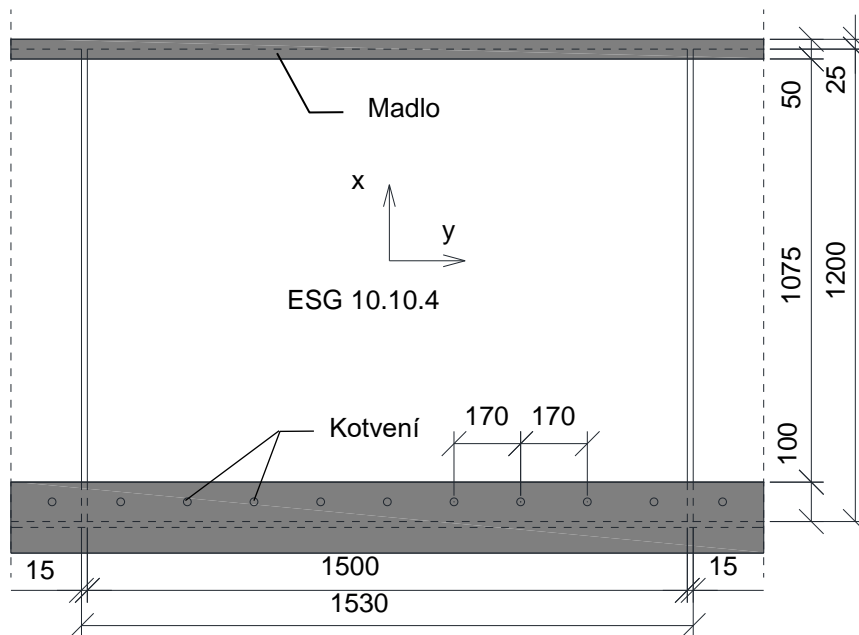
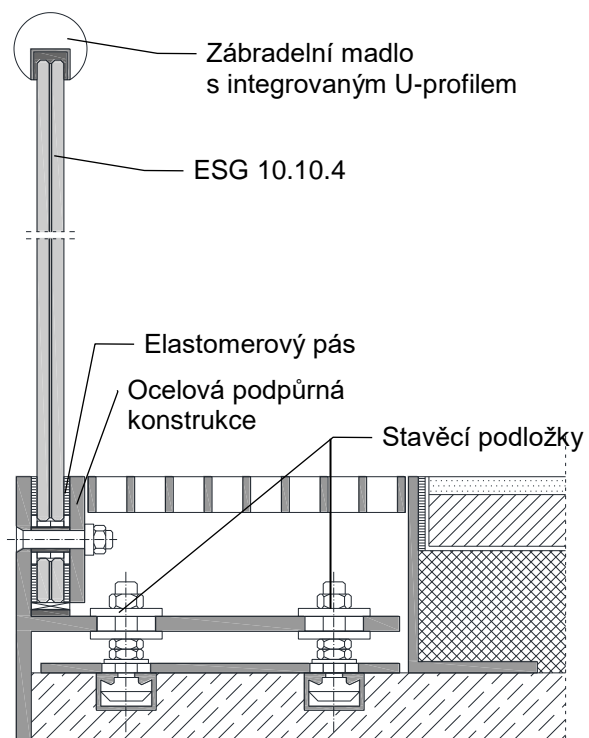


5. Vetknuté zábradlí z vrstveného skla

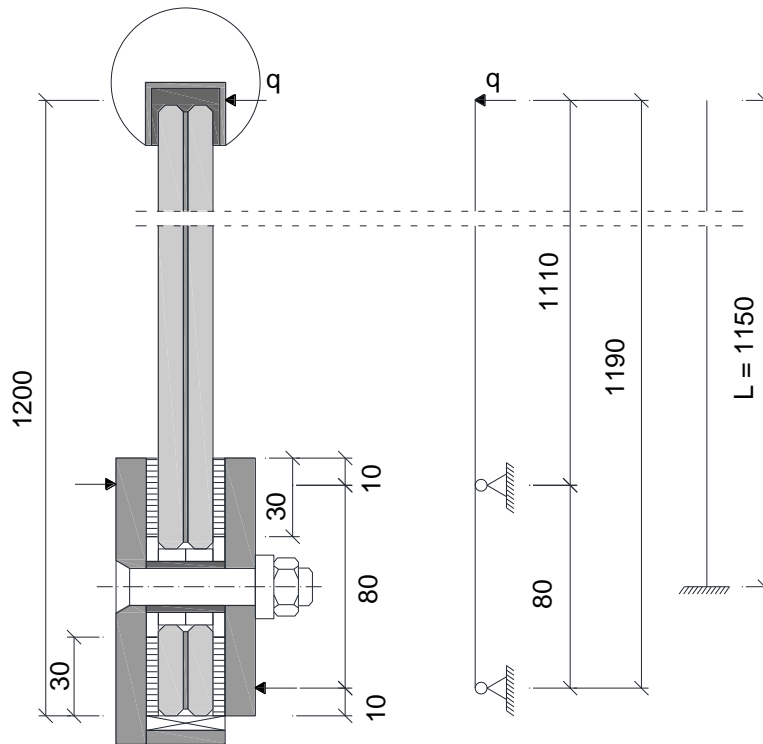
Posuďte vetknuté zábradlí z vrstveného skla, viz obr. 5.1. Posouzení provedte podle soustavy platných norem ČSN EN a DIN.



Obr. 5.1: Pohled na konstrukci zábradlí

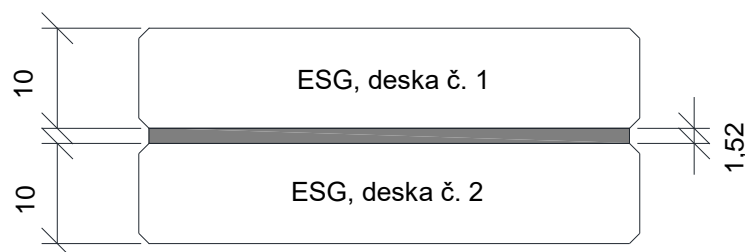


Obr. 5.2: Příčný řez zábradelní a podpůrné konstrukce



Obr. 5.3: Příčný řez zábradelní konstrukcí, detail uložení desky

Posuzovaná zábradelní deska z dvouvrstvého skla o rozměrech **1500 x 1200 mm** se nachází v muzeu. Zábradlí je tvořeno dvěma deskami z tepelně tvrzeného skla spojených polymerní PVB folií. Příčný řez podpůrné a zábradelní konstrukce je na obr. 5.2. Tloušťka jedné tabule skla je $t = 10$ mm, tloušťka PVB folie je **1,52 mm**. Deska je upnuta do podpůrné ocelové konstrukce pomocí šroubů M20 probíhajícími tuhým úložným pouzdrem s **30 mm** širokými elastomerovými pásy, viz obr. 5.3. Na horní hraně zábradelních desek je nasazené madlo, kterým jsou jednotlivé desky spojeny. Na obr. 5.3 je zobrazeno uvažované statické schéma zábradelní tabule včetně uvažovaného působíště zatížení a reakcí v úložném pouzdře. Vzhledem k poměrně malé osové vzdálenosti kotevních šroubů – 170 mm v podélném směru bude tabule pro posouzení v úrovni těchto šroubů zjednodušeně uvažována jako vetknutá o délce vyložení $L = 1,15$ m. Vetknutí je z důvodu nejasného působení reakcí v úložném pouzdře konzervativně vztaženo k úrovni kotevních šroubů, což vede k vyšším ohybovým momentům a vyššímu vodorovnému průhybu v úrovni madla.



Obr. 5.4: Složení vrstveného skla

Zábradlí je uvažováno jako průběžné, spojené madlem. Posouzení je tedy provedeno na 1 m jeho šířky.

5.1 Zatížení

- **Vlastní tíha zábradlí**

Vlastní tíha tabule působí v její střednicové rovině směrem ke kotvení a je možné ji proto zanedbat.

- **Užitné zatížení**

Zábradelní konstrukce se nachází v muzeu, které je dle ČSN EN 1991-1-1, [1] z hlediska užitného zatížení zařazeno do kategorie C3. Charakteristická hodnota vodorovného liniového užitného zatížení působícího v úrovni madla je $q_k = 1,0 \text{ kN/m}$.

Pozn.: U zábradelních desek, které se nacházejí např. naproti schodišťovému rameni nebo jsou z hlediska bezpečnosti významné, se ověřuje spolehlivost na rázové zatížení dle DIN 18008-4, [2].

- **Klimatická zatížení**

Vzhledem k umístění desky v interiéru muzea nebudou uvažována klimatická zatížení.

5.2 Kombinace zatížení

Zábradelní tabule je namáhána pouze užitným zatížením. Pro ověření v mezním stavu únosnosti bude zatížení zvětšeno součinitelem $\gamma_q = 1,5$. Pro ověření skleněné tabule v mezním stavu použitelnosti bude uvažována charakteristická hodnota užitného zatížení, tj. $\gamma_q = 1,0$, viz tab. 5.1.

Tab. 5.1: Kombinace zatěžovacích stavů

Číslo	Označení	Mezní stav
KZ1	$\gamma_q \cdot q_k$	MSÚ
KZ2	$\gamma_q \cdot q_k$	MSP

5.3 Materiálové charakteristiky skla

Pro návrh skleněné zábradelní desky bylo zvoleno tepelně tvrzené sklo. Minimální charakteristická pevnost tepelně tvrzeného plaveného skla je dle ČSN EN 12150-1, [3] $f_{b,k} = 120 \text{ MPa}$. Youngův modul pružnosti jako $E = 70 \text{ GPa}$ a Poissonův součinitel $\nu = 0,23$. Modul pružnosti ve smyku se určí jako:

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

Určení návrhové hodnoty pevnosti skla bylo provedeno pomocí postupu uvedeného v DIN 18008-1, [4] jako:

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

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

5.4 Mezní stav únosnosti

Pro výpočet vnitřních sil je zábradelní deska zjednodušeně uvažována jako vetknutá do podpůrné konstrukce v úrovni kotevních šroubů. Vzhledem ke způsobu namáhání vodorovným užitečným zatížením v úrovni madla lze ve vetknutí zjednodušeně uvažovat jednoosou napjatost a rovnoměrně rozložené normálové napětí v krajních vláknech desky po její délce. V krajních vláknech je nulové smykové napětí, vypočtená normálová napětí lze považovat za napětí hlavní.

Dle DIN 18008-1, [4] se nesmí při výpočtu napětí uvažovat smykové spojení mezi jednotlivými vrstvami desky. Výpočet normálového napětí jednotlivých vrstev skla v kotvení tabule bude tedy uvažován pro jednotlivé vrstvy odděleně, ohybový moment bude rozdělen mezi jednotlivé vrstvy v poměru jejich ohybových tuhostí, tzn. 1:1 pro vrstvenou desku složenou z tabulí o stejné tloušťce. V posouzeních bude dosazováno v N, mm a MPa.

Návrhový ohybový moment na 1 m šířky desky pro jednu vrstvu skla ve vetknutí:

$$m_{x,Ed} = \frac{1}{2} \cdot q_k \cdot \gamma_Q \cdot L \cdot b = \frac{1,0 \cdot 1,5 \cdot 1150 \cdot 1000}{2} = 0,860 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 0,86 \text{ kNm}$$

Průřezový modul jedné vrstvy skla šířky 1 m:

$$W = \frac{b \cdot t^2}{6} = \frac{1000 \cdot 10^2}{6} = 16,666 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Normálové napětí v krajních vláknech desky:

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{m_{x,Ed}}{W} = \frac{0,860 \cdot 10^6}{16,666 \cdot 10^3} = 51,6 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\sigma_{x,Ed} = 51,6 \text{ MPa} \leq 80 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

5.5 Nehodová situace

V případě rozbití jedné tabule skla musí být zbývající neporušená tabule schopná přenést charakteristické užitečné zatížení dle DIN 18008-1, [4]. V nehodové situaci jsou uvažovány součinitelé spolehlivosti zatížení $\gamma_q = 1,0$.

Návrhový ohybový moment pro 1 m zbývající vrstvy skla ve vetknutí:

$$m_{x,EdA} = q_k \cdot \gamma_q \cdot L \cdot b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1150 \cdot 1000 = 1,150 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 1,15 \text{ kNm}$$

Normálové napětí v krajních vláknech zbývající vrstvy skla:

$$\sigma_{x,EdA} = \frac{m_{x,EdA}}{W} = \frac{1,150 \cdot 10^6}{16,666 \cdot 10^3} = 69,0 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\sigma_{x,Ed} = 69,0 \text{ MPa} \leq 80 \text{ MPa} = f_{b,d} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

5.6 Mezní stav použitelnosti

V jednotlivých částech normy DIN 18008 nejsou uvedeny žádná doporučení a limity, které by omezovaly hodnotu vodorovného průhybu od charakteristického užitečného zatížení na zábradlí. Výpočet průhybu bude opět proveden pro jednu desku v souvrství za předpokladu, že se vodorovné užitečné zatížení roznese mezi obě desky v poměru jejich ohybových tuhostí (pro dvě desky stejné tloušťky v poměru 1:1). Příznivý vliv smykové tuhosti folie mezivrstvy bude dle DIN 18008-1, [4] opět zanedbán.

Moment setrvačnosti na 1 m šířky desky pro výpočet průhybu:

$$I = \frac{b \cdot t^3}{12} = \frac{1000 \cdot 10^3}{12} = 8,3333 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

Vztah pro výpočet průhybu konzoly, která je zatížena svislou silou působící na konci, je možné odvodit na základě diferenciální rovnice ohybové čáry nosníku nebo z principu virtuálních sil jako:

$$w_z = \frac{0,5 \cdot q_k \cdot b \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{0,5 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 1150^3}{3 \cdot 70000 \cdot 8,3333 \cdot 10^4} = 43,0 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$w_z = 43 \text{ mm} > w_{lim} = \frac{L}{50} = \frac{1150}{50} = 23 \text{ mm} \Rightarrow \text{NEVYHOVUJE}$$

Doporučená hodnota vodorovné deformace zábradlí v úrovni madla je 1/50 jeho výšky, kterou posuzované zábradlí nesplňuje. Vypočtený průhyb odpovídá 1/27 vyložení konzoly. Zábradelní madlo vypočtené hodnoty vodorovných deformací zpravidla snižuje, vyložení zábradelní konzoly je navíc uvažováno konzervativně v úrovni kotevních šroubů. Pro redukci deformací by bylo nutné zvětšit tloušťku skla posuzované tabule.

5.7 Literatura

- [1] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitečná zatížení pozemních staveb*. 2004. Český normalizační institut
- [2] DIN 18008-4. *Glas im Bauwesen - Bemessungs und Konstruktionsregeln: Teil 4: Zusatzanforderungen an absturzichernde Verglasungen*. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2013
- [3] 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
- [4] DIN 18008-1. *Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln –: Teil 1: Begriffe und allgemeine Grundlagen*. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2011