: Kombinace zatěžovacích stavů na MSP

Číslo	Označení	Součinitel spolehlivosti pro stálé zatížení γ_G [-]	Součinitel spolehlivosti pro proměnné zatížení γ_Q [-]
KZ5	$\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k$	1,0	1,0
KZ6	$\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot Q_k$	1,0	1,0

4.3 Materiálové vlastnosti

Minimální charakteristická pevnost tepelně tvrzeného sodnovápenatého skla je dle ČSN EN 12150-1, [4] $f_{b,k} = 120 \text{ N/mm}^2$. Minimální charakteristická pevnost v ohybu tepelně zpevněného sodnovápenokřemičitého skla je dle ČSN EN 1863-1, [5] $f_{g,k} = 70 \text{ N/mm}^2$. Materiálové vlastnosti skla a běžné PVB folie jsou shrnuty v tab. 4.4. Norma ČSN EN 572-1, [6] stanoví Youngův modul pružnosti skla jako $E = 70 \text{ GPa}$. Poissonovo číslo pro sklo je $\nu = 0,23$. Youngův modul pružnosti E a modul pružnosti ve smyku G folie byly uvažovány pro dlouhodobé zatížení.

Modul pružnosti skla ve smyku se určí jako:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{70}{2 \cdot (1 + 0,23)} = 28,46 \cdot 10^3 \text{ MPa}$$

kde ν je Poissonův součinitel.

Návrhová pevnost tepelně zpevněného skla v tahu se určí ze vztahu:

$$f_{b,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_c \cdot f_{b,k}}{\gamma_M} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 70}{1,5} = 46,67 \text{ MPa}$$

kde $f_{b,d}$ je návrhová hodnota pevnosti v ohybu;
 $f_{b,k}$ charakteristická hodnota pevnosti v ohybu;
 γ_M součinitel spolehlivosti materiálu (pro tepelně upravované sklo $\gamma_M = 1,5$);
 k_{mod} modifikační součinitel (pro tepelně upravované sklo se neuplatní);
 k_c konstrukční součinitel (pro tepelně upravované sklo $k_c = 1,0$).

Návrhová pevnost tepelně tvrzeného skla v ohybu se určí jako:

$$f_{b,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_c \cdot f_{b,k}}{\gamma_M} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 120}{1,5} = 80 \text{ MPa}$$

Tab. 4.4: Materiálové vlastnosti jednotlivých vrstev desky

Materiál	Modul pružnosti E [MPa]	Modul pružnosti ve smyku G [MPa]	Poissonův součinitel ν [-]	Objemová hmotnost γ [kN/m ³]
Sklo	70000	28460	0,23	25
PVB folie	0,03	0,01	0,499	10,7

4.4 Mezní stav únosnosti – běžný stav

Pro výpočet napětí, která jsou pro posudek rozhodující, je nutné stanovit měrné ohybové momenty m_x a m_y . Pro výpočet těchto momentů je konzervativně uvažováno, že jednotlivé desky v souvrství nespolutupůsobí. Zatížení se dle DIN 18008-2, [7] roznáší mezi jednotlivé vrstvy v poměru jejich ohybových tuhostí. Součinitel roznosu zatížení δ_i pro jednotlivé vrstvy se stanoví jako:

$$\delta_i = \frac{I_i}{I_1 + I_2 + I_3} = \frac{t_i^3}{t_1^3 + t_2^3 + t_3^3},$$

kde I_i je moment setrvačnosti na 1 m desky;

Pro jednotlivé vrstvy:

$$\delta_1 = \delta_2 = \frac{t_1^3}{t_1^3 + t_2^3 + t_3^3} = \frac{10^3}{10^3 + 10^3 + 6^3} = 0,45$$

$$\delta_3 = \frac{t_3^3}{t_1^3 + t_2^3 + t_3^3} = \frac{6^3}{10^3 + 10^3 + 6^3} = 0,1$$

Měrné průřezové moduly pro výpočet napětí z měrných ohybových momentů:

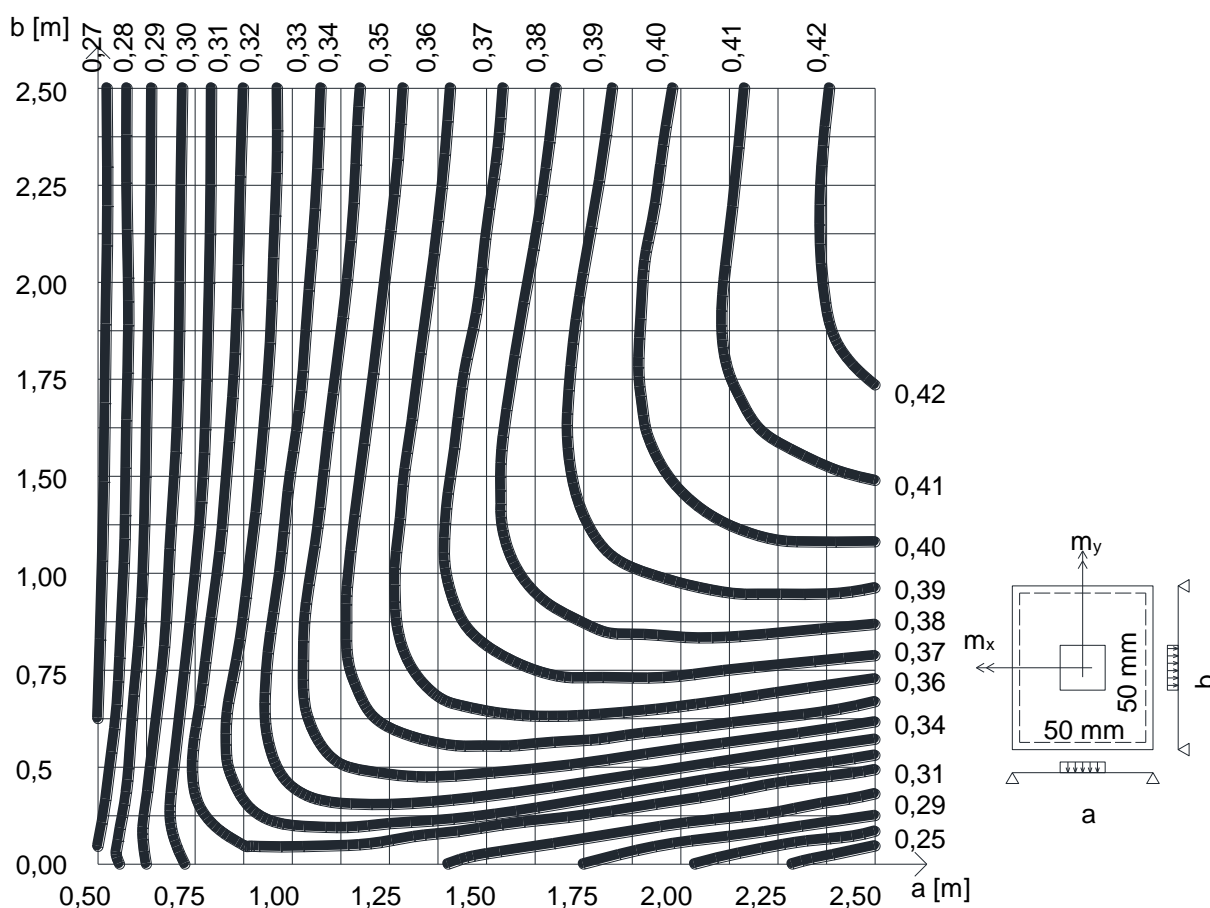
$$W_1 = W_2 = \frac{t_1^2}{6} = \frac{10^2}{6} = 16,7 \text{ mm}^3/\text{mm}$$

$$W_3 = \frac{t_3^2}{6} = \frac{6^2}{6} = 6,0 \text{ mm}^3/\text{mm}$$

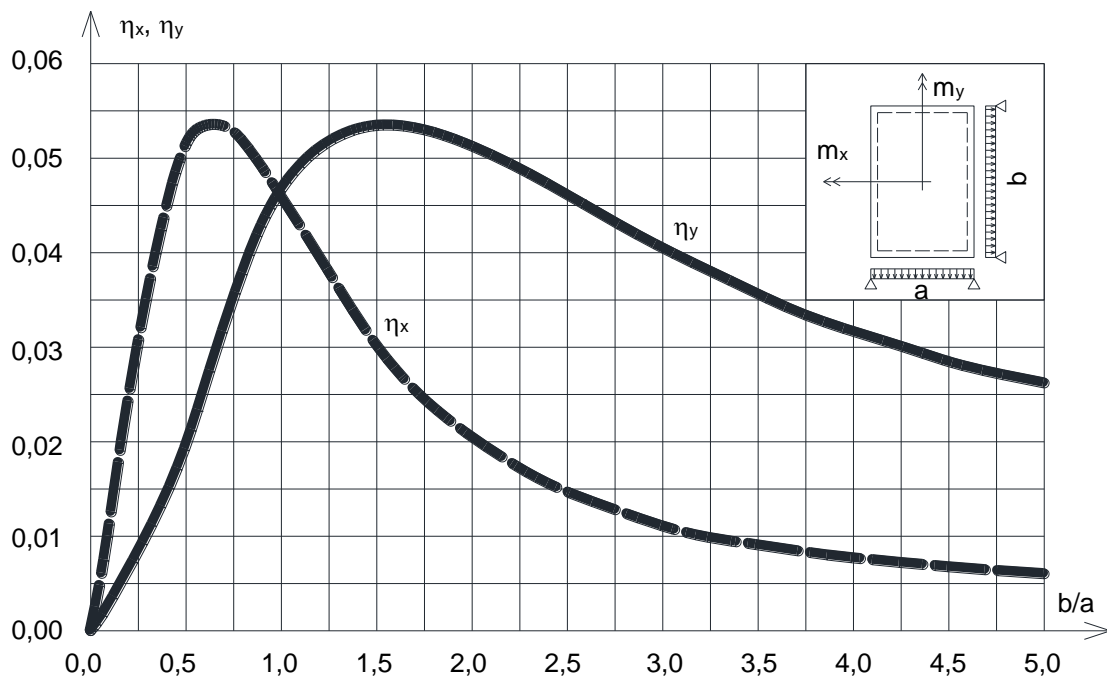
Pro stanovení měrných ohybových momentů na celém souvrství je nutné určit součinitele pro příčný roznos zatížení η_x a η_y . Součinitele příčného roznosu navíc závisí na typu působícího zatížení a v tomto příkladu jsou odečteny z grafů převzatých z publikace Glasbau-Praxis, [8]. Délka tabule souvrství je pro odečet hodnoty z tabulek uvažována $b = 1,0 \text{ m}$ a šířka souvrství je uvažována jako $a = 0,9 \text{ m}$. Grafy pro odečet hodnot součinitele η_x a η_y v MSÚ jsou uvedeny na obr. 4.5 a obr. 4.7 od lokálního břemene a na obr. 4.6 od rovnoměrného zatížení. Mezilehlé hodnoty lze získat lineární interpolací. Orientace souřadného systému a měrných ohybových momentů v grafech je shodná se souřadným systémem řešené desky.

Poměr stran b/a se určí jako:

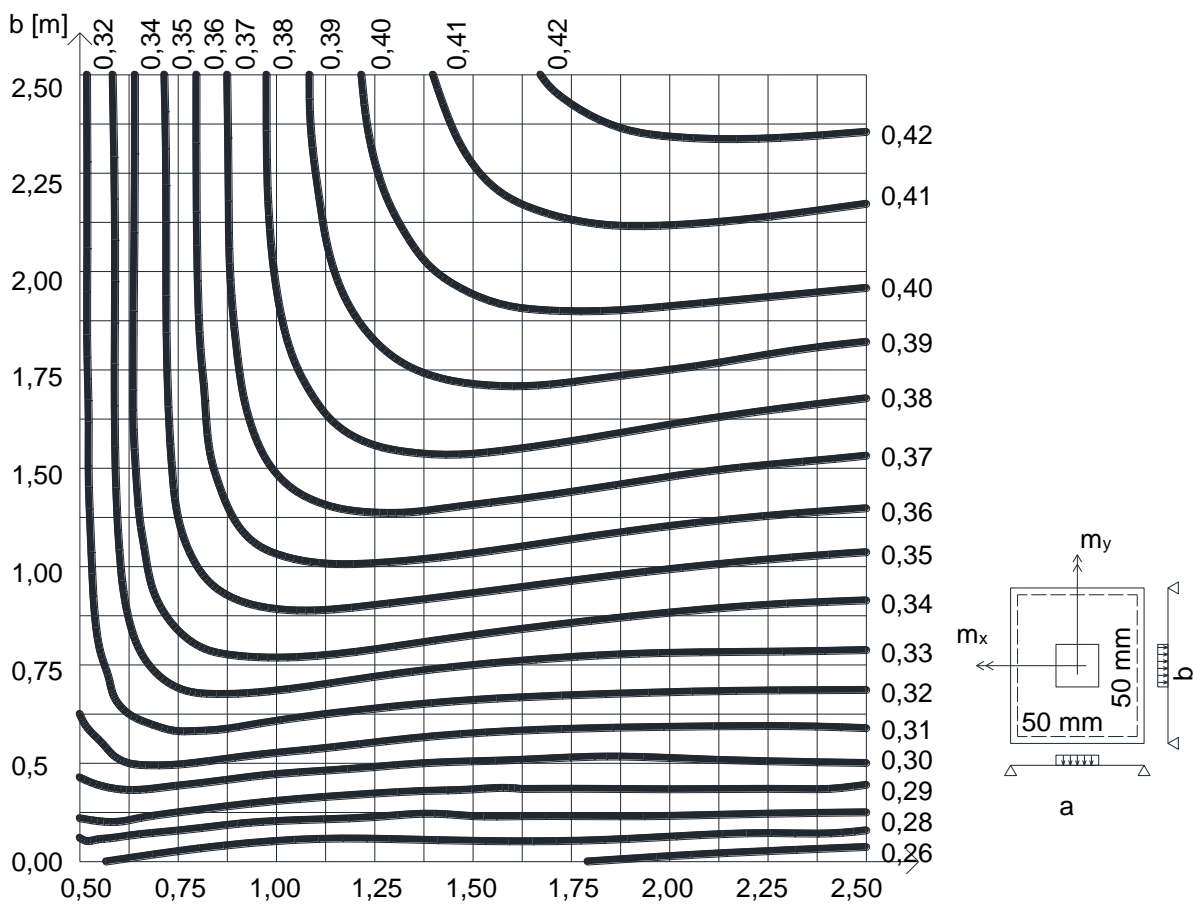
$$\frac{b}{a} = \frac{1,0}{0,9} = 1,11$$



Obr. 4.5: Graf pro odečet součinitelů roznosu zatížení $\eta_{x,Q}$ od lokálního břemene, [8]



Obr. 4.6: Graf pro odečet součinitelů roznosu η_x a η_y pro rovnoměrného zatížení, [8]



Obr. 4.7: Graf pro odečet součinitelů roznosu zatížení $\eta_{y,Q}$ od lokálního břemene, [8]

Pro výše uvedené rozměry navrhované desky lze z grafů odečíst následující hodnoty:

- Plošné zatížení

$$\eta_x = 0,042$$

$$\eta_y = 0,048$$

- Soustředěné zatížení

$$\eta_{x,Q} = 0,33$$

$$\eta_{x,Q} = 0,34$$

- **Kombinace KZ1**

Návrhová hodnota rovnoměrného zatížení:

$$f_d = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k = 1,35 \cdot 0,65 + 1,5 \cdot 5 = 8,4 \text{ kN/m}^2$$

Měrný ohybový moment pro celé souvrství uprostřed rozpětí se určí jako:

$$m_{x,Ed} = \eta_x \cdot a \cdot b \cdot f_d = 0,042 \cdot 900 \cdot 1000 \cdot 8,4 \cdot 10^{-3} = 317,5 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed} = \eta_y \cdot a \cdot b \cdot f_d = 0,048 \cdot 900 \cdot 1000 \cdot 8,4 \cdot 10^{-3} = 362,8 \text{ Nmm/mm}$$

Rozdělení celkového měrného ohybového momentu mezi jednotlivé vrstvy se provede podle:

$$m_{x,Ed,1} = m_{x,Ed,2} = m_{x,Ed} \cdot \delta_1 = 317,5 \cdot 0,45 = 142,9 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{x,Ed,3} = m_{x,Ed} \cdot \delta_3 = 317,5 \cdot 0,10 = 31,8 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed,1} = m_{y,Ed,2} = m_{y,Ed} \cdot \delta_1 = 362,8 \cdot 0,42 = 163,2 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed,3} = m_{y,Ed} \cdot \delta_3 = 362,8 \cdot 0,10 = 36,3 \text{ Nmm/mm}$$

Normálové napětí na jednotlivých vrstvách od měrných ohybových momentů se určí jako:

$$\sigma_{x,Ed,1,2} = \frac{m_{x,Ed,1,2}}{W_{1,2}} = \frac{142,9}{16,7} = 8,55 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed,3} = \frac{m_{x,Ed,3}}{W_3} = \frac{31,8}{6} = 5,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,Ed,1,2} = \frac{m_{y,Ed,1,2}}{W_{1,2}} = \frac{163,26}{16,7} = 9,77 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,Ed,3} = \frac{m_{y,Ed,3}}{W_3} = \frac{36,3}{6} = 6,0 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\sigma_{x,Ed,1,2} = 8,55 \text{ MPa} \leq 46,6 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{x,Ed,3} = 5,3 \text{ MPa} \leq 80,0 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{y,Ed,1,2} = 9,77 \text{ MPa} \leq 46,6 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{y,Ed,3} = 6,0 \text{ MPa} \leq 80,0 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- **Kombinace KZ2**
- Příspěvek vlastní tíhy

Návrhová hodnota rovnoměrného zatížení:

$$f_d = \gamma_G \cdot g_k = 1,35 \cdot 0,65 = 0,88 \text{ kN/m}^2$$

Měrný ohybový moment pro celé souvrství uprostřed rozpětí se určí jako:

$$m_{x,Ed} = \eta_x \cdot a \cdot b \cdot f_d = 0,042 \cdot 900 \cdot 1000 \cdot 0,88 \cdot 10^{-3} = 33,26 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed} = \eta_y \cdot a \cdot b \cdot f_d = 0,048 \cdot 900 \cdot 1000 \cdot 0,88 \cdot 10^{-3} = 38,02 \text{ Nmm/mm}$$

Rozdělení celkového měrného ohybového momentu mezi jednotlivé vrstvy se provede podle:

$$m_{x,Ed,1} = m_{x,Ed,2} = m_{x,Ed} \cdot \delta_1 = 33,26 \cdot 0,45 = 14,97 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{x,Ed,3} = m_{x,Ed} \cdot \delta_3 = 33,26 \cdot 0,10 = 3,33 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed,1} = m_{y,Ed,2} = m_{y,Ed} \cdot \delta_1 = 38,02 \cdot 0,45 = 17,11 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed,3} = m_{y,Ed} \cdot \delta_3 = 38,02 \cdot 0,10 = 3,80 \text{ Nmm/mm}$$

- Příspěvek soustředěného zatížení

Návrhová hodnota soustředěného zatížení:

$$Q_d = \gamma_q \cdot Q_k = 1,5 \cdot 2,0 = 3,0 \text{ kN}$$

Měrný ohybový moment pro celé souvrství uprostřed rozpětí se určí jako:

$$m_{x,Ed} = \eta_{x,Q} \cdot Q_d = 0,33 \cdot 3,00 \cdot 10^3 = 990 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed} = \eta_{y,Q} \cdot Q_d = 0,34 \cdot 3,00 \cdot 10^3 = 1020 \text{ Nmm/mm}$$

Rozdělení celkového měrného ohybového momentu mezi jednotlivé vrstvy se provede podle:

$$m_{x,Ed,1} = m_{x,Ed,2} = m_{x,Ed} \cdot \delta_1 = 990 \cdot 0,45 = 445,5 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{x,Ed,3} = m_{x,Ed} \cdot \delta_3 = 990 \cdot 0,10 = 99,0 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed,1} = m_{y,Ed,2} = m_{y,Ed} \cdot \delta_1 = 1020 \cdot 0,45 = 459,0 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed,3} = m_{y,Ed} \cdot \delta_3 = 1020 \cdot 0,10 = 102,0 \text{ Nmm/mm}$$

Normálové napětí na jednotlivých vrstvách od měrných ohybových momentů se určí jako:

$$\sigma_{x,Ed,1,2} = \frac{m_{x,Ed,1,2,q} + m_{x,Ed,1,2,Q}}{W_{1,2}} = \frac{14,97 + 445,5}{16,7} = 27,57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed,3} = \frac{m_{x,Ed,3,q} + m_{x,Ed,3,Q}}{W_3} = \frac{3,33 + 99,0}{6} = 17,06 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,Ed,1,2} = \frac{m_{y,Ed,1,2,q} + m_{y,Ed,1,2,Q}}{W_{1,2}} = \frac{17,11 + 459,0}{16,7} = 28,50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,Ed,3} = \frac{m_{y,Ed,3,q} + m_{y,Ed,3,Q}}{W_3} = \frac{3,8 + 102,0}{6} = 17,63 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\sigma_{x,Ed,1,2} = 27,57 \text{ MPa} \leq 46,6 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{x,Ed,3} = 17,06 \text{ MPa} \leq 80,0 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{y,Ed,1,2} = 28,5 \text{ MPa} \leq 46,6 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{y,Ed,3} = 17,63 \text{ MPa} \leq 80,0 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4.5 Mezní stav únosnosti – nehodová situace

Při rozbití horní tabule skla zůstávají aktivní spodní dvě vrstvy (TVG+ESG), které musí vyhovět na mimořádnou kombinaci zatížení. Součinitelé roznosu příčného zatížení v nehodové situaci η_x a η_y pro rovnoměrné zatížení a lokální břemeno jsou shodné se součiniteli v MSÚ. Ohybové momenty na desce se rozdělují na zbylé vrstvy podle poměru jejich tuhostí. Součinitele roznosu zatížení δ_i se pro zbylé vrstvy stanoví jako:

$$\delta_2 = \frac{10^3}{10^3 + 6^3} = 0,82$$

$$\delta_3 = \frac{6^3}{10^3 + 6^3} = 0,18$$

- **Kombinace KZ3**

Návrhová hodnota rovnoměrného zatížení:

$$f_d = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k = 1,0 \cdot 0,65 + 0,5 \cdot 5,0 = 3,15 \text{ kN/m}^2$$

Měrný ohybový moment pro celé souvrství uprostřed rozpětí se určí jako:

$$m_{x,Ed} = \eta_x \cdot a \cdot b \cdot f_d = 0,042 \cdot 900 \cdot 1000 \cdot 3,15 \cdot 10^{-3} = 119,1 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed} = \eta_y \cdot a \cdot b \cdot f_d = 0,048 \cdot 900 \cdot 1000 \cdot 3,15 \cdot 10^{-3} = 136,1 \text{ Nmm/mm}$$

Rozdělení celkového měrného ohybového momentu pro vrstvu č. 2 se provede podle:

$$m_{x,Ed,2} = m_{x,Ed} \cdot \delta_2 = 119,1 \cdot 0,82 = 97,6 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed,2} = m_{y,Ed} \cdot \delta_2 = 136,1 \cdot 0,82 = 111,6 \text{ Nmm/mm}$$

Rozdělení celkového měrného ohybového momentu pro vrstvu č. 3 se provede podle:

$$m_{x,Ed,3} = m_{x,Ed} \cdot \delta_3 = 119,1 \cdot 0,18 = 21,4 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed,3} = m_{y,Ed} \cdot \delta_3 = 136,1 \cdot 0,18 = 24,5 \text{ Nmm/mm}$$

Normálové napětí na jednotlivých vrstvách od měrných ohybových momentů se určí jako:

$$\sigma_{x,Ed,2} = \frac{m_{x,Ed,2}}{W_2} = \frac{97,6}{16,7} = 5,84 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed,3} = \frac{m_{x,Ed,3}}{W_3} = \frac{21,4}{6} = 3,57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,Ed,2} = \frac{m_{y,Ed,2}}{W_2} = \frac{111,6}{16,7} = 6,70 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,Ed,3} = \frac{m_{y,Ed,3}}{W_3} = \frac{24,5}{6} = 4,08 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\sigma_{x,Ed,2} = 5,84 \text{ MPa} \leq 46,6 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{x,Ed,3} = 3,57 \text{ MPa} \leq 80,0 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{y,Ed,2} = 6,70 \text{ MPa} \leq 46,6 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{y,Ed,3} = 4,08 \text{ MPa} \leq 80,0 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- **Kombinace KZ4**
- Příspěvek vlastní tíhy

Návrhová hodnota rovnoměrného zatížení:

$$g_d = \gamma_G \cdot g_k = 1,0 \cdot 0,65 = 0,65 \text{ kN/m}^2$$

Měrný ohybový moment pro celé souvrství uprostřed rozpětí se určí jako:

$$m_{x,Ed} = \eta_x \cdot a \cdot b \cdot g_d = 0,042 \cdot 900 \cdot 1000 \cdot 0,65 \cdot 10^{-3} = 24,57 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed} = \eta_y \cdot a \cdot b \cdot g_d = 0,048 \cdot 900 \cdot 1000 \cdot 0,65 \cdot 10^{-3} = 28,08 \text{ Nmm/mm}$$

Rozdělení celkového měrného ohybového momentu pro vrstvu č. 2 se provede podle:

$$m_{x,Ed,2} = m_{x,Ed} \cdot \delta_2 = 24,57 \cdot 0,82 = 20,1 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed,2} = m_{y,Ed} \cdot \delta_2 = 28,08 \cdot 0,82 = 23,0 \text{ Nmm/mm}$$

Rozdělení celkového měrného ohybového momentu pro vrstvu č. 3 se provede podle:

$$m_{x,Ed,3} = m_{x,Ed} \cdot \delta_3 = 24,57 \cdot 0,18 = 4,4 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed,3} = m_{y,Ed} \cdot \delta_3 = 28,08 \cdot 0,18 = 5,0 \text{ Nmm/mm}$$

- Příspěvek soustředěného zatížení

Návrhová hodnota soustředěného zatížení:

$$Q_d = \gamma_q \cdot Q_k = 0,5 \cdot 2,0 = 1,0 \text{ kN}$$

Měrný ohybový moment pro celé souvrství uprostřed rozpětí se určí jako:

$$m_{x,Ed} = \eta_{x,Q} \cdot Q_d = 0,33 \cdot 1,00 \cdot 10^3 = 330 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed} = \eta_{y,Q} \cdot Q_d = 0,34 \cdot 1,00 \cdot 10^3 = 340 \text{ Nmm/mm}$$

Rozdělení celkového měrného ohybového momentu pro vrstvu č. 2 se provede podle:

$$m_{x,Ed,2} = m_{x,Ed} \cdot \delta_2 = 330 \cdot 0,82 = 270,6 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed,2} = m_{y,Ed} \cdot \delta_2 = 340 \cdot 0,82 = 278,8 \text{ Nmm/mm}$$

Rozdělení celkového měrného ohybového momentu pro vrstvu č. 3 se provede podle:

$$m_{x,Ed,3} = m_{x,Ed} \cdot \delta_3 = 330 \cdot 0,18 = 59,4 \text{ Nmm/mm}$$

$$m_{y,Ed,3} = m_{y,Ed} \cdot \delta_3 = 340 \cdot 0,18 = 61,2 \text{ Nmm/mm}$$

Normálové napětí na jednotlivých vrstvách od měrných ohybových momentů se určí jako:

$$\sigma_{x,Ed,2} = \frac{m_{x,Ed,q,2} + m_{x,Ed,Q,2}}{W_2} = \frac{20,1 + 270,6}{16,7} = 17,40 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed,3} = \frac{m_{x,Ed,q,3} + m_{x,Ed,Q,3}}{W_3} = \frac{4,4 + 59,4}{6} = 10,63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,Ed,2} = \frac{m_{y,Ed,q,2} + m_{y,Ed,Q,2}}{W_2} = \frac{23,0 + 278,8}{16,7} = 18,07 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,Ed,3} = \frac{m_{y,Ed,q,3} + m_{y,Ed,Q,3}}{W_3} = \frac{5,0 + 61,2}{6} = 11,04 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\sigma_{x,Ed,2} = 17,4 \text{ MPa} \leq 46,6 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

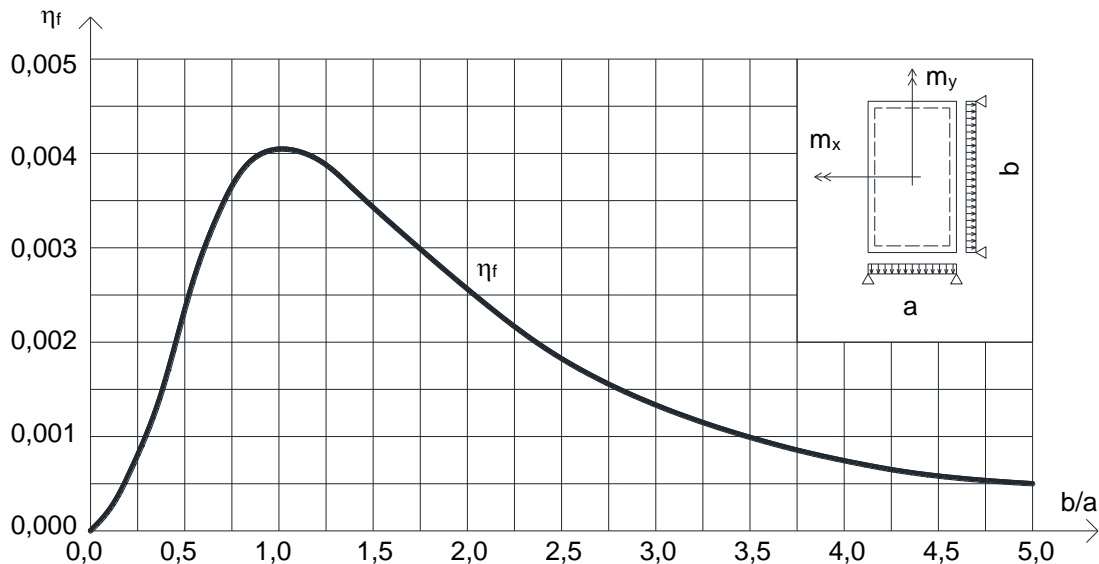
$$\sigma_{x,Ed,3} = 10,63 \text{ MPa} \leq 80,0 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{y,Ed,2} = 18,07 \text{ MPa} \leq 46,6 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

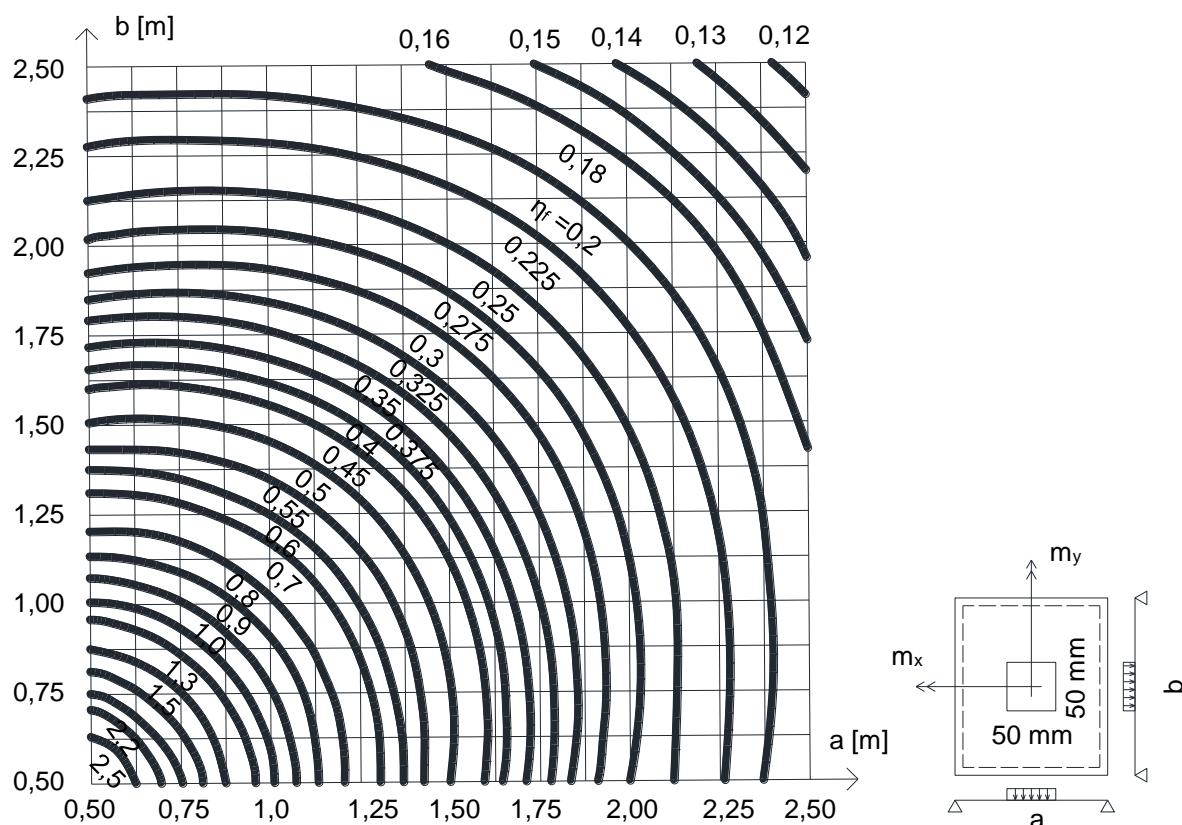
$$\sigma_{y,Ed,3} = 11,04 \text{ MPa} \leq 80,0 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4.6 Mezní stav použitelnosti

Z hlediska MSP bude posouzen průhyb skleněné desky, který je omezen hodnotou $w_{lim} = L/200$ podle DIN 18008-2, [7]. Součinitel příčného roznosu zatížení pro výpočet průhybu η_f od rovnoměrného zatížení lze odečíst z grafu na obr. 4.8 a pro výpočet průhybu $\eta_{f,Q}$ od lokálního břemene z grafu na obr. 4.9. Mezi mezilehlými hodnotami lze lineárně interpolovat. Orientace souřadného systému a měrných ohybových momentů v grafech je shodná se souřadným systémem řešené desky. Poměr $b/a = 1/0,9 = 1,11$



Obr. 4.8: Graf pro odečet součinitelů η_f pro stanovení průhybu od rovnoměrného zatížení, [8]



Obr. 4.9: Graf pro odečet součinitelů $\eta_{f,Q}$ pro stanovení průhybu od soustředěného zatížení, [8]

Hodnoty součinitelů uvažované desky pro výpočet průhybů jsou pro

- Plošné zatížení

$$\eta_f = 0,004$$

- Soustředěné zatížení

$$\eta_{f,Q} = 0,80$$

- **Kombinace KZ5**

Návrhová hodnota rovnoměrného zatížení pro charakteristickou kombinaci:

$$f_k = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k = 1,0 \cdot 0,65 + 1,0 \cdot 5 = 5,65 \text{ kN/m}^2$$

Srovnávací tloušťka monolitické desky t^* , která vykazuje stejné průhyby jako celé souvrství:

$$t^* = \sqrt[3]{\sum_{k=1}^n t_k^3} = \sqrt[3]{10^3 + 10^3 + 6^3} = 13,0 \text{ mm}$$

Desková tuhost K monolitické skleněné desky o tloušťce t^* :

$$K = \frac{E \cdot t^{*3}}{12 \cdot (1 - \nu^2)} = \frac{70000 \cdot 13^3}{12 \cdot (1 - 0,23^2)} = 1,353 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

Průhyb této skleněné desky je určen vztahem:

$$w = \frac{a^2 \cdot b^2}{K} \cdot \eta_f \cdot f_k = \frac{900^2 \cdot 1000^2}{1,353 \cdot 10^7} \cdot 0,004 \cdot 5,65 \cdot 10^{-3} = 1,35 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$w = 1,35 \text{ mm} \leq w_{lim} = \frac{900}{200} = 4,5 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- **Kombinace KZ6**

Celkový průhyb od dané kombinace bude vypočten jako součet průhybu od stálého zatížení a od soustředěného zatížení. Lineární výpočet umožňuje superpozici účinků zatížení, tedy účinky jednotlivých zatěžovacích stavů na konstrukci je možné sečíst.

- Příspěvek vlastní tíhy

Průhyb desky o srovnávací tloušťce t^* a tuhosti K , která vykazuje stejný průhyb jako celé souvrství, je určen vztahem:

$$w_1 = \frac{a^2 \cdot b^2}{K} \cdot \eta_f \cdot g_k = \frac{900^2 \cdot 1000^2}{1,353 \cdot 10^7} \cdot 0,004 \cdot 0,65 \cdot 10^{-3} = 0,16 \text{ mm}$$

- Příspěvek soustředěného zatížení

Lokální koncentrované zatížení 2,0 kN působí na ploše o velikosti 50 x 50 mm. Aby mohl být vypočten průhyb od tohoto zatížení umístěného uprostřed rozpětí, je nutné toto zatížení převést na zatížení plošné:

$$q_k = \frac{Q_k}{A} = \frac{2,0}{0,05 \cdot 0,05} = 800 \text{ kN/m}^2$$

Průhyb od koncentrovaného plošného zatížení lze poté pro desku o srovnávací tloušťce t^* vypočítat jako:

$$w_2 = \frac{1}{25000} \frac{a^2 \cdot b^2}{K} \cdot \eta_{f,q} \cdot q_k = \frac{1}{25000} \frac{900^2 \cdot 1000^2}{1,353 \cdot 10^7} \cdot 0,8 \cdot 800 \cdot 10^{-3} = 1,53 \text{ mm}$$

Celková hodnota průhybu se určí jako:

$$w_c = w_1 + w_2 = 0,16 + 1,53 = 1,7 \text{ mm}$$

Posouzení celkového průhybu:

$$w_c = 1,7 \text{ mm} \leq w_{lim} = \frac{a}{200} = \frac{900}{200} = 4,5 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4.7 Literatura

- [1] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. 2004. Český normalizační institut
- [2] DIN 18008-5. *Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln – Teil 5: Zusatzanforderungen an begehbare Verglasungen*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V., 2013
- [3] ČSN EN 1990, *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015
- [4] ČSN EN 12150-1, *Sklo ve stavebnictví – Tepelně tvrzené sodnovápenatokřemičité bezpečnostní sklo: Část 1: Definice a popis*, 2016. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
- [5] ČSN EN 1863-1, *Sklo ve stavebnictví – Tepelně zpevněné sodnovápenatokřemičité sklo: Část 1: Definice a popis*, 2012. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

- [6] ČSN EN 572-1:2012: *Sklo ve stavebnictví – Základní výrobky ze sodnovápenatokřemičitého skla – Část 1: Definice a obecné fyzikální a mechanické vlastnosti*, 2012. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
- [7] DIN 18008-2. *Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln: Teil 2: Linienförmig gelagerte Verglasungen*. 1. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V., 2010
- [8] WELLER, Bernhard, Michael ENGELMANN, Felix NICKLISCH a Thorsten WEIMAR, 2012. *Glasbau-Praxis: Konstruktion und Bemessung*. Band 2. 3. Aufl. Berlin: Beuth Bauwerk. ISBN 9783410221975