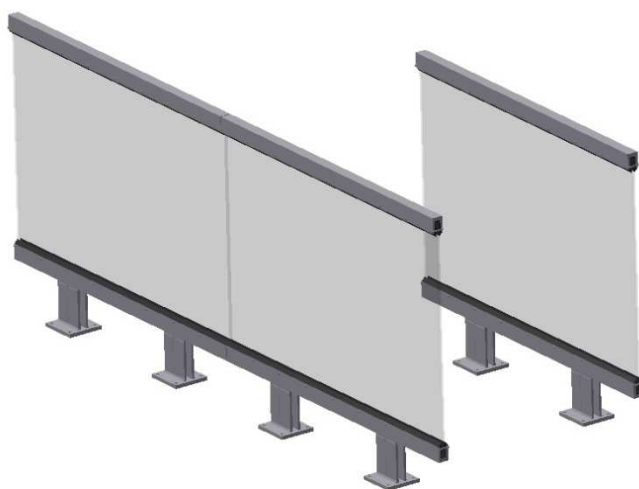


BALKON SYSTÉM s.r.o.  
Děpoltovice 119  
362 25 Nová Role

## STATICKÝ VÝPOČET SKLO – HLINÍKOVÉHO ZÁBRADLÍ



## Obsah

|  |    |
|--|----|
| Obsah.....                             | 1  |
| 1. Úvod.....                           | 2  |
| 2. Cíl výpočtů.....                    | 3  |
| 3. Výpočet skleněné výplně .....       | 5  |
| 3.1 Materiál.....                      | 5  |
| 3.2 Okrajové podmínky a zatížení ..... | 5  |
| 3.3 Výpočty .....                      | 5  |
| 4. Výpočet základny.....               | 7  |
| 4.1 3D Model a základní rozměry .....  | 7  |
| 4.2 Materiál.....                      | 8  |
| 4.3 Síť .....                          | 8  |
| 4.4 Okrajové podmínky .....            | 9  |
| 4.5 Zatížení .....                     | 11 |
| 4.5.1 Svislé zatížení.....             | 11 |
| 4.5.2 Vodorovné zatížení .....         | 12 |
| 4.6 Výpočty .....                      | 14 |
| 5. Výpočet úchytných šroubů .....      | 18 |
| 5.1 Materiál.....                      | 18 |
| 5.2 Okrajové podmínky a zatížení ..... | 18 |
| 5.3 Výpočty .....                      | 18 |
| 6. Shrnutí výsledků .....              | 20 |
| 7. Závěr .....                         | 21 |
| 8. Přílohy .....                       | 22 |
| 9. Seznam použité literatury .....     | 23 |

## 1. Úvod

Tato zpráva se zabývá pevnostním výpočtem zábradlí, které kombinuje vlastnosti několika materiálů; skla a hliníkové slitiny.

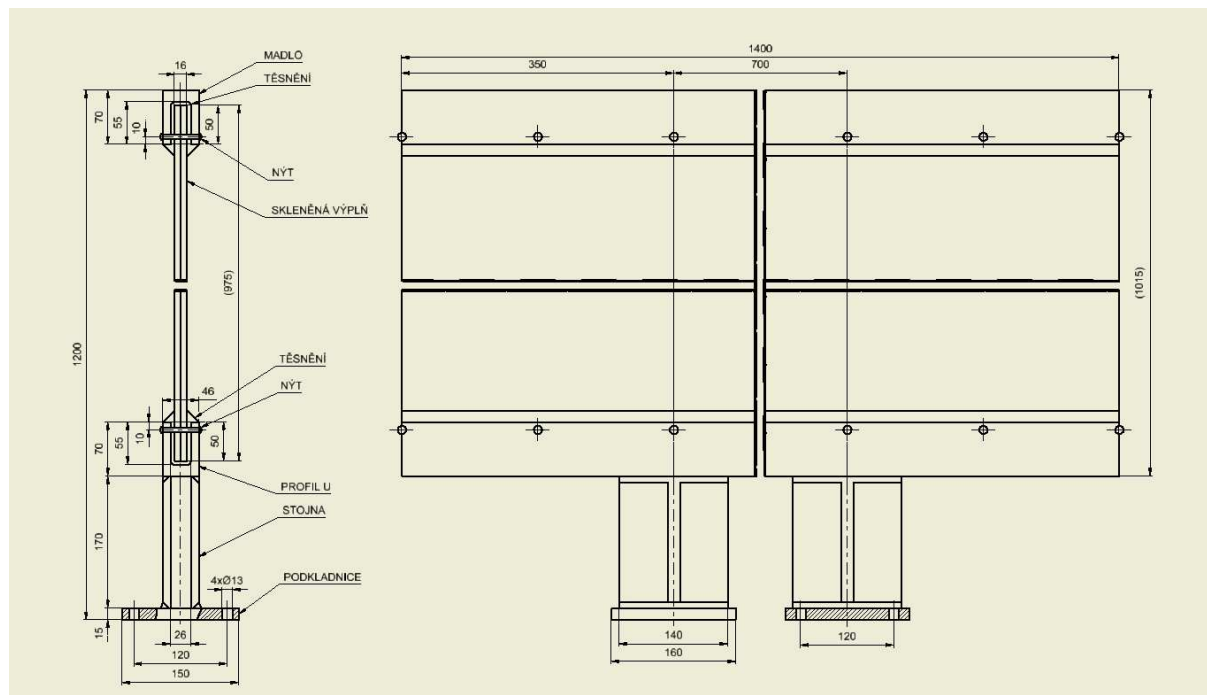
Výpočet je rozdělen na tři části. První část je zaměřena na výpočet ohybového napětí a průhybu skla, druhá část je zaměřena na výpočet celkového napětí a průhybu vznikajících při namáhání hliníkové základny a poslední třetí část se týká výpočtu úchytných šroubů. Jelikož síly od zatížení větrem dosahují nižších hodnot (řádově 10x) než síly od zatížení osobami, budou výpočty provedeny pouze pro zatížení od osob, které předepisují příslušné normy.

Potřebné parametry zatížení a koeficienty jsou převzaty z norem ČSN 73 0035 <sup>[1]</sup> a ČSN 74 3305 <sup>[2]</sup>. Vlastnosti skla jsou převzaty z normy ČSN EN 572-1 <sup>[3]</sup>, vlastnosti hliníkové slitiny jsou převzaty z normy ČSN EN 485-2 <sup>[4]</sup> a vlastnosti materiálu šroubů jsou převzaty ze strojnických tabulek <sup>[5]</sup>.

## 2. Cíl výpočtů

Cílem výpočtů je určit a zkontrolovat velikosti vnitřních napětí a průhybů zábradlí při daných zatíženích. Základna je počítána metodou MKP, které ukazuje i místní koncentrace napětí.

Základní rozměry jsou zobrazeny na následujícím obrázku a dále vypsány v tabulce pod ním. Nejedná se o model celého zábradlí, ale pouze o segment s délkou 1 400 mm. Následné výpočty pak budou počítány jen pro délku 700 mm z důvodu symetrie konstrukce.



Obr. 1 Základní rozměry segmentu zábradlí

|                                     |               |
|-------------------------------------|---------------|
| Délka segmentu zábradlí             | 1 400 mm      |
| Výška segmentu zábradlí (kompletní) | 1 200 mm      |
| Délka podkladnice                   | 160 mm        |
| Šířka podkladnice                   | 150 mm        |
| Tloušťka podkladnice                | 15 mm         |
| Výška stojny                        | 170 mm        |
| Šířka stojny                        | 70 mm         |
| Délka profilu U                     | 1 400 mm      |
| Šířka profilu U                     | 46 mm         |
| Výška profilu U                     | 70 mm         |
| Délka nýtu (délka před zpracováním) | 46 mm (60 mm) |
| Průměr nýtu                         | 6 mm          |
| Počet nýtů v jednom segmentu        | 16            |
| Délka skleněné výplně               | 1 400 mm      |
| Výška skleněné výplně               | 975 mm        |
| Tloušťka skleněné výplně            | 16 mm         |
| Tloušťka skla                       | 8 mm          |

BALKON SYSTÉM s.r.o.

Děpoltovice 119

362 25 Nová Role

|                                   |          |
|-----------------------------------|----------|
| Délka madla                       | 1 400 mm |
| Šířka madla                       | 46 mm    |
| Výška madla                       | 70 mm    |
| Rozteč stojen                     | 700 mm   |
| Průměr otvorů pro úchytné šrouby  | 13 mm    |
| Počet šroubů na jednu podkladnici | 4        |

Tab. 1 Základní rozměry

### 3. Výpočet skleněné výplně

V následujícím výpočtu je určeno ohybové napětí, koeficient bezpečnosti a průhyb skla při vystavení předepsaného zatížení, které určuje norma <sup>[1]</sup>.

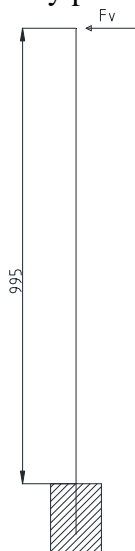
#### 3.1 Materiál

Na výplň zábradlí je použito dvojité sklo float o tloušťce 8 mm. Jeho parametry a vlastnosti uvádí norma <sup>[3]</sup>.

|                         |               |                         |
|-------------------------|---------------|-------------------------|
| dovolené ohybové napětí | $\sigma_{oD}$ | 45 MPa                  |
| Poissonovo číslo        | $\mu$         | 0,22                    |
| Youngův modul pružnosti | E             | 72 000 MPa              |
| hustota                 | $\rho$        | 2 500 kg/m <sup>3</sup> |

#### 3.2 Okrajové podmínky a zatížení

Na skleněnou výplň působí v horní části síla  $F_v$ , jejíž hodnota vychází z normy <sup>[1]</sup>. Celková výška skla (včetně tloušťky horního těsnění a madla) je 995 mm. Na této délce vzniká ve skle ohybové napětí. Pro tento výpočet je uvažována hliníková základna, v níž je sklo uloženo, jako absolutně tuhá a řeší se tedy pouze napětí a průhyb skleněné výplně.



Obr. 2 Okrajové podmínky a zatížení skleněné výplně

#### 3.3 Výpočty

Jak bylo uvedeno výše, norma <sup>[1]</sup> předepisuje vodorovné zatížení zábradlí  $q_k$  a jeho velikost činí 0,5 kN/m. Toto zatížení je potřeba navýšit koeficientem  $\gamma_f$ , který má dle zmíněné normy velikost 1,2. Výpočty budou provedeny pro délku zábradlí 0,7 m.

BALKON SYSTÉM s.r.o.

Děpoltovice 119

362 25 Nová Role

Vodorovná síla  $F_v$ :

$$F_v = q_k \cdot \gamma_f \cdot l = 500 \cdot 1,2 \cdot 0,7 = 420 \text{ N}$$

Ohybový moment  $M_o$ :

$$M_o = F_v \cdot v = 420 \cdot 995 = 417900 \text{ Nmm}$$

Průřezový moment v ohybu  $W_o$ :

$$W_o = \frac{1}{6} \cdot l \cdot t^2 = \frac{1}{6} \cdot 700 \cdot 16^2 = 29866,7 \text{ mm}^3$$

Ohybové napětí  $\sigma_o$ :

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{417900}{29866,7} = 14 \text{ MPa}$$

Koeficient bezpečnosti  $k$ :

$$k = \frac{\sigma_{oD}}{\sigma_o} = \frac{45}{14} = 3,2$$

Kvadratický moment průřezu  $I$ :

$$I = \frac{1}{12} \cdot l \cdot t^3 = \frac{1}{12} \cdot 700 \cdot 16^3 = 238933,3 \text{ mm}^4$$

Průhyb  $y$ :

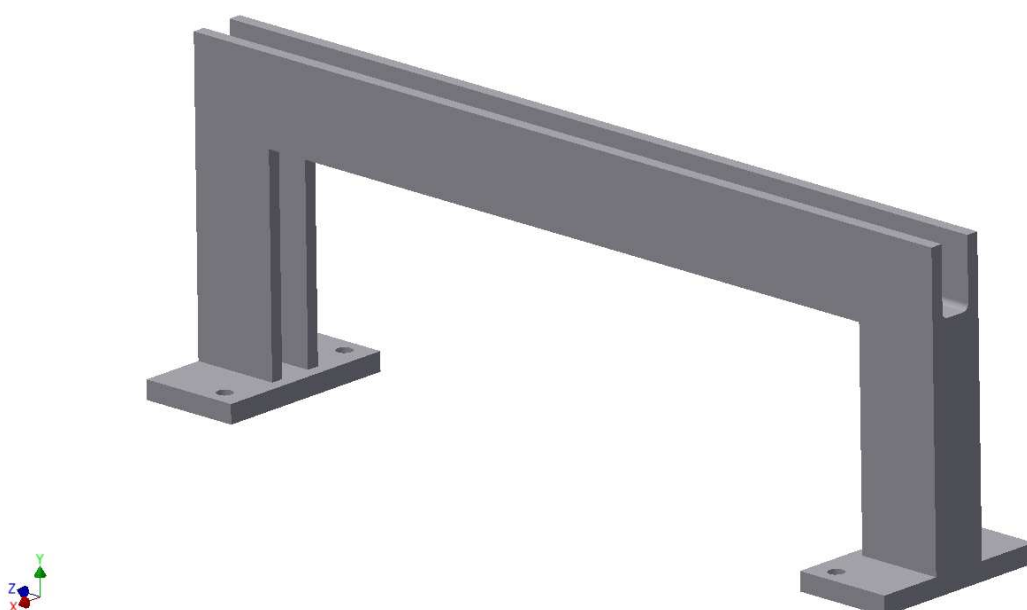
$$y = \frac{F_v \cdot v^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{420 \cdot 995^3}{3 \cdot 72000 \cdot 238933,3} = 8,02 \text{ mm}$$

## 4. Výpočet základny

Hliníková základna je počítána metodou MKP ve výpočtovém programu SIEMENS NX 8.5 se solverem NX NASTRAN. Pro tento postup byl upraven 3D model zábradlí. Je uvažován dokonalý průvar všech svarů.

### 4.1 3D Model a základní rozměry

Jako 3D model základny je použitý úsek o délce 0,7 m. Tvar a další základní rozměry jsou zobrazeny na obrázcích níže.

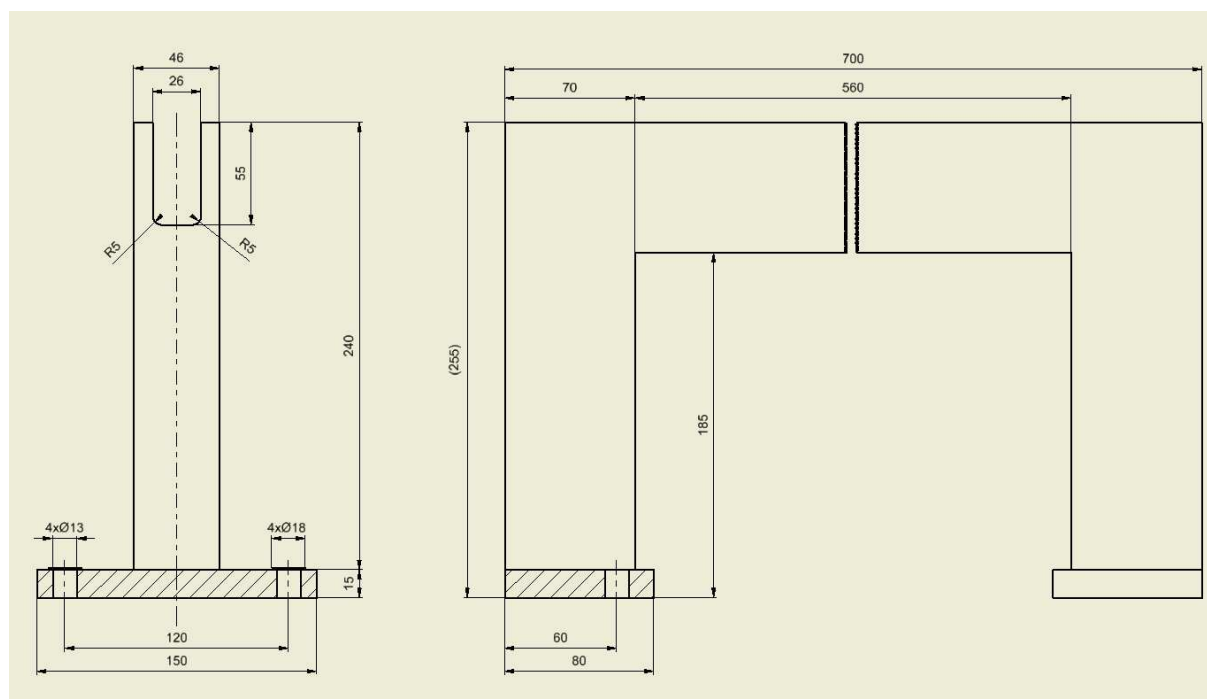


Obr. 3 3D model základny

Souřadnicový systém je následující:

|                |       |
|----------------|-------|
| vodorovný směr | osa X |
| svislý směr    | osa Y |
| podélný směr   | osa Z |





Obr. 4 Základní rozměry základny

**Pozn.:** Kótovaný průměr 18 mm na výkrese značí dosedací průměr hlavy šroubu, respektive podložky pro průměr šroubu 10 mm.

## 4.2 Materiál

Materiálem základny je hliníková slitina s označením EN AW – 6061/T6. Její parametry a vlastnosti uvádí norma <sup>[4]</sup>.

|                         |        |                         |
|-------------------------|--------|-------------------------|
| napětí na mezi kluzu    | $R_e$  | 240 MPa                 |
| napětí na mezi pevnosti | $R_m$  | 290 MPa                 |
| Poissonovo číslo        | $\mu$  | 0,31                    |
| Youngův modul pružnosti | $E$    | 75 000 MPa              |
| hustota                 | $\rho$ | 2 700 kg/m <sup>3</sup> |

## 4.3 Síť

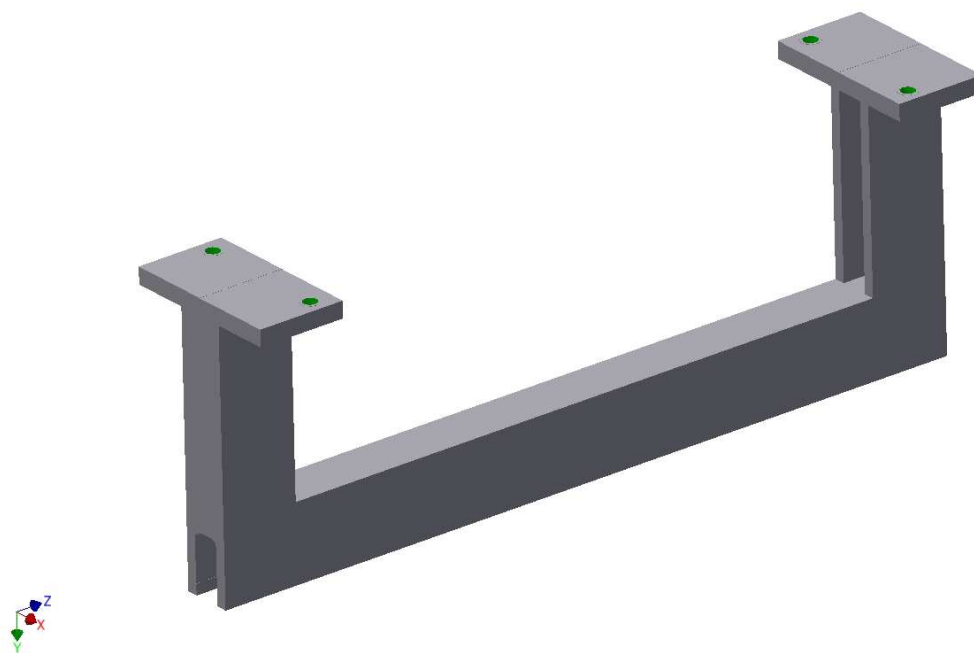
Síť modelu je tvořena 1D, 2D a 3D prvky. 1D prvky jsou typu RBE2 Collector a nahrazují spojovací nýty. Výpočet není zaměřen na pevnost nýtů, proto jsou tyto prvky nadefinovány s nekonečně velkou tuhostí a slouží pouze k propojení bočnic profilu U. Celý model je tvořen 3D jehlanovitými prvky typu CTETRA 10 s 10 uzly (v každém rohu a v každé polovině hrany) o velikosti 5 mm. Některá místa sítě modelu jsou zjemněna pomocí 2D prvků; první typ CQUAD 4, který má tvar čtverce se 4 uzly (v každém rohu), druhý typ CTRIA 3, který má tvar trojúhelníku se 3 uzly (v každém rohu). Oba typy mají délku hrany 2,5 mm. Celkem je síť modelu tvořena 224 604 elementy s 356 716 uzly.



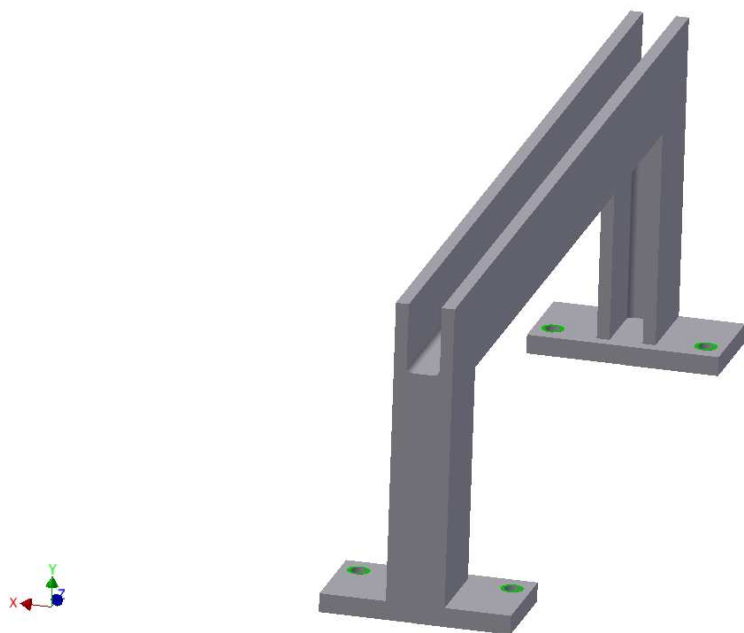
Obr. 5 Sít' modelu

#### 4.4 Okrajové podmínky

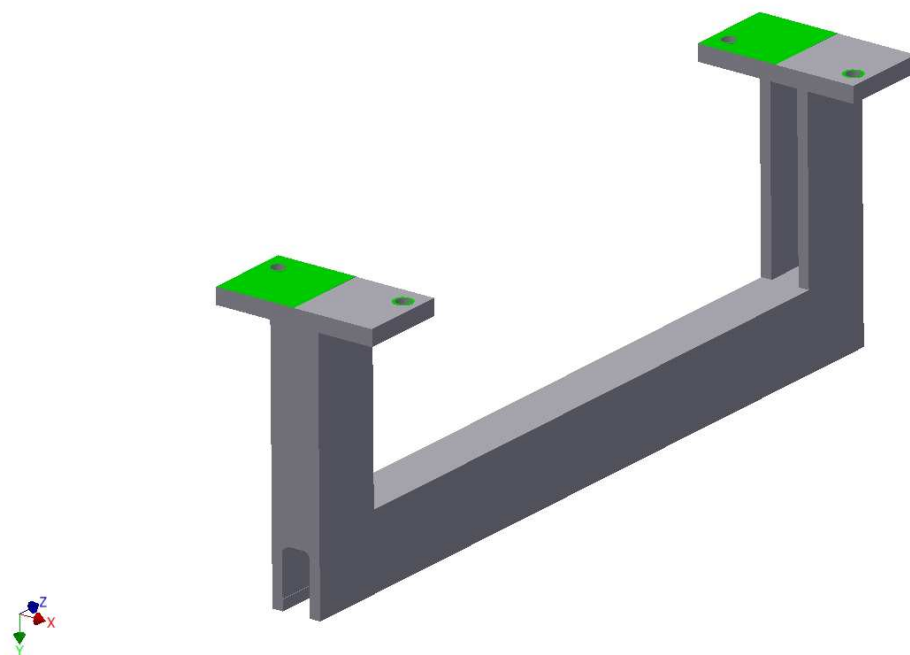
Základna je uchycena pomocí šroubů, proto je v místech otvorů zamezeno posuvu ve směrech X a Z (obr. 6). V plochách pod hlavami šroubů, respektive pod podložkami je zabráněno posuvu ve směru Y (obr. 7). Ve směru Y je též model uchycen vždy na polovině plochy podkladnice z důvodu dosednutí na podlahu, která se předpokládá tužší než samotná základna (obr. 8). Boky modelu jsou fixovány ve směru Z z důvodu symetrie (obr. 9).



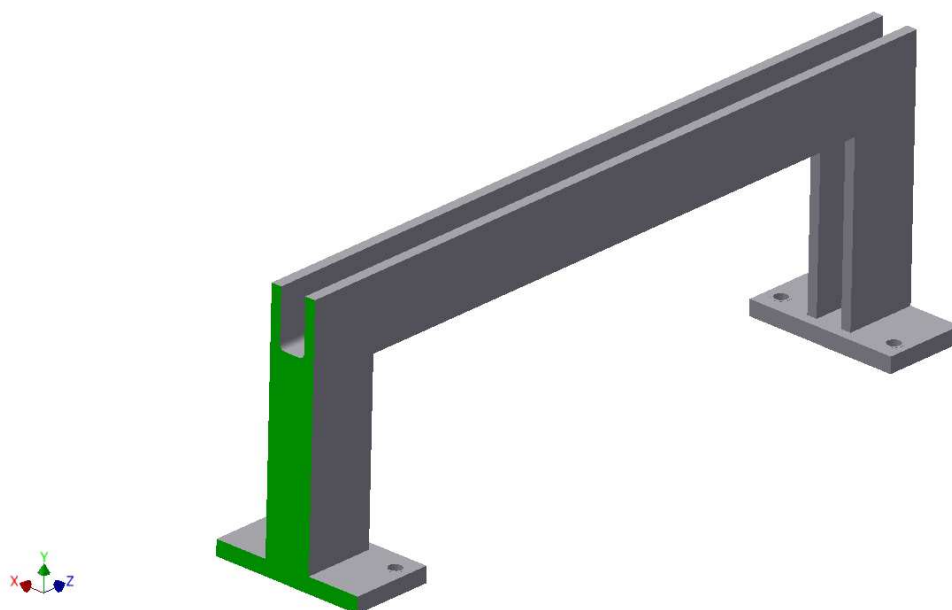
Obr. 6 Uchycení otvorů ve směru X a Z



Obr. 7 Uchycení v místě hlav šroubů, respektive podložek



Obr. 8 Uchycení dosedacích ploch podkladnic



Obr. 9 Podmínka symetrie

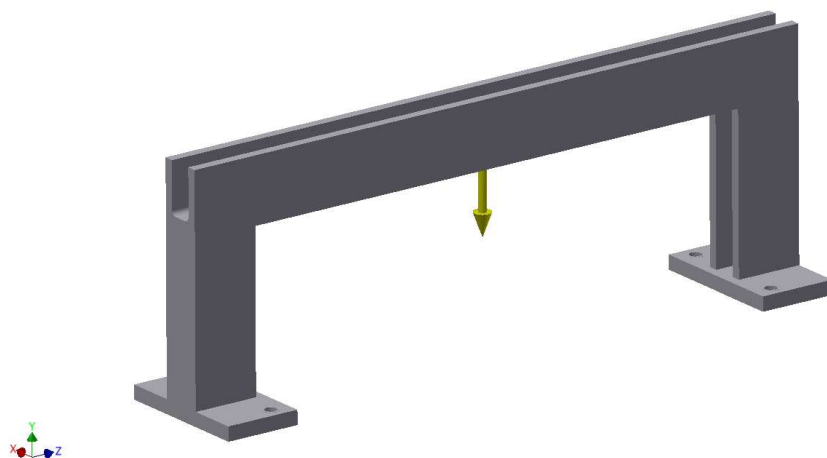
**Pozn.:** Okrajové podmínky jsou aplikovány na zeleně obarvené plochy.

## 4.5 Zatížení

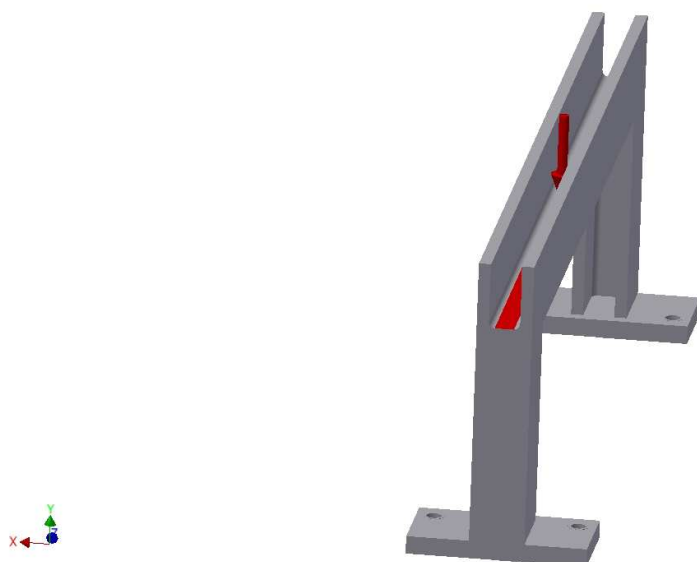
Zatížení se dělí na svislé a vodorovné. Při výpočtu je použita kombinace vzájemného působí obou druhů.

### 4.5.1 Svislé zatížení

Svislé zatížení se skládá ze zatížení gravitací s gravitačním zrychlením o velikosti  $9,81 \text{ m/s}^2$  (obr. 10) a zatížení svislou silou (obr. 11), kterou definuje norma <sup>[1]</sup>. Svislá síla  $q_k$  má velikost  $0,5 \text{ kN/m}$  a součinitel zatížení  $\gamma_f$  je  $1,2$ . Tato síla se dále přenáší přes skleněnou výplň na vnitřní spodní plochu profilu U. Ke svislé síle je připočtena i síla vzniklá od hmotnosti skleněné výplně.



Obr. 10 Zatížení gravitací



Obr. 11 Zatížení svislou silou

**Pozn.:** Zatěžovaná plocha je označena červenou barvou.

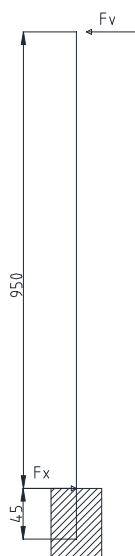
Celková svislá síla  $F_y$ :

$$F_y = q_k \cdot \gamma_f \cdot l + \rho \cdot v \cdot t \cdot l \cdot g = 500 \cdot 1,2 \cdot 0,7 + 2500 \cdot 0,995 \cdot 0,016 \cdot 0,7 \cdot 9,81 = 693,3 \text{ N}$$

#### 4.5.2 Vodorovné zatížení

Vodorovné zatížení  $F_x$  je určeno z ohybového momentu, který je vytvářen horní vodorovnou silou  $F_v$ . Účinky reakční síly  $F_x$  jsou definovány na vnitřní boční plochu profilu U, kde dojde k vzájemnému dotyku skleněné výplně se základnou. Tato plocha je

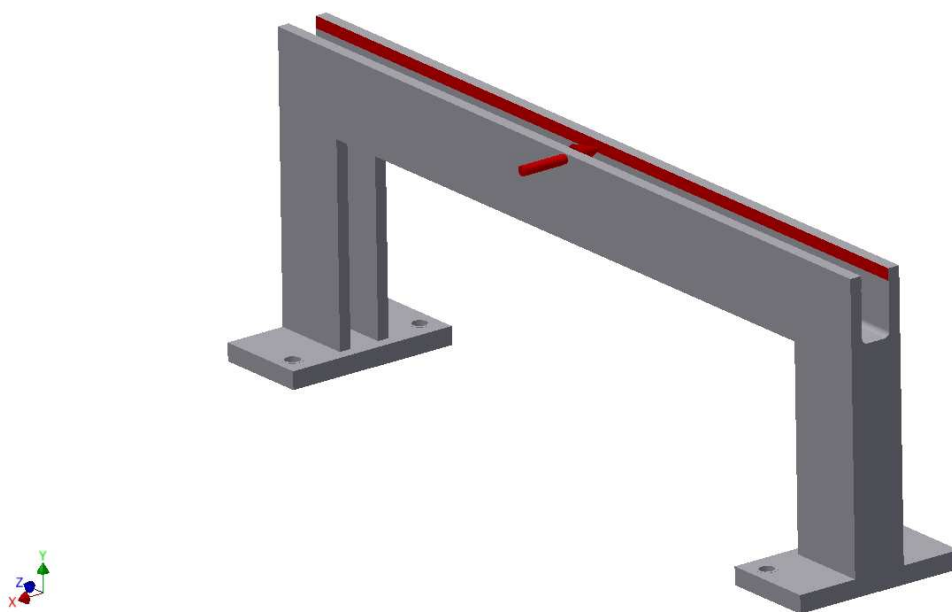
předpokládána po celé délce základny o výšce 10 mm. V tomto případě je uvažován dokonalý přenos sil přes skleněnou výplň bez zeslabujících účinků.



Obr. 12 Působíště vodorovné reakční síly

Vodorovná reakční síla  $F_x$ :

$$F_x = \frac{M_o}{d} = \frac{417900}{45} = 9286,7 \text{ N}$$

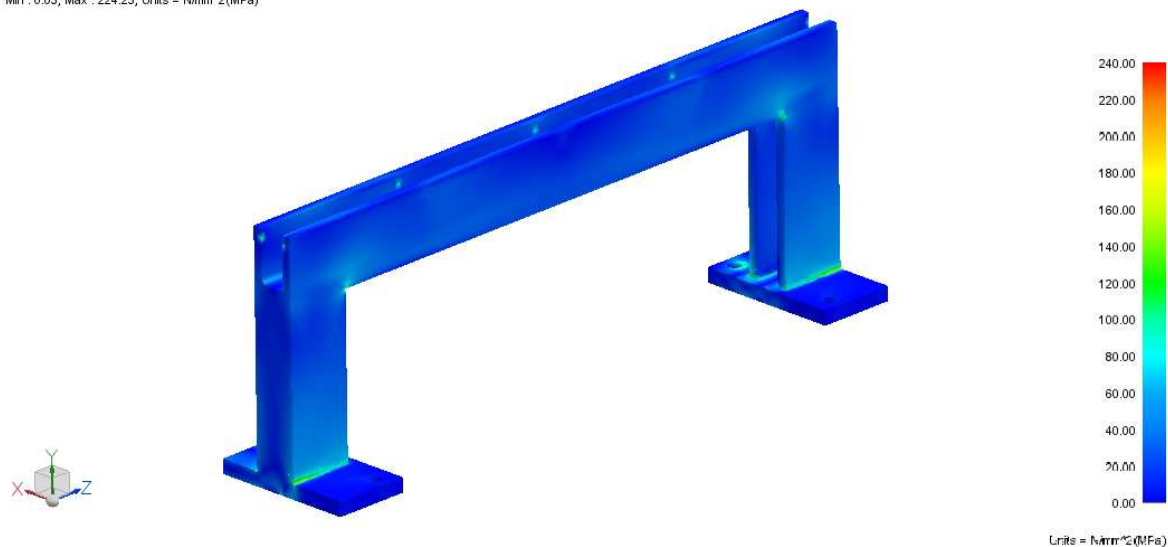


Obr. 13 Vodorovná reakční síla

**Pozn.:** Zatěžovaná plocha je označena červenou barvou.

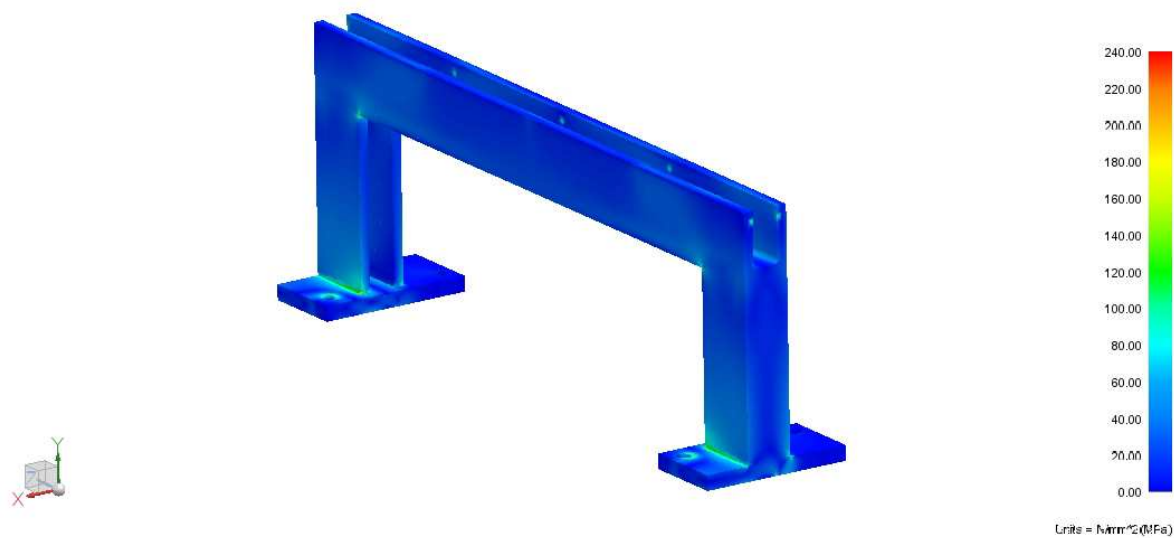
## 4.6 Výpočty

zakladna\_nova\_konstrukce\_sim1 : zatizeni\_od\_osob+vlastni\_vaha Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises  
Min : 0.03, Max : 224.23, Units = N/mm<sup>2</sup>(MPa)



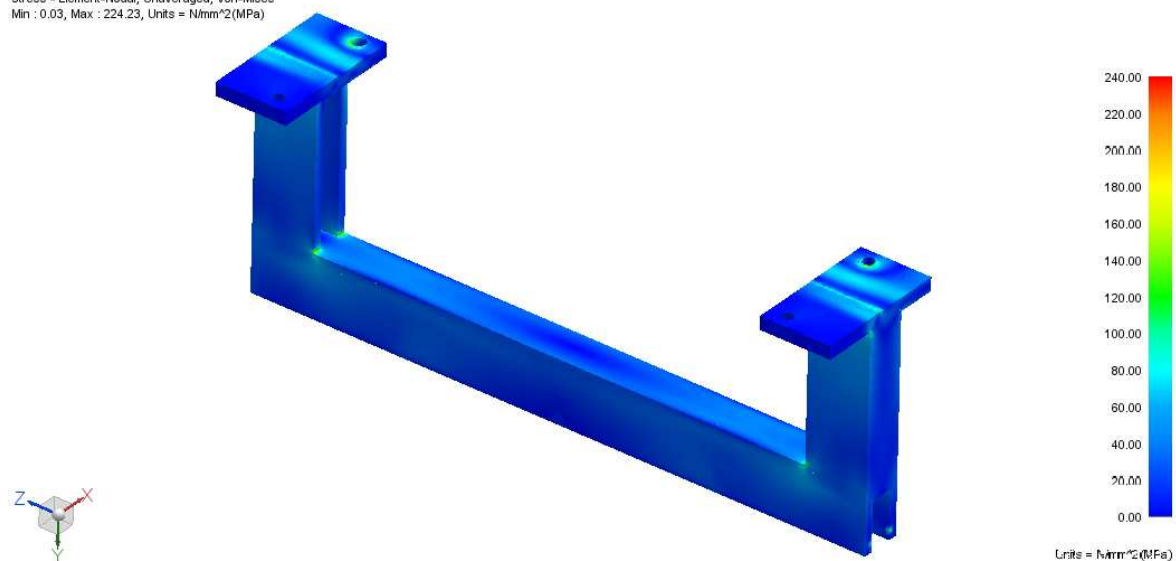
Obr. 14 Napětí Von Mises

zakladna\_nova\_konstrukce\_sim1 : zatizeni\_od\_osob+vlastni\_vaha Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises  
Min : 0.03, Max : 224.23, Units = N/mm<sup>2</sup>(MPa)



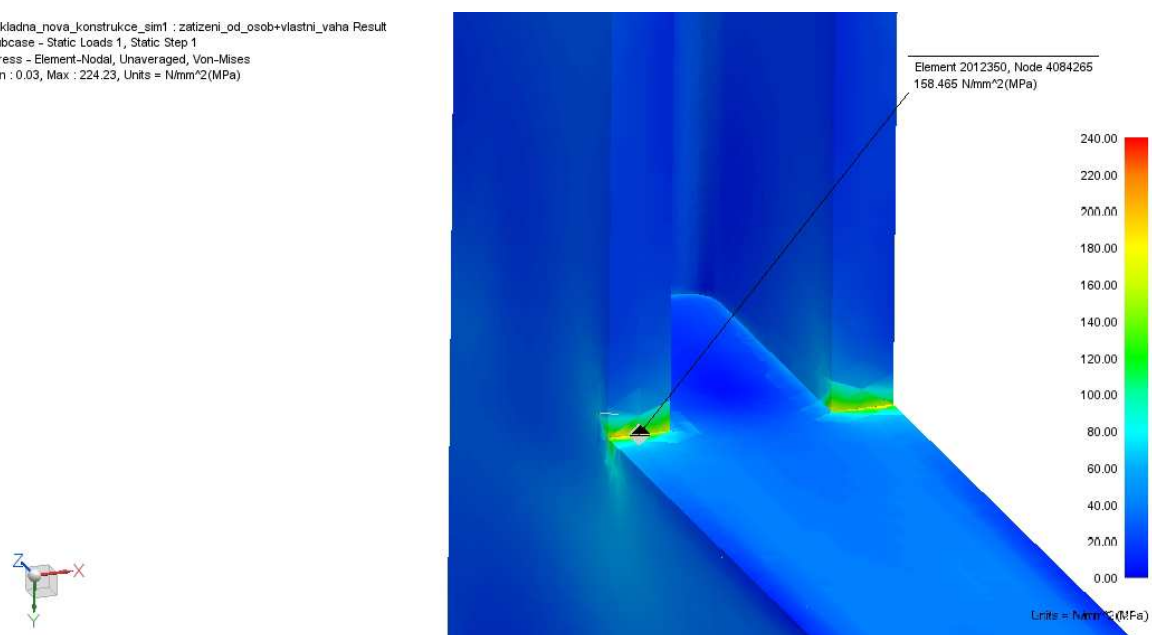
Obr. 15 Napětí Von Mises

zakladna\_nova\_konstrukce\_sim1 : zatizeni\_od\_osob+vlastni\_vaha Result  
Subcase = Static Loads 1, Static Step 1  
Stress = Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises  
Min : 0.03, Max : 224.23, Units = N/mm<sup>2</sup>(MPa)



Obr. 16 Napětí Von Mises

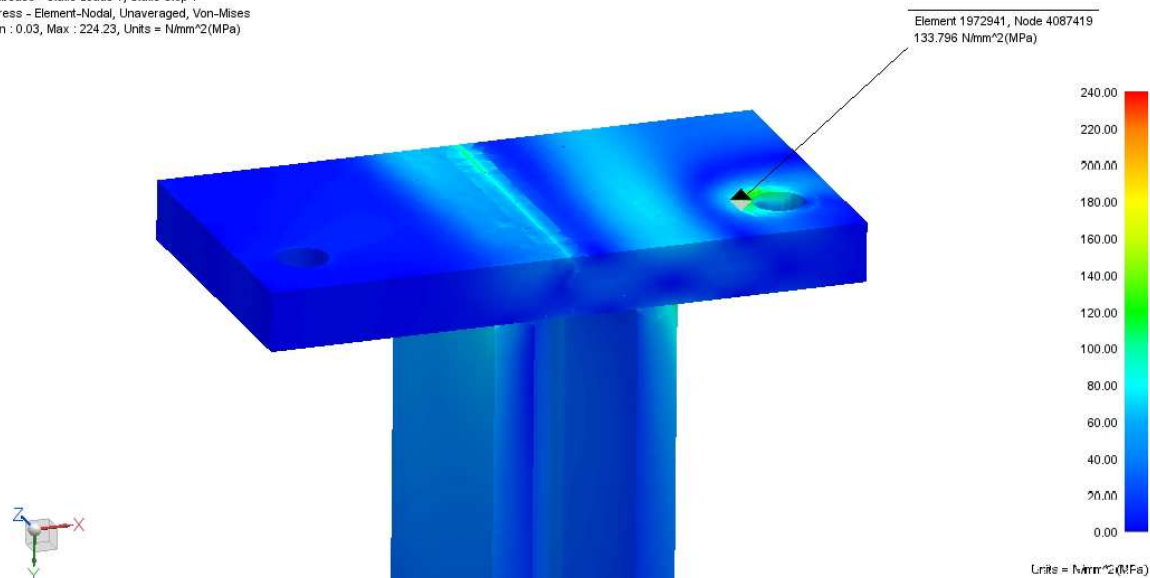
zakladna\_nova\_konstrukce\_sim1 : zatizeni\_od\_osob+vlastni\_vaha Result  
Subcase = Static Loads 1, Static Step 1  
Stress = Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises  
Min : 0.03, Max : 224.23, Units = N/mm<sup>2</sup>(MPa)



Obr. 17 Napětí Von Mises

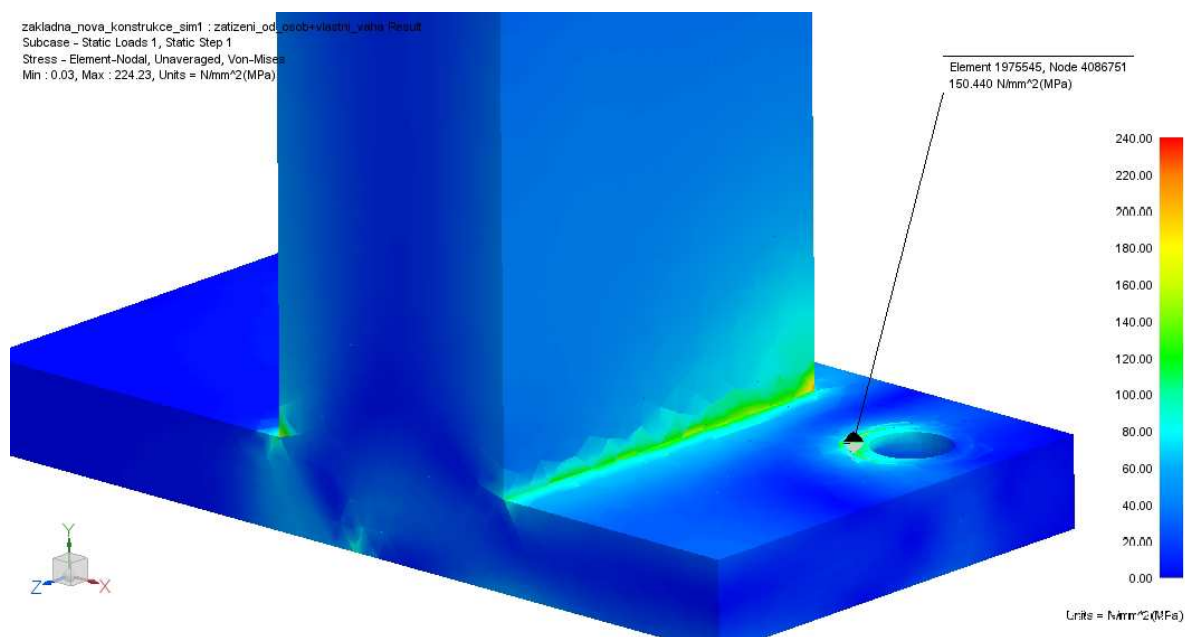


zakladna\_nova\_konstrukce\_sim1 : zatizeni\_od\_osob+vlastni\_vaha Result  
Subcase = Static Loads 1, Static Step 1  
Stress = Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises  
Min : 0.03, Max : 224.23, Units = N/mm<sup>2</sup>(MPa)

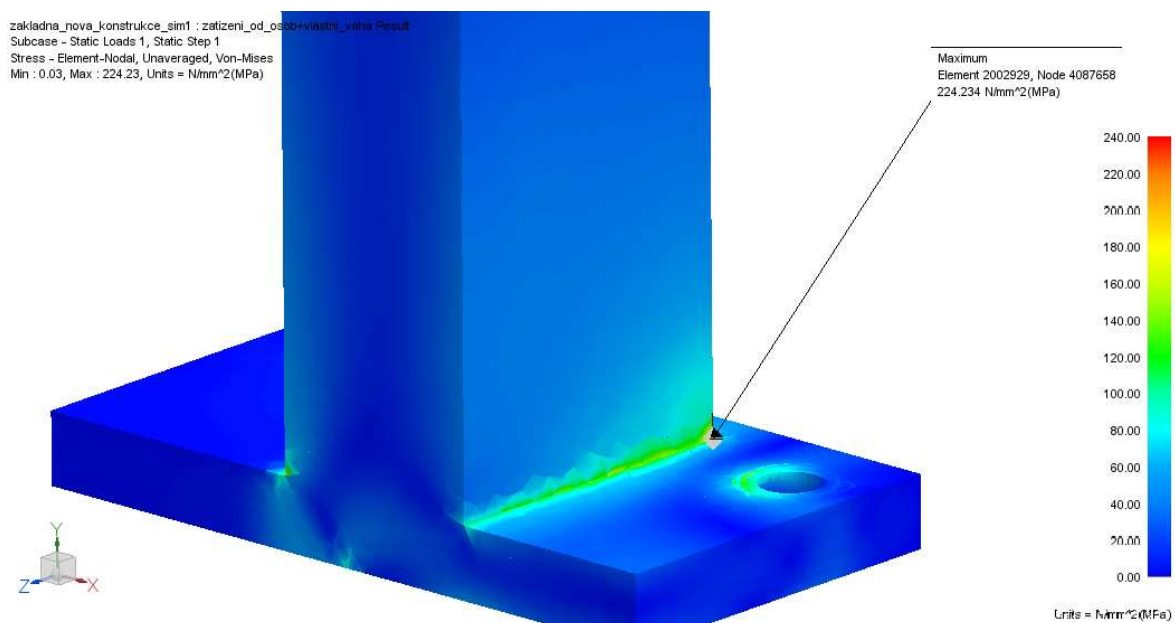


Obr. 18 Napětí Von Mises

zakladna\_nova\_konstrukce\_sim1 : zatizeni\_od\_osob+vlastni\_vaha Result  
Subcase = Static Loads 1, Static Step 1  
Stress = Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises  
Min : 0.03, Max : 224.23, Units = N/mm<sup>2</sup>(MPa)

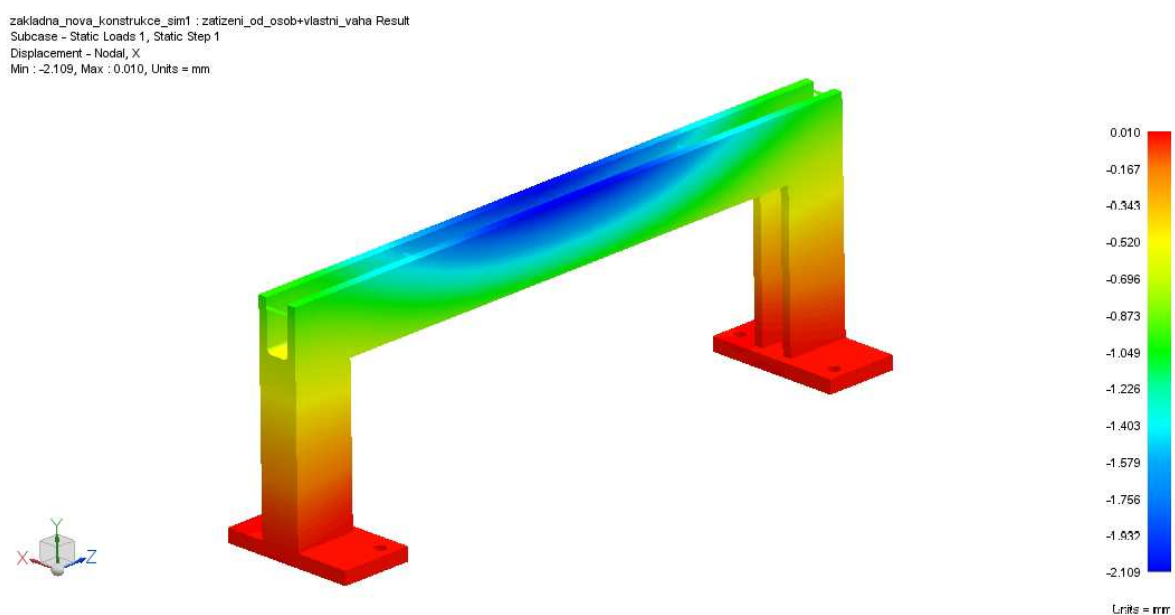


Obr. 19 Napětí Von Mises



Obr. 20 Maximální napětí Von Mises

Největší deformace nastala ve směru X.



Obr. 21 Deformace ve směru X

Koeficient bezpečnosti k:

$$k = \frac{R_e}{\sigma} = \frac{240}{224,2} = 1,1$$

## 5. Výpočet úchytných šroubů

Pro segment zábradlí délky 0,7 m byly zvoleny 4 úchytné šrouby M10 x 1,5 s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem dle normy ČSN 02 1143.58 – 8.8 <sup>[5]</sup>.

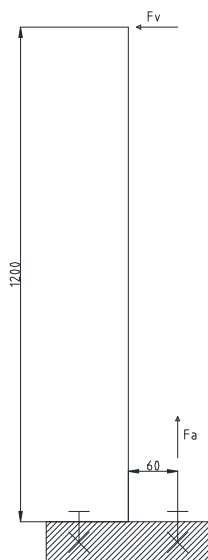
### 5.1 Materiál

Materiál šroubů byla zvolena zušlechtěná uhlíková ocel ČSN 41 2042, označovaná 8.8. Parametry a vlastnosti tohoto materiálu jsou uvedeny v <sup>[5]</sup>.

|                         |        |                         |
|-------------------------|--------|-------------------------|
| napětí na mezi kluzu    | $R_e$  | 640 MPa                 |
| Poissonovo číslo        | $\mu$  | 0,30                    |
| Youngův modul pružnosti | $E$    | 210 000 MPa             |
| hustota                 | $\rho$ | 7 850 kg/m <sup>3</sup> |

### 5.2 Okrajové podmínky a zatížení

Uchycení šroubů a jejich namáhání ukazuje následující obrázek. Z důvodu podstatně menší velikosti boční síly (řádově 20x menší) působící navíc na 4 šrouby, je tato síla zanedbána a jako hlavní zatížení je brána axiální síla vznikající od ohybového momentu. Ta působí v úseku délky 0,7 m pouze na 2 šrouby.



Obr. 22 Okrajové podmínky a zatížení šroubů

**Pozn.:** Hodnota výšky se zde rovná výšce celého zábradlí od podlahy.

### 5.3 Výpočty

Pro zjištění napětí ve šroubech a určení koeficientu bezpečnosti je potřeba určit osovou sílu v jednom šroubu  $F_a$ . Ta se určí s pomocí vodorovné síly  $F_v$ , výšky zábradlí a následně z ohybového momentu.

Celková osová síla v obou šroubech  $F_{ac}$ :

$$F_{ac} = \frac{F_v \cdot v}{e} = \frac{420 \cdot 1200}{60} = 8400 \text{ N}$$

Osová síla v jednom šroubu  $F_a$ :

$$F_a = \frac{F_{ac}}{i} = \frac{8400}{2} = 4200 \text{ N}$$

Šroubu velikosti M10 x 1,5 odpovídá nejmenší průměr závitu, respektive nejmenší průměr šroubu  $d_3 = 8,160 \text{ mm}$  <sup>[5]</sup>.

Průřez šroubu  $S$ :

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 8,160^3 = 426,74 \text{ mm}^2$$

Tahové napětí ve šroubu  $\sigma_t$ :

$$\sigma_t = \frac{F_a}{S} = \frac{4200}{426,74} = 9,84 \text{ MPa}$$

Z důvodu míjivého namáhání šroubů je snížena hodnota dovoleného tahového napětí koeficientem  $c = 0,83$  <sup>[5]</sup>.

Dovolené tahové napětí  $\sigma_{tD}$ :

$$\sigma_{tD} = R_e \cdot c = 640 \cdot 0,83 = 531,2 \text{ MPa}$$

Koeficient bezpečnosti  $k$ :

$$k = \frac{\sigma_{tD}}{\sigma_t} = \frac{531,2}{9,84} = 54,0$$

## 6. Shrnutí výsledků

V následující tabulce jsou shrnuty vypočtená napětí a průhyby a jsou porovnány s dovolenými hodnotami.

|                | vypočtené<br>napětí $\sigma$ [MPa] | dovolené napětí<br>$\sigma_D$ [MPa] | koeficient<br>bezpečnosti k [-] | průhyb y [mm] |
|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---------------|
| skleněná výplň | 14,0                               | 45                                  | 3,2                             | 8,02          |
| základna       | 224,2                              | 240                                 | 1,1                             | 2,11          |
| úchytné šrouby | 9,84                               | 531,2                               | 54,0                            | -             |

Tab. 2 Porovnání výsledků

## **7. Závěr**

Všechny kontrolované části konstrukce zábradlí pevnostně vyhovují. U průhybů nejsou jasně stanoveny meze, ale hodnoty jsou dostatečně malé. Navržené šrouby disponují dostatečně velkým koeficientem bezpečnosti a bylo by postačující použít šroubů méně nebo menších průřezů, avšak není stanoven přesný typ ukotvení, vliv koroze atp., proto není vysoká bezpečnost na škodu.

BALKON SYSTÉM s.r.o.

Děpoltovice 119

362 25 Nová Role

## **8. Přílohy**

[A] Název výkresu: ZÁBRADLÍ 1400

[B] Název výkresu: ZÁKLADNA 1400

## 9. Seznam použité literatury

- [1] ČSN 73 0035. Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. 2003
- [2] ČSN 74 3305. Ochranná zábradlí. 2008
- [3] ČSN EN 572-1. Sklo ve stavebnictví – Základní výrobky ze sodnovápenatokřemičitého skla - Část 1: Definice a obecné fyzikální vlastnosti. 2004
- [4] ČSN EN 485-2. Hliník a slitiny hliníku – Plechy, pásy a desky – Část 2: Mechanické vlastnosti. 2004
- [5] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *STROJNICKÉ TABULKY*. Úvaly: ALBRA, 2003. ISBN 80-86490-74-2.