

STATICKÝ POSUDEK
CHOCEŇ, OBNOVA STŘECHY A ZÁMECKÉHO KROVU – ETAPA III.

Statický posudek

CHOCEŇ, OBNOVA STŘECHY A ZÁMECKÉHO KROVU – ETAPA III.

Vypracoval: Ing. Ondřej Čížek

Praha, duben 2016

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | VÝPOČET ZATÍŽENÍ | 2 |
| 1.1 | STÁLÉ ZATÍŽENÍ | 2 |
| 1.2 | ZATÍŽENÍ SNĚHEM | 2 |
| 1.3 | ZATÍŽENÍ VĚTREM | 2 |
| 2 | VLASTNOSTI DŘEVA | 3 |
| 2.1 | PŮVODNÍ DŘEVO | 3 |
| 2.2 | NOVÉ DŘEVO | 3 |
| 3 | STATICKÝ MODEL JALOVÉ VAZBY | 4 |
| 3.1 | ZATÍŽENÍ | 4 |
| 3.2 | VNITŘNÍ SÍLY | 6 |
| 3.3 | DEFORMACE | 7 |
| 4 | STATICKÝ MODEL PLNÉ VAZBY | 7 |
| 4.1 | ZATÍŽENÍ | 7 |
| 4.2 | VNITŘNÍ SÍLY | 10 |
| 4.3 | DEFORMACE | 11 |
| 5 | POSOUZENÍ PRVKŮ JALOVÉ VAZBY | 12 |
| 5.1 | POSOUZENÍ NA MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI | 12 |
| 5.2 | POSOUZENÍ NA MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI | 12 |
| 6 | POSOUZENÍ PLNÉ VAZBY | 12 |
| 6.1 | POSOUZENÍ NA MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI | 12 |
| 6.2 | POSOUZENÍ NA MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI | 13 |
| 7 | POSOUZENÍ VAZNIC, PÁSKŮ A VÝMĚN | 14 |
| 7.1 | POSOUZENÍ NA MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI | 14 |
| 7.2 | POSOUZENÍ NA MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI | 15 |
| 8 | NÁVRH A POSOUZENÍ SPOJE VÝMĚNA – KRÁČATA | 15 |
| 8.1 | SÍLY PŮSOBÍCÍ NA SPOJ | 16 |
| 8.2 | SCHÉMA SPOJE | 16 |
| 8.3 | NÁVRH A POSOUZENÍ SPOJE | 16 |
| 9 | ZÁVĚR | 18 |

1 Výpočet zatížení

1.1 Stálé zatížení

Vlastní tíha prvků je počítána výpočetním programem. Krov je dále zatížený hmotností krytiny a laťováním.

| Skladba | g_k [kN/m ²] | γ_G | g_d [kN/m ²] |
|--------------------------------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Krytina (Bobrovky) s laťováním | 0,750 | 1,35 | 1,013 |

1.2 Zatížení sněhem

Choceň se nachází ve II. Sněhové oblasti, pro kterou platí $s_k = 1,0$ kN/m². Typ krajiny kolem zámku je normální.

Zatížení střechy

$$s = \mu_1 C_e C_t s_k = 0,64 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Tvarový součinitel střechy

$$\mu_i = \frac{0,8 \cdot (60 - \alpha)}{30} = \frac{0,8 \cdot (60 - 36)}{30} = 0,64$$

1.3 Zatížení větrem

Choceň se nachází v II. Větrné oblasti, pro kterou platí referenční rychlost větru $v = 25$ m/s. Kategorie terénu je III. Celková výška budovy je 16 m.

Určení součinitele c_e z grafu

$$C_e(z) = 2,0$$

Maximální dynamický tlak větru je

$$q_p(z) = \frac{1}{2} \cdot v^2 \cdot \rho \cdot c_e(z) = 0,5 \cdot 25^2 \cdot 1,25 \cdot 2,0 = 781,25 \text{ Pa}$$

Sklon střechy je 36°. Jednotlivé hodnoty c_{pe} je nutné interpolovat.

Sání větru pro oblast G:

$$w = q_p(z) \cdot c_{pe} = 0,781 \cdot -0,9 = -0,703 \text{ kPa}$$

Sání větru pro oblast H:

$$w = q_p(z) \cdot c_{pe} = 0,781 \cdot -0,12 = -0,094 \text{ kPa}$$

Sání větru pro oblast J:

$$w = q_p(z) \cdot c_{pe} = 0,781 \cdot -0,32 = -0,25 \text{ kPa}$$

Sání větru pro oblast I:

$$w = q_p(z) \cdot c_{pe} = 0,781 \cdot -0,42 = -0,328 \text{ kPa}$$

Tlak větru pro oblast G:

$$w = q_p(z) \cdot c_{pe} = 0,781 \cdot 0,7 = 0,547 \text{ kPa}$$

Tlak větru pro oblast H:

$$w = q_p(z) \cdot c_{pe} = 0,781 \cdot 0,48 = 0,375 \text{ kPa}$$

Tlak větru pro oblast J:

$$w = q_p(z) \cdot c_{pe} = 0,781 \cdot 0 = 0 \text{ kPa}$$

Tlak větru pro oblast I:

$$w = q_p(z) \cdot c_{pe} = 0,781 \cdot 0 = 0 \text{ kPa}$$

2 Vlastnosti dřeva

2.1 Původní dřevo

Krov je počítán pro pevnost dřeva C20, protože se předpokládá, že takto nízká pevnost bude menší než skutečná pevnost dřeva použitého v krovu. Doporučuji pře zahájením stavby ověřit pevnost dřeva některou z nedestruktivních metod a poté znovu ověřit výpočtem chování krovu.

Pevnostní třída: C20 (odhad, nutné ověřit na stavbě)
Třída provozu: 2 ($k_{\text{mod}} = 0,8$; $k_{\text{def}} = 0,8$)
Třída trvání zatížení: Středně dobré zatížení

| | Charakteristické hodnoty | | | Výpočtové hodnoty | | |
|-----------------------------------|--------------------------|--------|-------------------|-------------------|--------|-----|
| Ohyb | $f_{m,k}$ | 20,000 | MPa | $f_{m,d}$ | 12,308 | MPa |
| Tah rovnoběžně s vlákny | $f_{t,0,k}$ | 12,000 | | $f_{t,0,d}$ | 7,385 | |
| Tah kolmo k vláknům | $f_{t,90,k}$ | 0,400 | | $f_{t,90,d}$ | 0,246 | |
| Tlak rovnoběžně s vlákny | $f_{c,0,k}$ | 19,000 | | $f_{c,0,d}$ | 11,692 | |
| Tlak kolmo k vláknům | $f_{c,90,k}$ | 2,300 | | $f_{c,90,d}$ | 1,415 | |
| Smyk | $f_{v,k}$ | 3,600 | | $f_{v,d}$ | 2,215 | |
| Průměrná hodnota modulu pružnosti | $E_{0,\text{mean}}$ | 9500 | | | | |
| Průměrná hodnota hustoty | γ_{mean} | 3,9 | kN/m ³ | | | |

2.2 Nové dřevo

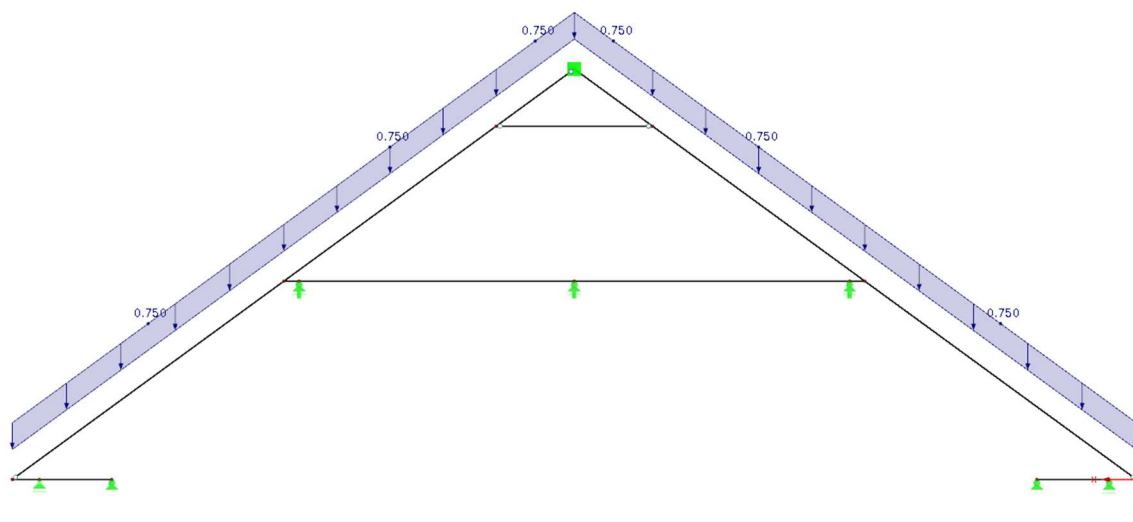
Dřevo použité v prvcích, které jsou během rekonstrukce vyměněny. V posudcích je počítáno především s původním dřevem, aby se ověřila únosnost stávajících prvků.

Pevnostní třída: C24
Třída provozu: 2 ($k_{\text{mod}} = 0,8$; $k_{\text{def}} = 0,8$)
Třída trvání zatížení: Středně dobré zatížení

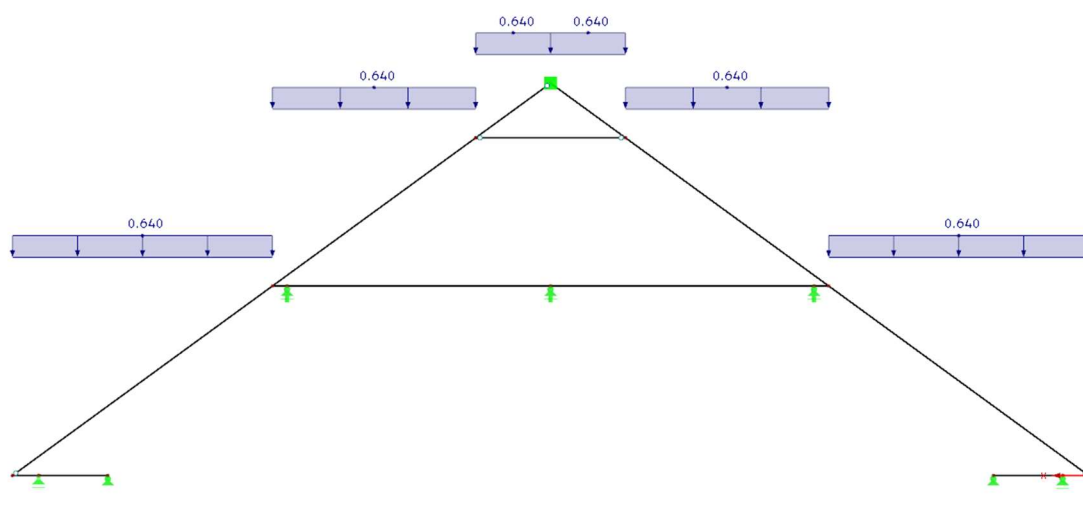
| | Charakteristické hodnoty | | | Výpočtové hodnoty | | |
|-----------------------------------|--------------------------|--------|-------------------|-------------------|--------|-----|
| Ohyb | $f_{m,k}$ | 24,000 | MPa | $f_{m,d}$ | 14,769 | MPa |
| Tah rovnoběžně s vlákny | $f_{t,0,k}$ | 14,000 | | $f_{t,0,d}$ | 8,615 | |
| Tah kolmo k vláknům | $f_{t,90,k}$ | 0,400 | | $f_{t,90,d}$ | 0,246 | |
| Tlak rovnoběžně s vlákny | $f_{c,0,k}$ | 21,000 | | $f_{c,0,d}$ | 12,923 | |
| Tlak kolmo k vláknům | $f_{c,90,k}$ | 2,500 | | $f_{c,90,d}$ | 1,538 | |
| Smyk | $f_{v,k}$ | 4,000 | | $f_{v,d}$ | 2,462 | |
| Průměrná hodnota modulu pružnosti | $E_{0,\text{mean}}$ | 11000 | | | | |
| Průměrná hodnota hustoty | γ_{mean} | 4,2 | kN/m ³ | | | |

3 Statický model jalové vazby

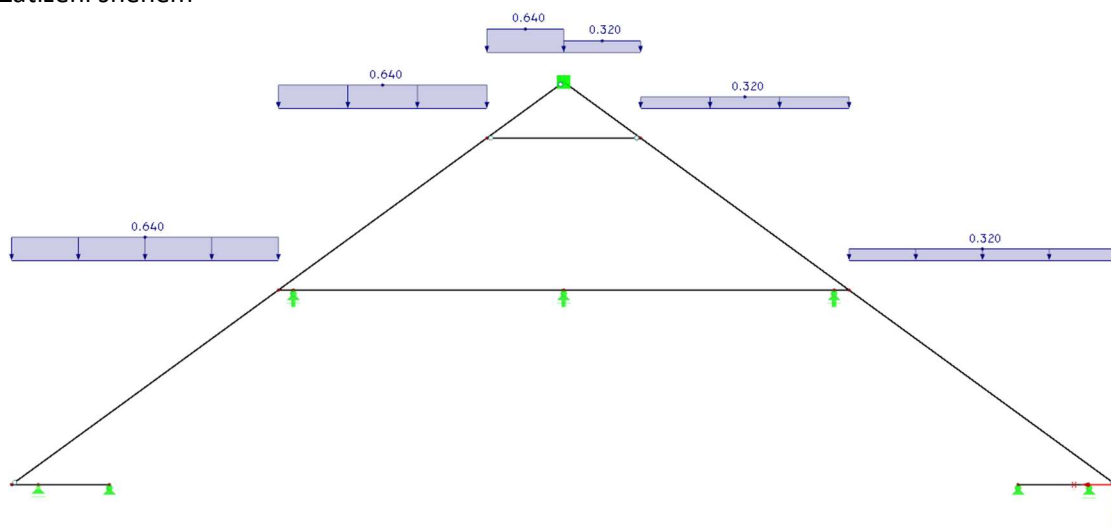
3.1 Zatížení



Stálé zatížení

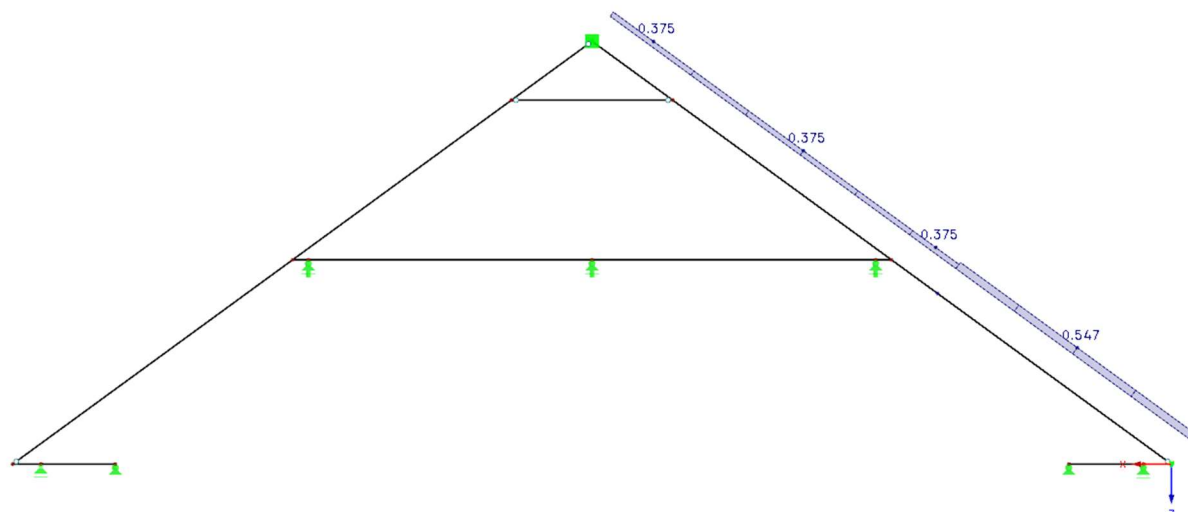


Zatížení sněhem

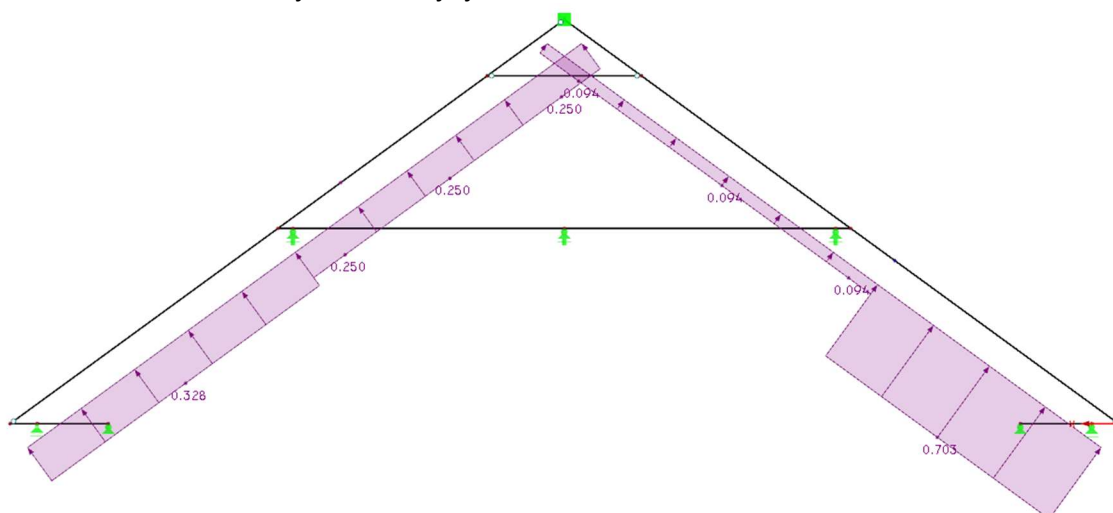


Zatížení sněhem na jedné polovině – stejné zatížení je ještě zrcadlově k tomuto

STATICKÝ POSUDEK
CHOCEŇ, OBNOVA STŘECHY A ZÁMECKÉHO KROVU – ETAPA III.



Zatížení větrem tlak – stejné zatížení je ještě zrcadlově k tomuto

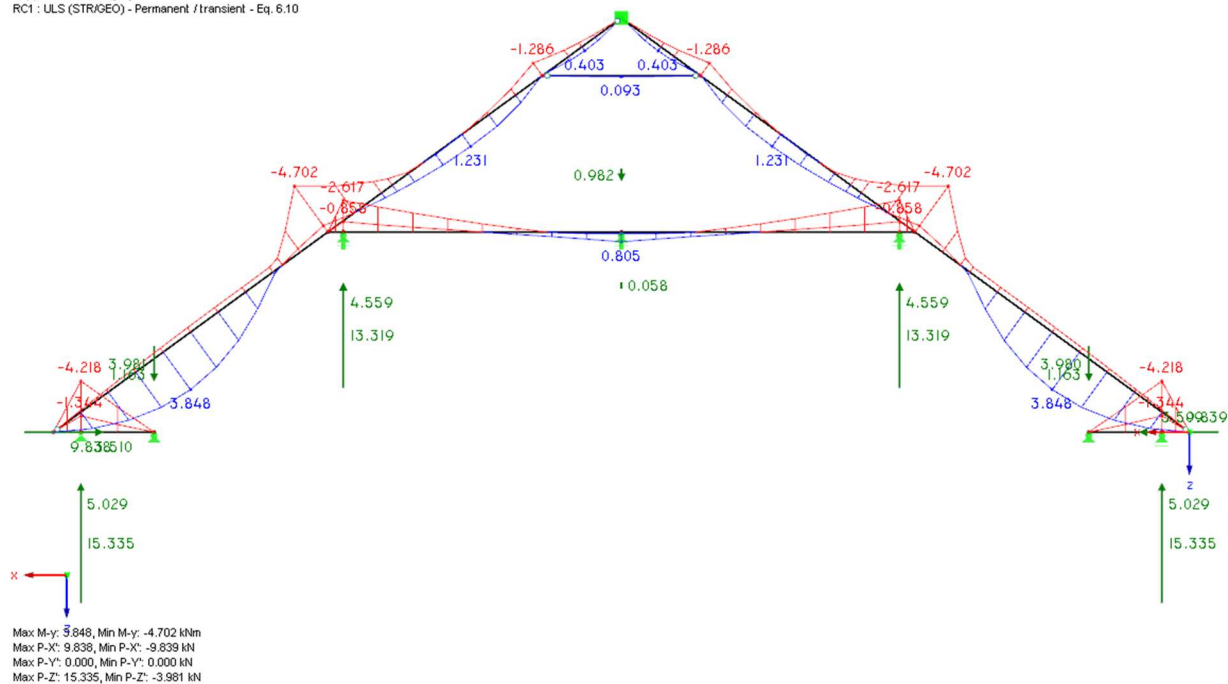


Zatížení větrem sání – stejné zatížení je ještě zrcadlově k tomuto

STATICKÝ POSUDEK CHOCEŇ, OBNOVA STŘECHY A ZÁMECKÉHO KROVU – ETAPA III.

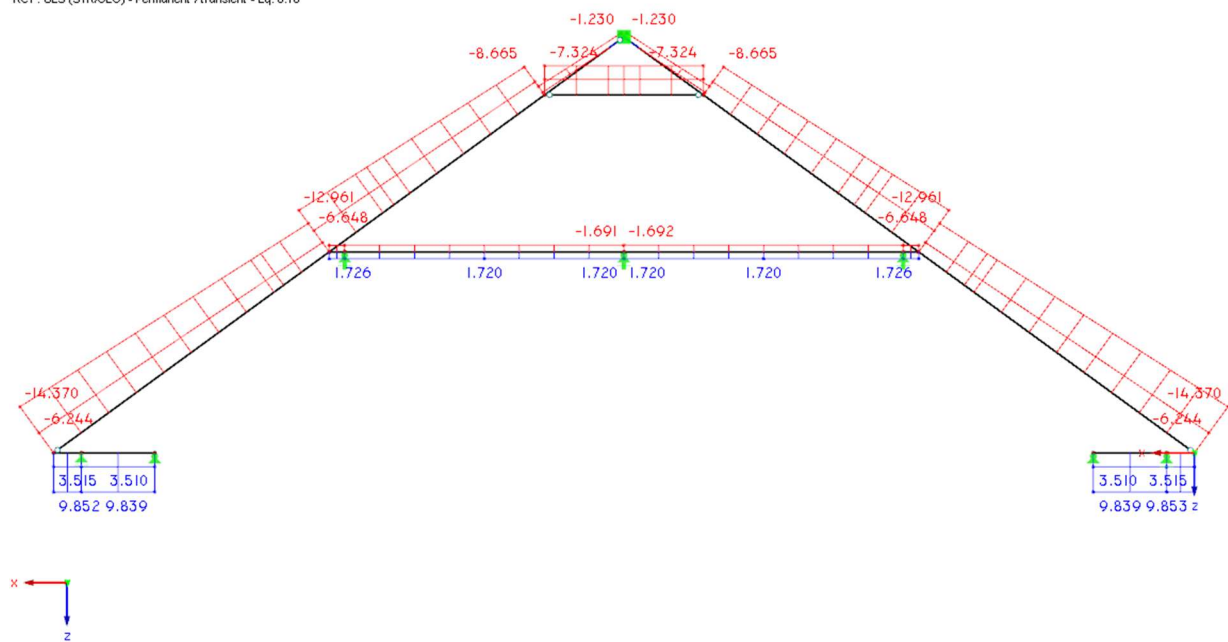
3.2 Vnitřní síly

Internal Forces M-y [kNm]
Support Reactions [kN]
RC1 : ULS (STR/GEO) - Permanent /transient - Eq. 6.10



Maximální výpočtové momenty a reakce

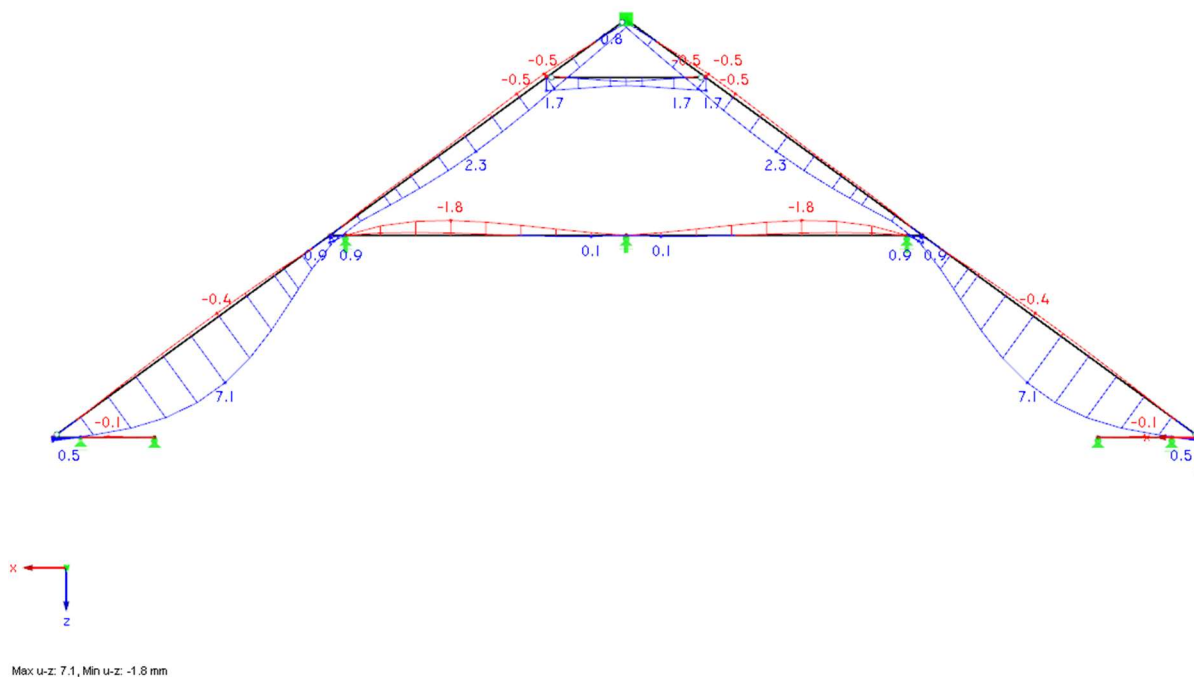
Internal Forces N [kN]
RC1 : ULS (STR/GEO) - Permanent /transient - Eq. 6.10



Výpočtové normálové síly

3.3 Deformace

Local Deformations u-z [mm]
RC2: SLS - Characteristic

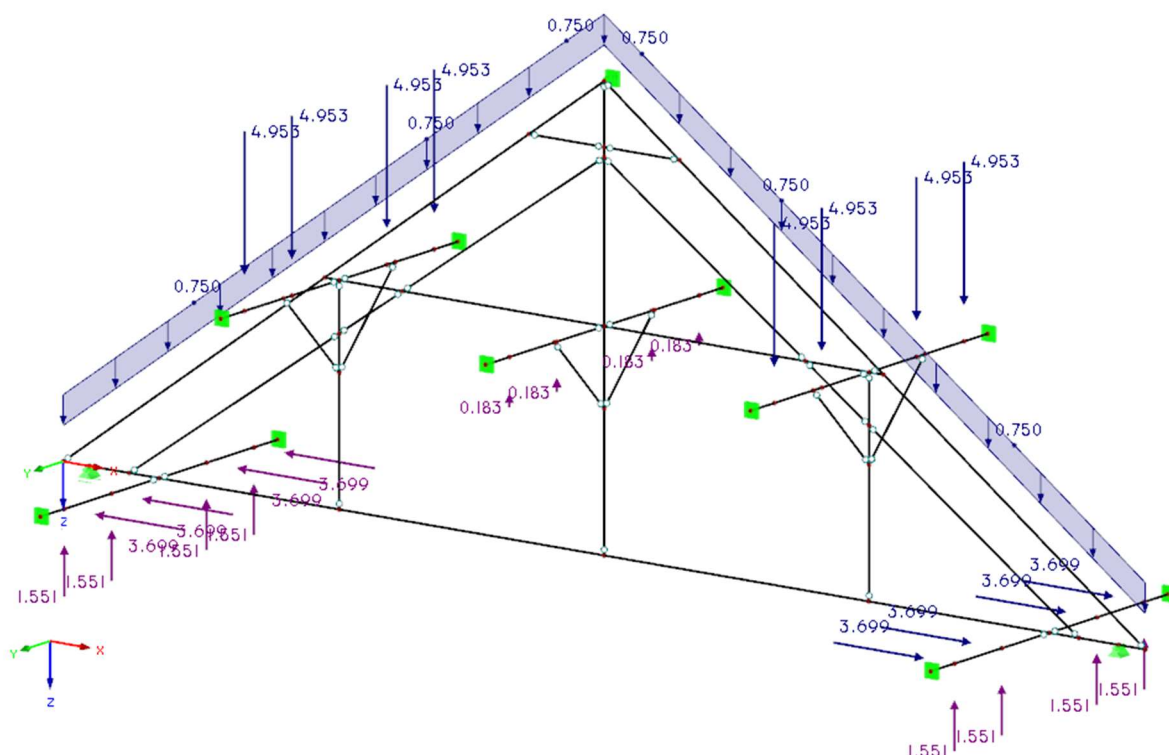


4 Statický model plné vazby

4.1 Zatížení

Plná vazba je zatížena reakcemi od jalových vazeb

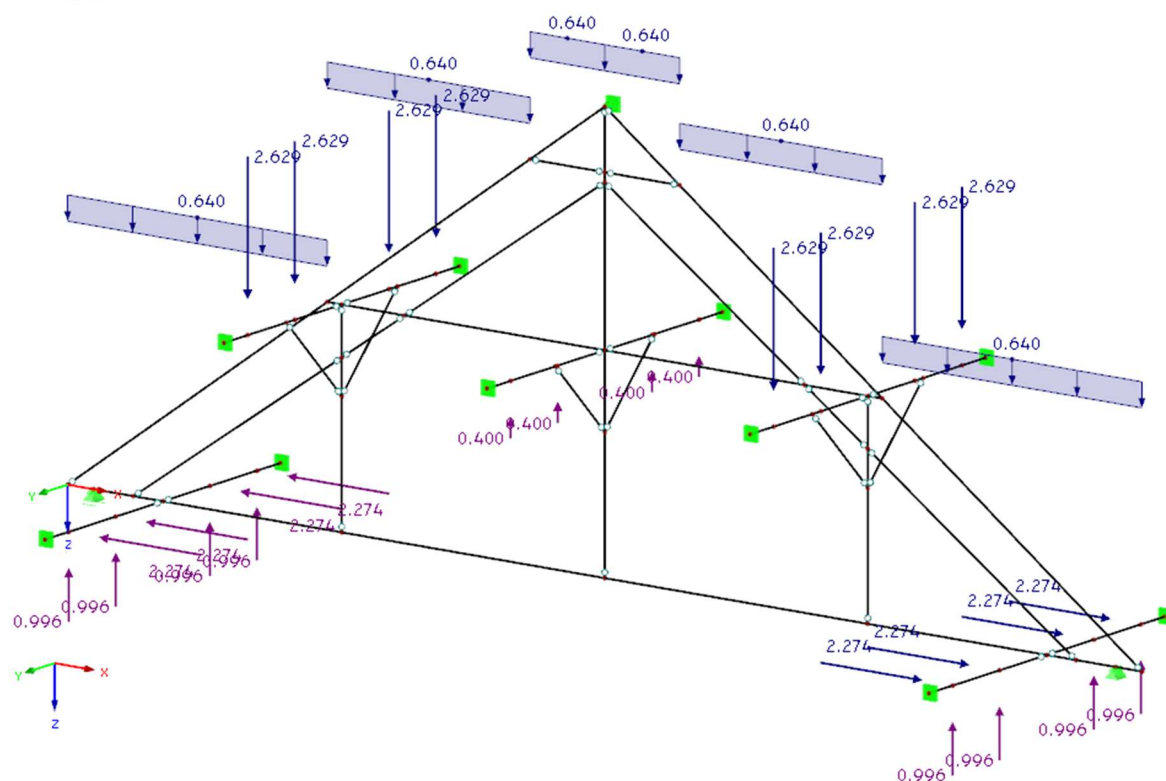
LC1: stálé zatížení
Loads [kN/m], [kN]



Stálé zatížení

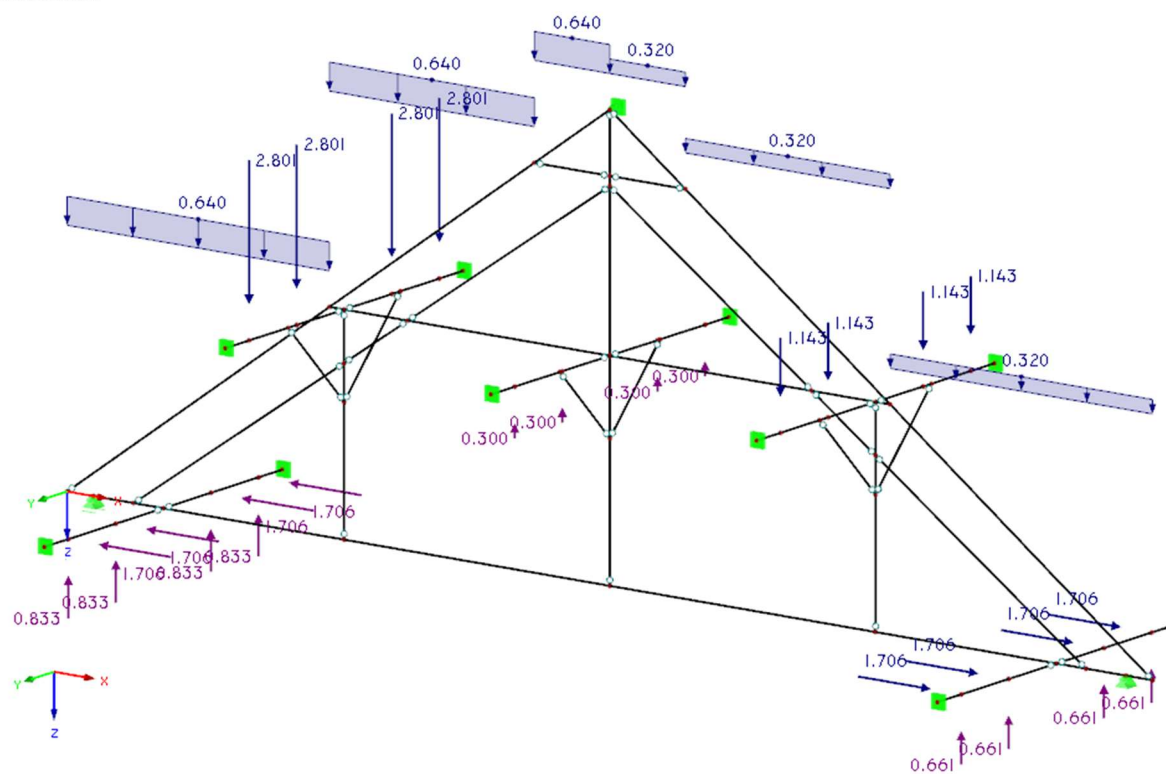
STATICKÝ POSUDEK CHOCEŇ, OBNOVA STŘECHY A ZÁMECKÉHO KROVU – ETAPA III.

LC4 : zatížení sněhem celé
Loads [kN/m], [kN]



Zatížení sněhem – plné

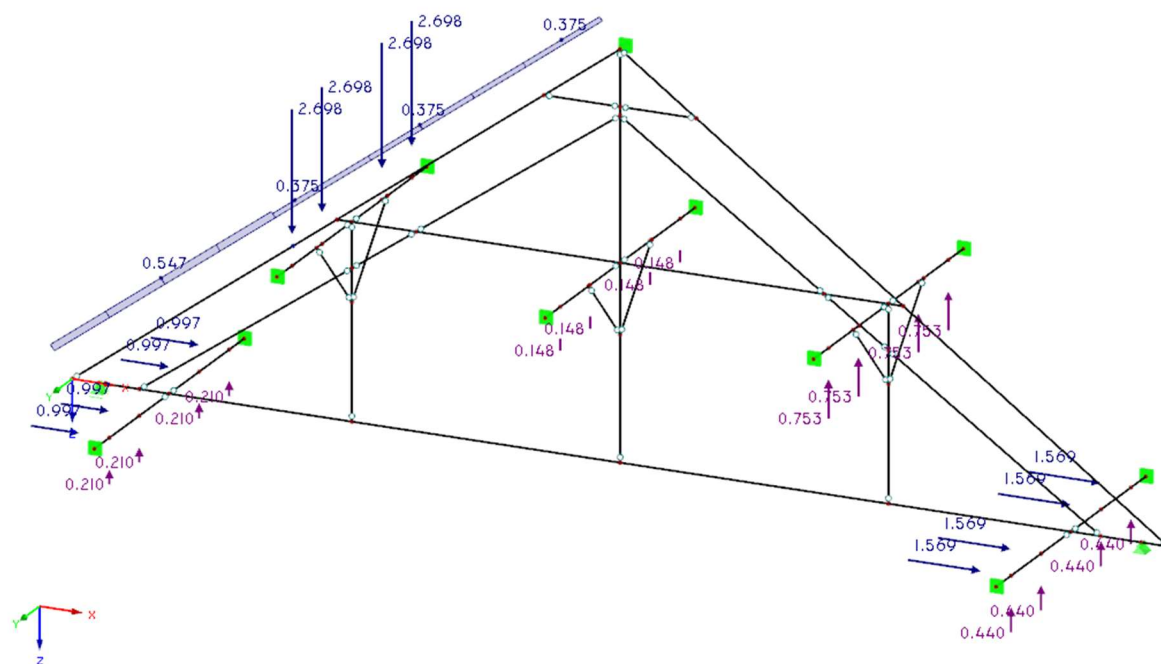
LC3 : zatížení sněhem 1/2
Loads [kN/m], [kN]



Zatížení sněhem na jedné polovině – stejné zatížení je ještě zrcadlově k tomuto

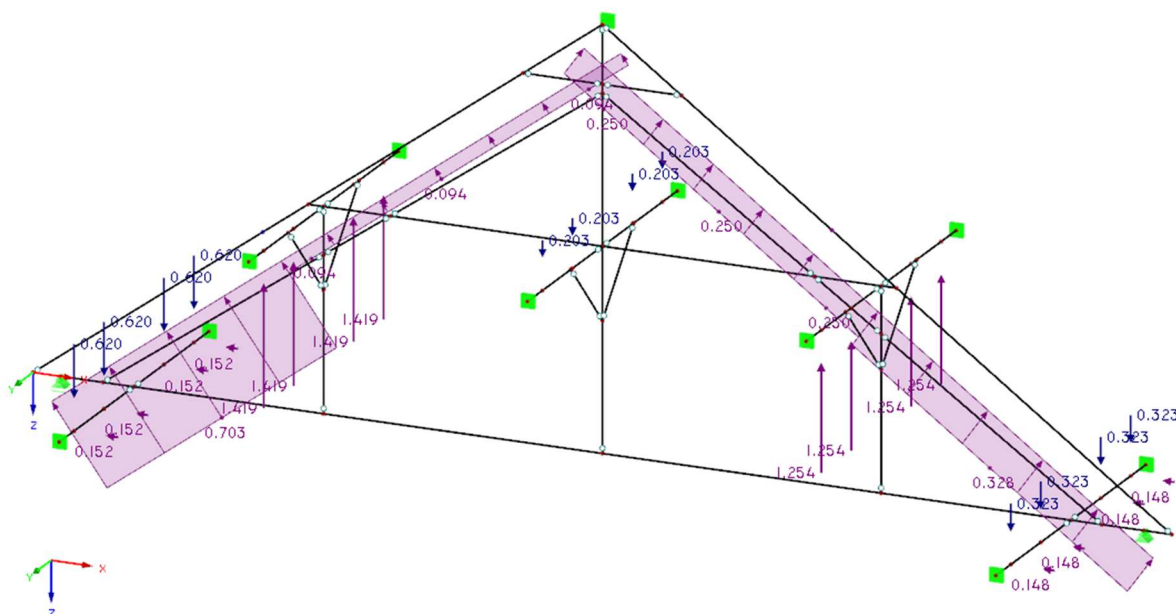
STATICKÝ POSUDEK CHOCEŇ, OBNOVA STŘECHY A ZÁMECKÉHO KROVU – ETAPA III.

LC5 : vítr pravá tlak
Loads [kN/m], [kN]



Zatížení větrem tlak – stejné zatížení je ještě zrcadlově k tomuto

LC7 : vítr pravá sání
Loads [kN/m], [kN]

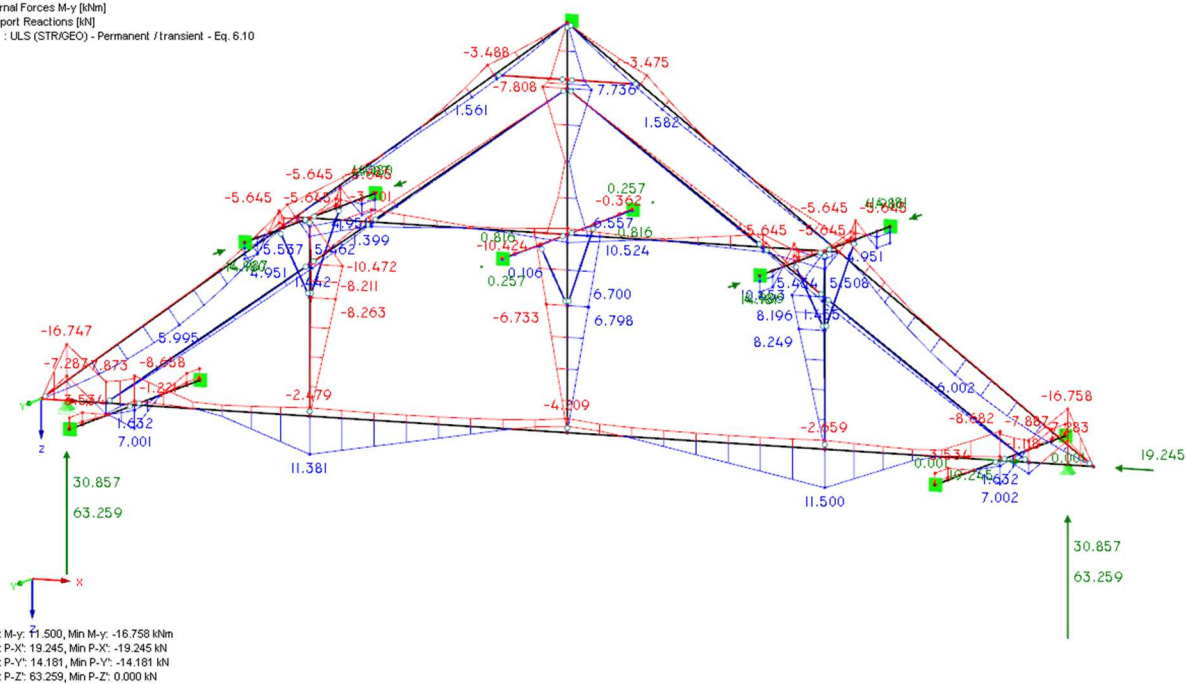


Zatížení větrem sání – stejné zatížení je ještě zrcadlově k tomuto

STATICKÝ POSUDEK CHOCEŇ, OBNOVA STŘECHY A ZÁMECKÉHO KROVU – ETAPA III.

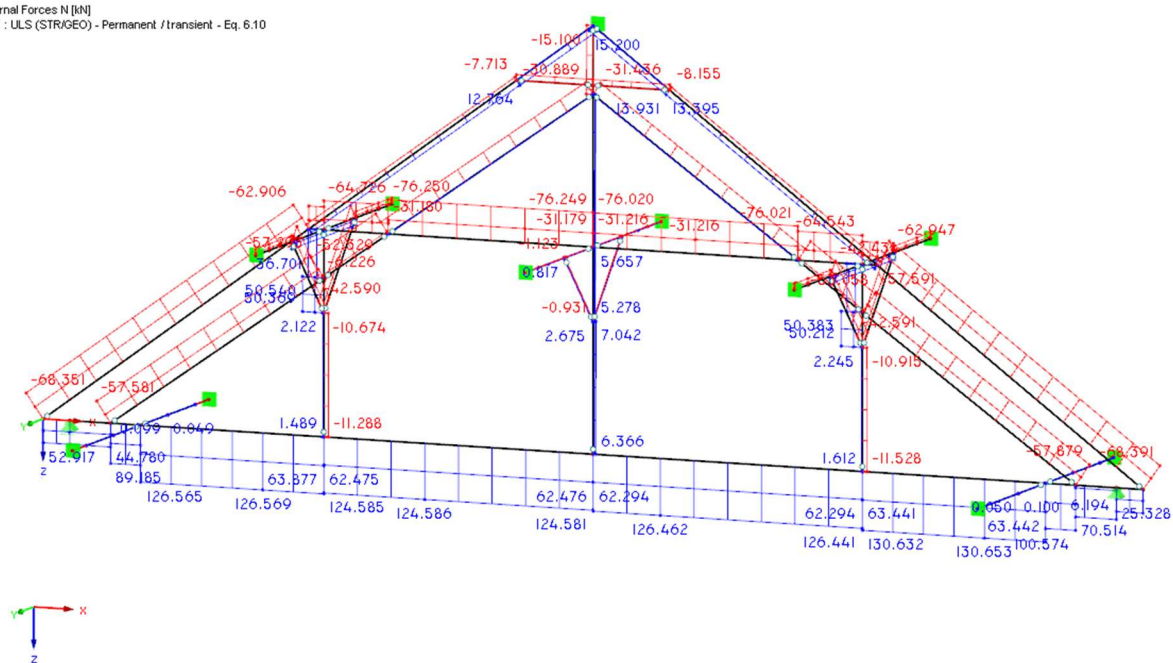
4.2 Vnitřní síly

Internal Forces M-y [kNm]
Support Reactions [kN]
RC1 : ULS (STR/GEO) - Permanent /transient - Eq. 6.10



Maximální reakce a momenty M_y

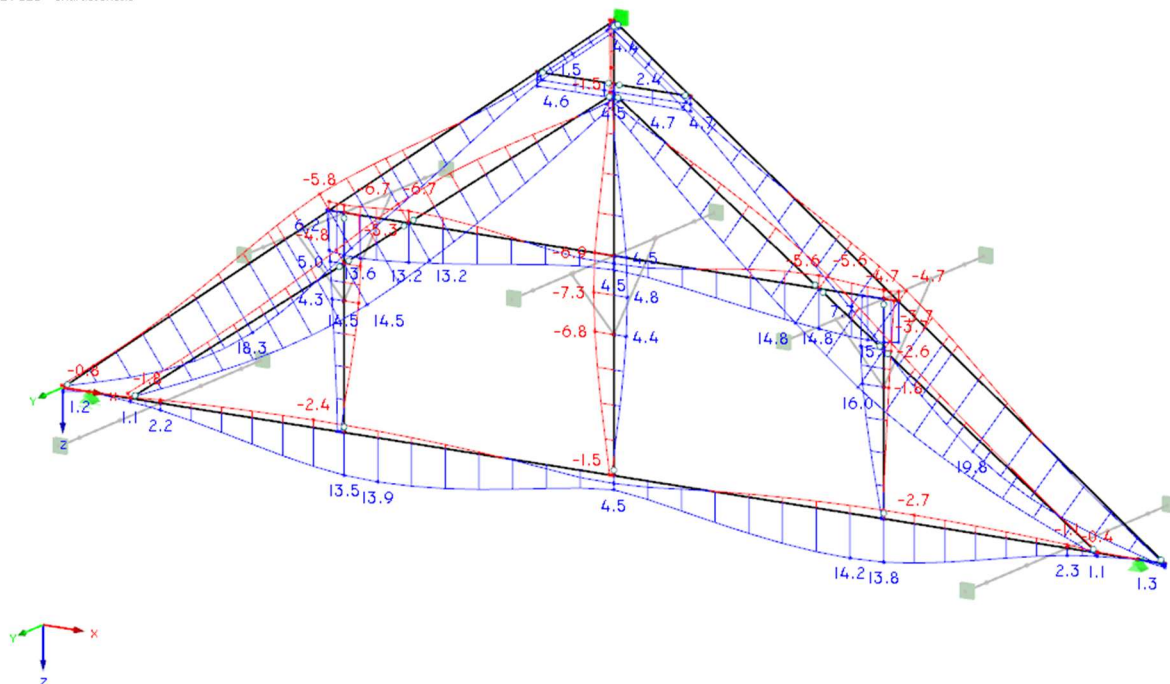
Internal Forces N [kN]
RC1 : ULS (STR/GEO) - Permanent /transient - Eq. 6.10



Maximální normálové síly

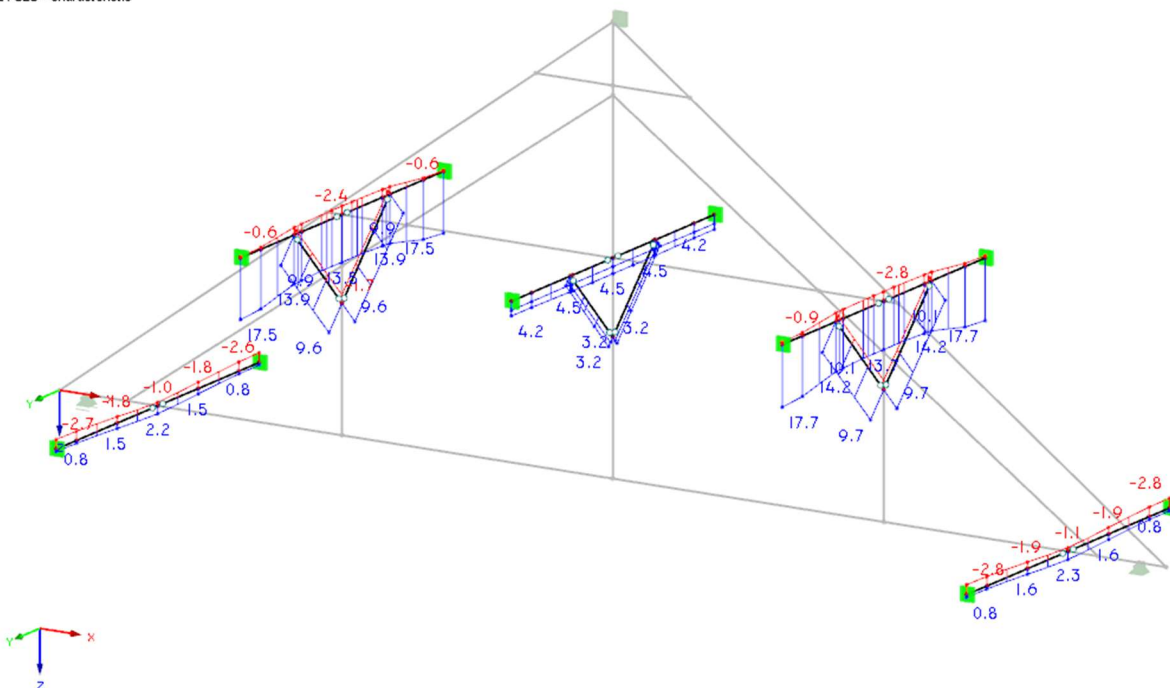
4.3 Deformace

Visibility mode
Local Deformations u-z [mm]
RC2 : SLS - Characteristic



Deformace krokví a hambalků

Visibility mode
Local Deformations u-z [mm]
RC2 : SLS - Characteristic



Deformace výměn, vaznic a pásků

5 Posouzení prvků jalové vazby

5.1 Posouzení na mezní stav únosnosti

5.1.1 Posouzení hambalku – nejnamáhanější prvek

Posouzení na smyk

Podmínka spolehlivosti

$$\tau_d < f_{vd}$$

Napětí ve smyku

$$\tau_d = \frac{3}{2} \frac{V}{k_{cr} A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{9,89}{0,67 \cdot 0,16 \cdot 0,18} = 768,8 \text{ kPa}$$

Posouzení

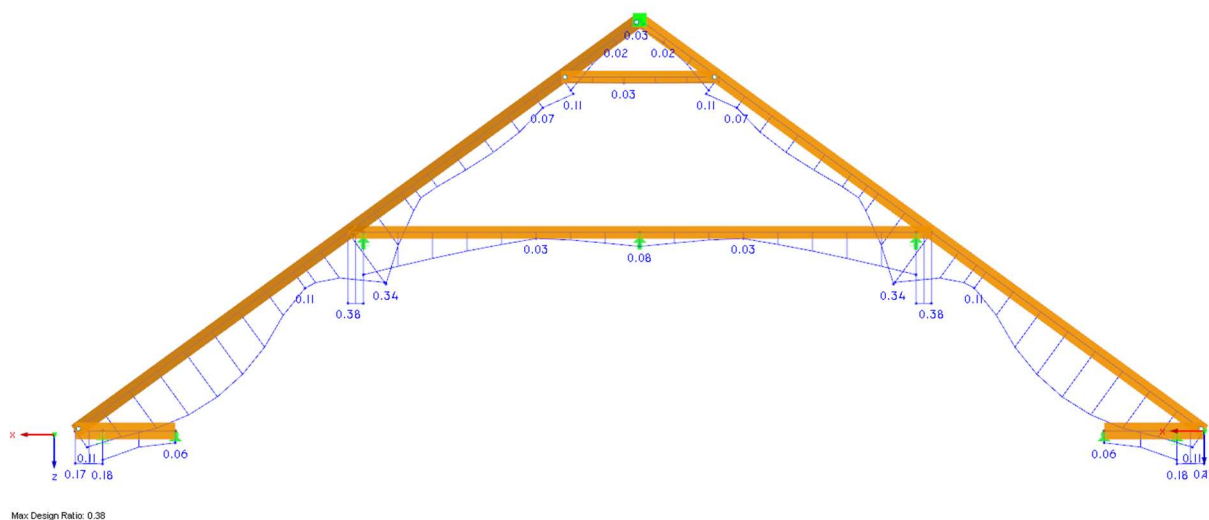
$$\tau_d = 769 \text{ kPa} < 2215 \text{ kPa} = f_{vd}$$

VYHOVUJE!!!

5.1.2 Posouzení zbylých prvků

Posouzení zbývajících prvků programem RFEM. Prvek vyhovuje, pokud je koeficient < 1.

Max Design Ratio [-]
RF-TIMBER Pro CA1



VYHOVUJE!!!

5.2 Posouzení na mezní stav použitelnosti

Vzhledem ke stáří krovu není nutné posuzovat dlouhodobý průhyb, protože dřevěné prvky jsou za dobu existence již deformovány. Okamžitý průhyb od nového zatížení je max. $u_z = 7,1 \text{ mm}$.

$$u_z = 7,1 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{4738}{250} = 19 \text{ mm}$$

VYHOVUJE!!!

6 Posouzení plné vazby

6.1 Posouzení na mezní stav únosnosti

6.1.1 Posouzení hambalku – nejnamáhanější prvek

Posouzení na smyk

Podmínka spolehlivosti

$$\tau_d < f_{vd}$$

Napětí ve smyku

$$\tau_d = \frac{3}{2} \frac{V}{k_{cr} A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{22,854}{0,67 \cdot 0,16 \cdot 0,18} = 1777 \text{ kPa}$$

Posouzení

$$\tau_d = 1777 \text{ kPa} < 2215 \text{ kPa} = f_{vd}$$

VYHOVUJE!!!

6.1.2 Posouzení tlaku kolmo k vláknům v místě uložení pozednice

Síla v podpoře: $R_{\max} = 63,259 \text{ kN}$

Efektivní plocha:

$$A_{ef} = 0,24 \cdot (0,24 + 0,03) = 0,0648 \text{ m}^2$$

Podmínka spolehlivosti

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_{\max}}{A_{ef}} < k_{c90} \cdot f_{c90d}$$

Posouzení

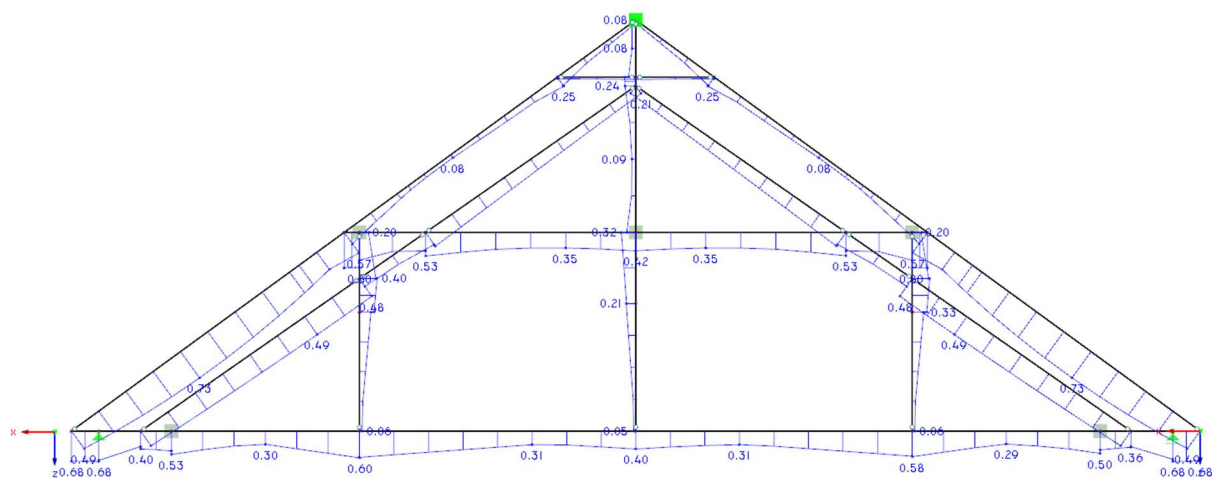
$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_{\max}}{A_{ef}} = \frac{63,259}{0,0648} = 976 \text{ kPa} < k_{c90} \cdot f_{c90d} = 1,25 \cdot 1451 = 1814 \text{ kPa}$$

VYHOVUJE!!!

6.1.3 Posouzení zbylých prvků

Posouzení zbývajících prvků programem RFEM. Prvek vyhovuje, pokud je koeficient < 1.

Max Design Ratio [-]
RF-TIMBER Pro CA1



Max Design Ratio: 0.80

VYHOVUJE!!!

6.2 Posouzení na mezní stav použitelnosti

Vzhledem ke stáří krovu není nutné posuzovat dlouhodobý průhyb, protože dřevěné prvky jsou za dobu existence již deformovány. Proto lze vzít méně přísné kritérium na posouzení průhybu (průhyby jsou konečné).

6.2.1 Posouzení kroků

$$u_z = 19,8 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{9805}{250} = 39,22 \text{ mm}$$

VYHOVUJE!!!

6.2.2 Posouzení vzpěr

$$u_z = 16 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{8475}{250} = 33,9 \text{ mm}$$

VYHOVUJE!!!

7 Posouzení vaznic, pásků a výměn

7.1 Posouzení na mezní stav únosnosti

7.1.1 Posouzení výměny – nejnamáhanější prvek

Dvouosý ohyb

$$M_{yd} \quad 7,002 \quad \text{kNm}$$

$$M_{zd} \quad 18,651 \quad \text{kNm}$$

Podmínka spolehlivosti

$$\frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} < 1$$

$$k_m \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} < 1$$

Součinitel $k_m = 0,7$ (obdélníkové průřezy)

Napětí od ohybu ve směru y

$$\sigma_{myd} = \frac{M_{yd}}{I_y} \cdot \frac{h}{2} = \frac{7,002}{\frac{0,24^4}{12}} \cdot 0,12 = 3039,1 \text{ kPa}$$

Napětí od ohybu ve směru z

$$\sigma_{mzd} = \frac{M_{zd}}{I_y} \cdot \frac{h}{2} = \frac{18,651}{\frac{0,24^4}{12}} \cdot 0,12 = 8095,1 \text{ kPa}$$

Posouzení

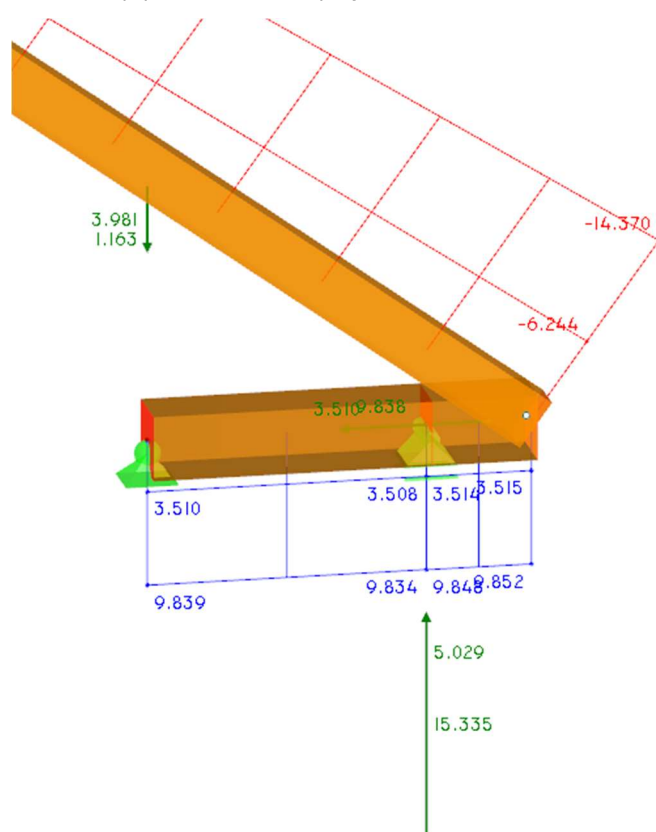
$$\frac{3039,1}{12308} + 0,7 \cdot \frac{8095,1}{12308} = 0,71 < 1$$

VYHOVUJE!!!

$$0,7 \cdot \frac{3039,1}{12308} + \frac{8095,1}{12308} = 0,83 < 1$$

VYHOVUJE!!!

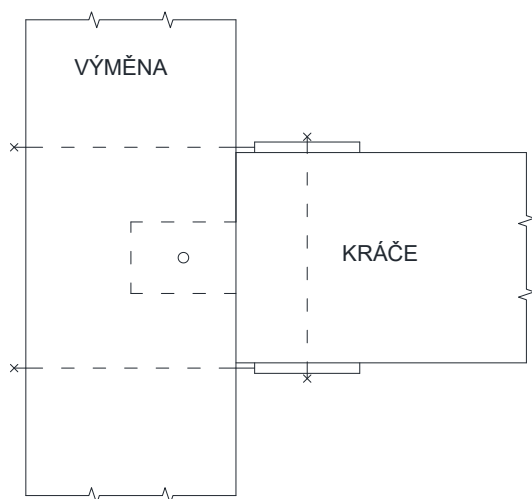
8.1 Síly působící na spoj



Normálová síla působící ve spoji
Smyková síla působící ve spoji

$N = 9,839 \text{ kN}$
 $V_z = 3,981 \text{ kN}$

8.2 Schéma spoje



8.3 Návrh a posouzení spoje

Průměr svorníků: 12 mm
Pevnostní třída: 8.8
Matka: $D = 45 \text{ mm}$, $d = 14 \text{ mm}$

8.3.1 Osově namáhané svorníky

Celková síla na spoj

$$N_{\max} = 9,839 \text{ kN}$$

Síla na jeden svorník

$$N_{\max,1/2} = 4,920 \text{ kN}$$

8.3.1.1 Únosnost v tahu

Únosnost svorníku v tahu

$$N_{Rd} = A_s \cdot f_y = 84,3 \cdot 10^{-6} \cdot 640 \cdot 10^3 = 53,952 \text{ kN} > N = 4,92 \text{ kN}$$

VYHOVUJE!!!

Posouzení otláčení matky (předpokládaná pevnost dřeva C20)

$$\sigma_{c,90} = \frac{N}{A} = \frac{4,92}{\left(\frac{\pi \cdot 45^2}{4} - \frac{\pi \cdot 14^2}{4}\right) \cdot 10^{-6}} = 3425 \text{ kPa} < 3 \cdot f_{c,90,k} = 3 \cdot 2,3 = 6,9 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE!!!

8.3.1.2 Posouzení na otláčení

Celková síla na spoj

$$V_z = 3,981 \text{ kN}$$

Síla na jeden svorník

$$V_{z,1/2} = 1,991 \text{ kN}$$

Charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti

$$M_{yRk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 640 \cdot 12^{2,6} = 1227792,7 \text{ Nm}$$

Pevnost v otláčení

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 330 = 23,8 \text{ MPa}$$

Charakteristická únosnost – rozhodující je porušení b (viz norma ČSN EN 1995-1)

$$F_{v,Rk} = 1,15 \sqrt{2 M_{yRk} f_{h,k} d} = 1,15 \sqrt{2 \cdot 1227792,7 \cdot 23,8 \cdot 12} = 9631 \text{ N}$$

Výpočtová únosnost

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{vRk}}{\gamma_M} \cdot k_{mod} = \frac{9,631}{1,3} \cdot 0,8 = 5,927 \text{ kN} > V_{z,1/2} = 1,991 \text{ kN}$$

VYHOVUJE!!!

8.3.2 Návrh a posouzení svaru Svorník – deska

Účinná výška svaru a: 3 mm

Účinná délka svaru L: $60 - 2a = 54 \text{ mm}$

Napětí rovnoběžné se svarem

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{A} = \frac{F}{2 \cdot a \cdot L} = \frac{4920}{2 \cdot 3 \cdot 54} = 15,2 \text{ MPa}$$

Napětí ve svaru

$$\sqrt{3} \tau_{\parallel} = \sqrt{3} \cdot 15,2 = 26,33 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE!!!

8.3.3 Příčně namáhaný svorník

Průměr svorníků: 14 mm

Pevnostní třída: 8.8

Síla na svorník

$$F = \sqrt{3,981^2 + 9,839^2} = 10,614 \text{ kN}$$

Úhel síly k vláknům

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{3,981}{9,839} = 22,03^\circ$$

8.3.3.1 Posouzení

Dvojstřížný spoj

Charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti

$$M_{yRk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 640 \cdot 14^{2,6} = 183330 \text{ Nm}$$

Pevnost v otláčení

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 14) \cdot 330 = 23,3 \text{ MPa}$$

Pevnost v otláčení pod úhlem

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{23,3}{1,56 \sin^2 22,03 + \cos^2 22,03} = 21,6 \text{ MPa}$$

Koeficient k_{90} pro jehličnaté dřevo

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,56$$

Charakteristická

$$F_{vRk} = 1,15 \sqrt{2 M_{yRk} f_{h,\alpha,k} d} = 1,15 \sqrt{2 \cdot 183330 \cdot 21,3 \cdot 14} = 12025 \text{ N}$$

Výpočtová únosnost

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{vRk}}{\gamma_M} \cdot k_{mod} = \frac{12,025}{1,3} \cdot 0,8 = 7,4 \text{ kN}$$

Celková únosnost spoje pro dvě střížové spáry

$$2F_{v,Rd} = 14,8 \text{ kN} > F = 10,614 \text{ kN}$$

VYHOVUJE!!!

9 Závěr

Výpočet byl proveden podle platných ČSN a ČSN EN. Dimenzované a stávající nosné prvky vyhovují z hlediska mezního stavu únosnosti (1. MS) i použitelnosti (2. MS). Konstrukce jako celek ze statického hlediska vyhovuje.

V dubnu 2016 v Praze

Vypracoval:

.....
Ing. Ondřej Čížek