



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

Fakulta Stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

### **Příloha A**

Kostel sv. Mikuláše – statické posouzení a návrh  
sanačních metod

Vyhotovil(a): Lukáš Dejdar

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aneta Maroušková

## OBSAH

1.0.	VÝPOČET LINIOVÉHO ZATÍŽENÍ OD VĚTRU .....	5
1.1.	ZÁKLADNÍ RYCHLOST VĚTRU .....	5
1.2.	CHARAKTERISTICKÁ STŘEDNÍ RYCHLOST VĚTRU.....	5
1.3.	MAXIMALNÍ DYNAMICKÝ TLAK .....	6
1.4.	TLAK VĚTRU NA KONSTRUKCI .....	6
	VÍTR PŘÍČNÝ .....	6
	VÍTR PODÉLNÝ .....	7
2.0.	ZATÍŽENÍ SNĚHEM .....	8
2.1.	VÝPOČET CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY ZATÍŽENÍ .....	9
3.0.	VÝPOČET STÁLÉHO ZATÍŽENÍ STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ.....	9
4.0.	Výpočetní model ve 3D s věšadlem .....	10
4.1.	Věšadlový model krovu ve 3D .....	10
4.2.	Plné a jalové vazby – klouby, podpory .....	11
4.3.	Zatížení .....	11
	Plná vazba – Tíha pláště .....	11
	Plná vazba – Sníh.....	12
	Plná vazba – Vítr příčný .....	12
	Plná vazba – Vítr podélný.....	13
4.4.	Kombinace EN-MSÚ SOUBOR B .....	13
	Plná vazba – Normálové síly N .....	13
	Plná vazba – Momenty $M_y$ .....	14
	Plná vazba – Posouvací síly $V_z$ .....	14
	Jalová vazba – Normálové síly N .....	15
	Jalová vazba – Momenty $M_y$ .....	15
	Jalová vazba – Posouvací síly $V_z$ .....	16
	Vaznice – Momenty $M_y$ .....	16
	Vaznice – posouvací síly $V_z$ .....	16
4.5.	Kombinace EN-MSP.....	17
	Jalová vazba – Průhyby uz.....	17
	Plná vazba – Průhyby uz.....	17
5.0.	Výpočetní model ve 3D bez věšadlem .....	18
5.1.	Bezvěšadlový model krovu ve 3D.....	18
5.1.	Plné a jalové vazby – klouby, podpory .....	19
5.2.	Kombinace EN-MSÚ SOUBOR B .....	19
	Plná vazba – Normálové síly N .....	19

Plná vazba – Momenty $M_y$ .....	20
Plná vazba – Posouvací síly $V_z$ .....	20
5.3.    Kombinace EN-MSP.....	21
Jalová vazba – Průhyby uz.....	21
Plná vazba – Průhyby uz.....	21
5.4.    Srovnání krovu s věšadlem a bez věšadla .....	22
Plná vazba – Normálové síly na hambálku, rozpěře, vzpěradlu, vazném trámu a krokvi...	22
Plná vazba – Moment vzpěradlu, vazném trámu a krokvi .....	23
Plná vazba – Průhyby uz.....	24
6.0.    Výpočetní model ve 2D s věšadlem .....	25
6.1.    Plné vazby – klouby, podpory .....	25
6.2.    Zatížení .....	25
Plná vazba – Tíha pláště .....	25
Plná vazba – Sníh.....	26
Plná vazba – Vítr příčný.....	26
Plná vazba – Vítr podélný.....	27
6.3.    Kombinace EN-MSÚ SOUBOR B .....	27
Plná vazba – Normálové síly $N$ .....	27
Plná vazba – Momenty $M_y$ .....	28
Plná vazba – Posouvací síly $V_z$ .....	28
Plná vazba – Průhyby uz.....	29
7.0.    Posouzení vybraných prvků na MSÚ A MSP .....	30
7.2.    POSOUZENÍ VZPĚRADLA.....	30
7.3.    POSOUZENÍ KROKVE .....	32
7.3.    POSOUZENÍ VĚŠADLA.....	35
7.4.    POSOUZENÍ HAMBÁLEK .....	36
8.0.    Klenba ve 3D .....	38
8.1.    Model klenby ve 3D .....	38
8.1.    Napětí od zatížení vlastní tíhou ( od automaticky generované sítě) .....	39
$\sigma_x$ napětí pohled A.....	39
$\sigma_x$ napětí pohled B.....	39
$\sigma_x$ napětí pohled C.....	39
$\sigma_x$ napětí pohled D (shora)                      a $\sigma_x$ napětí pohled E (ze spodu).....	40
$\sigma_y$ napětí pohled A .....	40
$\sigma_y$ napětí pohled B.....	40
$\sigma_y$ napětí pohled C.....	41

$\sigma_y$ napětí pohled D (shora)	a $\sigma_y$ napětí pohled E (ze spodu).....	41
$\sigma_{1+}$ napětí ze shora .....		41
$\sigma_{2+}$ napětí ze shora .....		42
$\sigma_{1-}$ napětí ze shora .....		42
$\sigma_{2-}$ napětí ze shora .....		42
8.2. Napětí od zatížení vlastní tíhou (s zjemněním sítě) .....		43
$\sigma_x$ napětí pohled A.....		43
$\sigma_x$ napětí pohled B.....		43
$\sigma_x$ napětí pohled C.....		43
$\sigma_x$ napětí pohled D (ze shora)	$\sigma_x$ napětí pohled E (ze spodu) .....	44
$\sigma_y$ napětí pohled A.....		44
$\sigma_y$ napětí pohled B.....		45
$\sigma_y$ napětí pohled C.....		45
$\sigma_y$ napětí pohled D (ze shora)	$\sigma_y$ napětí pohled E (ze spodu).....	45
$\sigma_{1+}$ napětí ze shora .....		46
$\sigma_{2+}$ napětí ze shora .....		46
$\sigma_{1-}$ napětí ze shora .....		47
$\sigma_{2-}$ napětí ze shora .....		47

# 1.0. VÝPOČET LINIOVÉHO ZATÍŽENÍ OD VĚTRU

Lokalita: Praskolesy

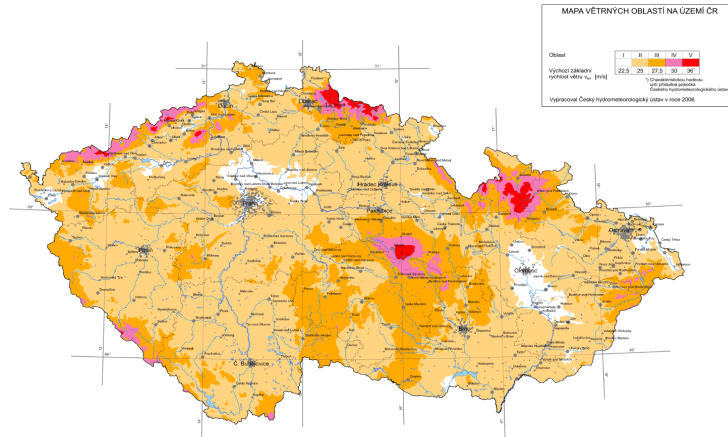
Větrová oblast: II.

$V_{b,0}=25\text{m/s}$

$P_{vz}=1,25\text{kg/m}^3$

$z=14,0\text{ m}$

Kategorie terénu: III.



## 1.1. ZÁKLADNÍ RYCHLOST VĚTRU

$$V_b = c_{dir} * c_{season} * V_{bo}$$

$$V_b = 1 * 1 * V_{bo} = 25 \text{ m/s}$$

$$c_{dir} = 1,0$$

\* $c_{dir}$  je součinitel směru větru

$$c_{season} = 1,0$$

\* $c_{season}$  je součinitel ročního období

## 1.2. CHARAKTERISTICKÁ STŘEDNÍ RYCHLOST VĚTRU

$$V_m(z) = c_{r(z)} * c_{0z} * V_b$$

$$V_m(z) = 0,794 * 1 * 25$$

$$V_m(z) = 19,86363 \text{ m/s}$$

**Součinitel nerovnosti terénu:**

$$c_{r(z)} = (k_r * \ln(z/z_0)) = 0,22 * \ln(12/0,3) = 0,794545$$

**Součinitel terénu:**

$$k_r = 0,19 * (z_0/z_{0II})^{0,07} = 0,19 * (0,3/0,05)^{0,07} = 0,215389$$

$$z_{max} > z > z_{min}$$

$$z_0 = 0,3\text{m} \quad z_{min} = 5 \text{ m}$$

$$z_{0,II} = 0,05\text{m}$$

### 1.3. MAXIMALNÍ DYNAMICKÝ TLAK

$$q_{p(z)} = c_{e(z)} * q_b$$

$$q_{p(z)} = 1,7812 * 246,6024$$

$$q_{p(z)} = 439,2497 \text{ N/m}^2$$

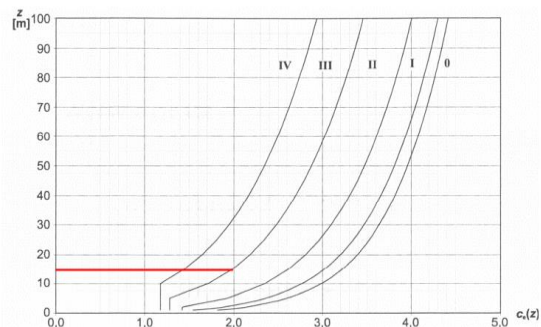
**Základní tlak větru:**

$$q_b = 1/2 * P_{vz} * v_m^2(z)$$

$$q_b = 0,5 * 1,25 * 19,85^2$$

$$q_b = 246,6024 \text{ N/m}^2$$

$Z_{max} > Z > Z_{min}$



$$I_{v(z)} = k_1 / (c_{oz} * \ln(z/z_0)) = 1,0 / 1,0 * \ln(14/0,3) = 0,260211$$

\* $k_1$  je součinitel turbulence

**Součinitel expozice**

$$c_{e(z)} = (1 + 7 * I_{v(z)}) * (c_{oz}) * c_{r(z)}^2 = 1,781206$$

### 1.4. TLAK VĚTRU NA KONSTRUKCI

**VÍTR PŘÍČNÝ**

**Hodnoty součinitele**

Úhel střechy:  $49^\circ$

Šířka střechy: 31 m

Délka střechy: 11 m

$b = 31 \text{ m}$

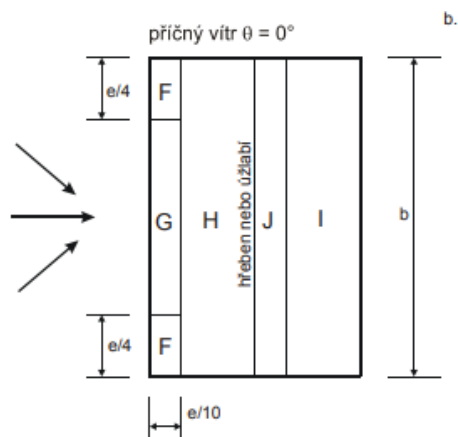
$e = \min(b; 2h)$

$e = \min(31; 28)$

$e = 28 \text{ m}$

$e/4 = 7 \text{ m}$

$e/10 = 2,8 \text{ m}$



**Tabulka – Hodnoty součinitele vnějšího tlaku cpe pro sedlové střechy**

	Oblast pro směr $\phi=0^\circ$				
Úhel sklonu	F	G	H	I	J
$\alpha$	$C_{pe10}$	$C_{pe10}$	$C_{pe10}$	$C_{pe10}$	$C_{pe10}$
45	0	0	0	-0,2	-0,3
	0,7	0,7	0,6	0	0
60	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
Interpolace	0,7	0,7	0,62667	-0,2	-0,3
$W_{ek}$	307,4748	307,4748	275,263	-87,8499	-131,775

$$W_{e(k)} = q_p(z) * C_{pe(x)} \quad \text{N/m}^2$$

\* kladné hodnoty jsou tlakové, záporné znamenají tah

\*plocha střechy je <math>10 \text{ m}^2</math> proto uvažujeme  $C_{pe10}$

### VÍTR PODÉLNÝ

Úhel střechy:  $49^\circ$

Šířka střechy: 11 m

Délka střechy: 31 m

$b = 11 \text{ m}$

$e = \min(b; 2h)$

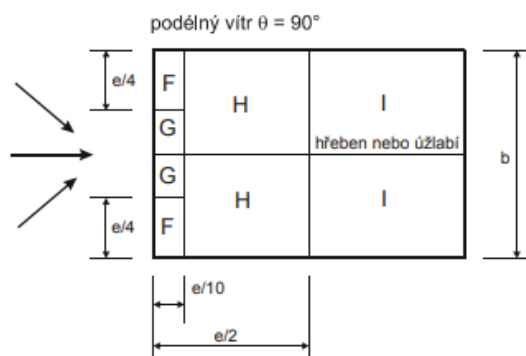
$e = \min(11; 28)$

$e = 11 \text{ m}$

$e/2 = 5,5 \text{ m}$

$e/4 = 2,75 \text{ m}$

$e/10 = 1,1 \text{ m}$



**Tabulka- Hodnoty součinitele vnějšího tlaku cpe pro sedlové střechy**

	Oblast pro směr $\phi=90^\circ$			
Úhel sklonu	F	G	H	I
$\alpha$	$C_{pe10}$	$C_{pe10}$	$C_{pe10}$	$C_{pe10}$
45	-1,1	-1,4	-0,9	-0,5
60	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5
Interpolace	-1,1	-1,34667	-0,8733	-0,5
$W_{ek}$	-483,175	-591,523	-383,61	-219,625

$$W_{e(k)} = q_p(z) * C_{pe(x)} \quad \text{N/m}^2$$

\* kladné hodnoty jsou tlakové, záporné znamenají tah

\*plocha střechy je <math>10 \text{ m}^2</math>, proto uvažujeme  $C_{pe10}$

**Tabulka- Výsledné zatížení působící liniově na krokově**

Oblast	Zatížení větrem $W_{e(kl)}=q_{p(z)} * C_{pe(X)} * \text{vzdálenost}$ krokví				
Název	F	G	H	I	J
Podélný	-0,43486	-0,53237	-0,3453	-0,19766	0
Příčný	0,276727	0,276727	0,24774	-0,07906	-0,1186

\* vzdálenost krokví 900 mm

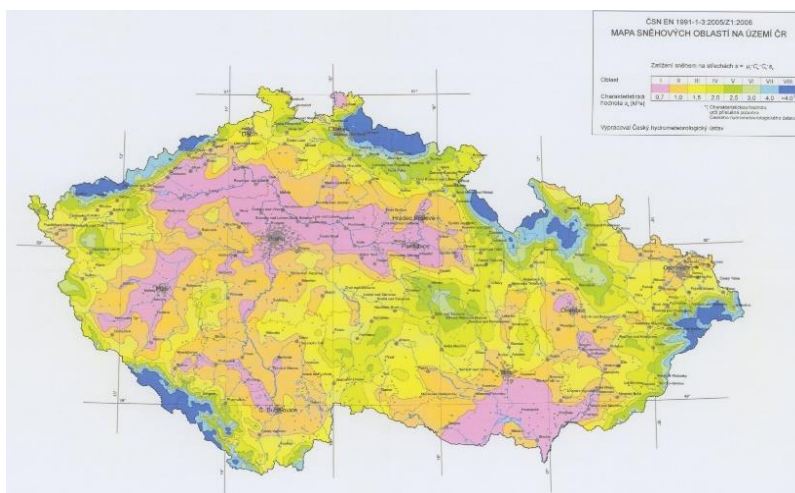
## 2.0. ZATÍŽENÍ SNĚHEM

Lokalita: Praskolesy

Sněhová oblast II.  $s_k=1,0 \text{ kN/m}^2$

\*charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

MAPA SNĚHOVÝCH OBLASTÍ NA ÚZEMÍ ČR





## 2.1. VÝPOČET CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY ZATÍŽENÍ

### SOUČINITELÉ

souč. expozice  $C_e=1$

\*typ krajiny: normální

souč. tepla  $C_t=1$

tvárový souč.  $\mu_1=0,8*(60-\alpha)/30=$  0,29333333

\*sklon (podélná loď) střechy: 49 °

tvárový souč.  $\mu_1=0,8$

\*sklon (sakristie) střechy: 14°

$S_{k1} = \mu_{1\alpha} * C_e * C_t * S_k$

0,3 kN/m<sup>2</sup>

\*podélná loď

$S_{k2} = \mu_{1\alpha} * C_e * C_t * S_k$

0,8 kN/m<sup>2</sup>

\*sakristie

## 3.0. VÝPOČET STÁLÉHO ZATÍŽENÍ STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ

### LINIOVÉ ZATÍŽENÍ 3D MODEL

NÁZEV	ZATĚŽOVACÍ ŠÍŘKA	PLOŠNÁ TÍHA	LINIOVÁ TÍHA
	m	kN/m <sup>2</sup>	kN/m
*KERAMICKÁ BOBROVKA	0,9	0,85	0,765
LAŤOVÁNÍ (40x60mm) na maltu		0,06	0,06
CELKEM			0,825

### BODOVÉ ZATÍŽENÍ

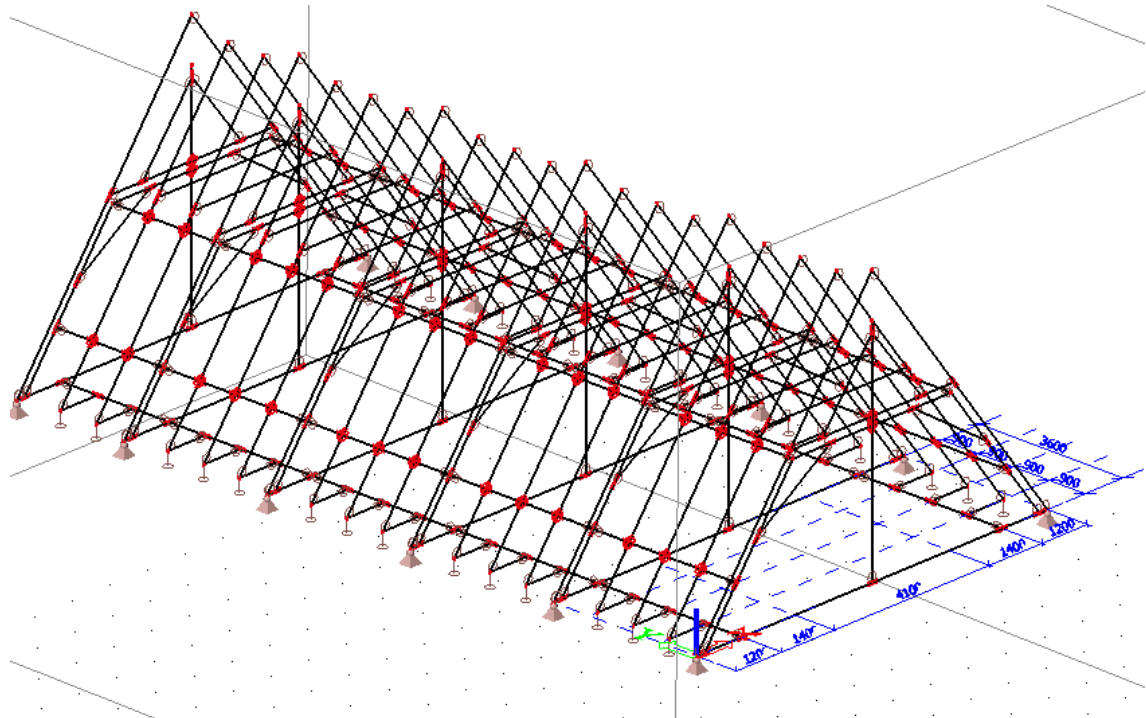
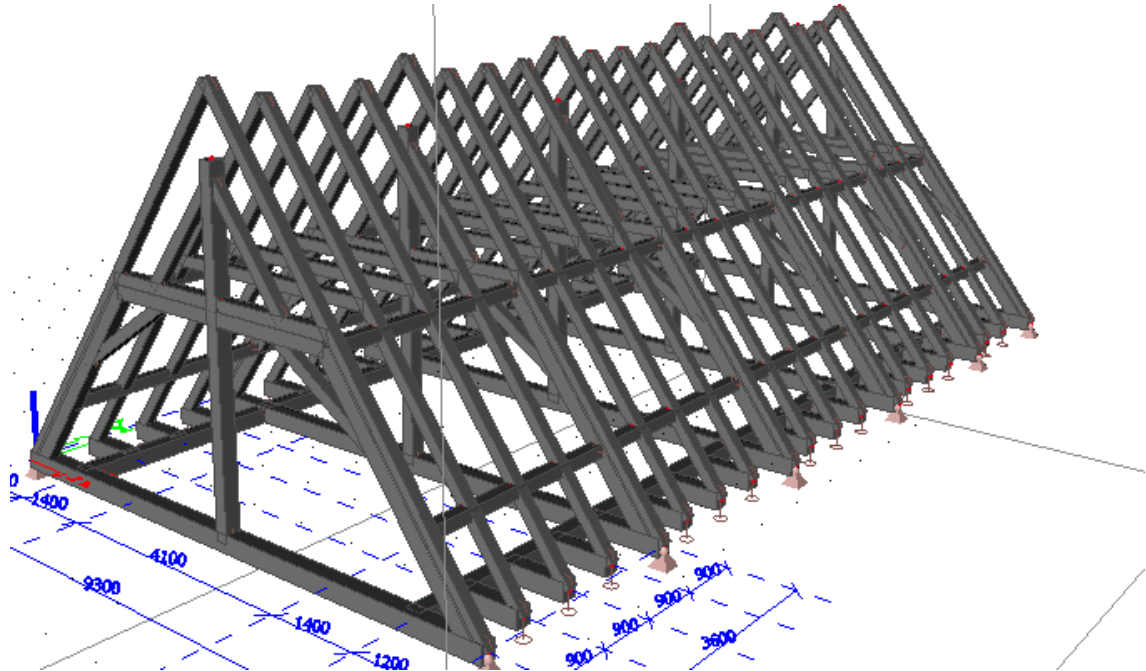
NÁZEV	ROZMĚRY	DÉLKA PRVKU	LINOVÁ HMOTNOST	OSOVÁ SÍLA
	m*m	m	kg/m <sup>2</sup>	kN
**ONDŘEJSKÝ KŘÍŽ	0,18*0,18	3,8	24,3	0,9234
**ONDŘEJSKÝ KŘÍŽ	0,18*0,18	3	24,3	0,729

\*Zatížení převzato ze Stavitelství II. Díl vydaný v roce 1954 STNL, kolektiv autorů

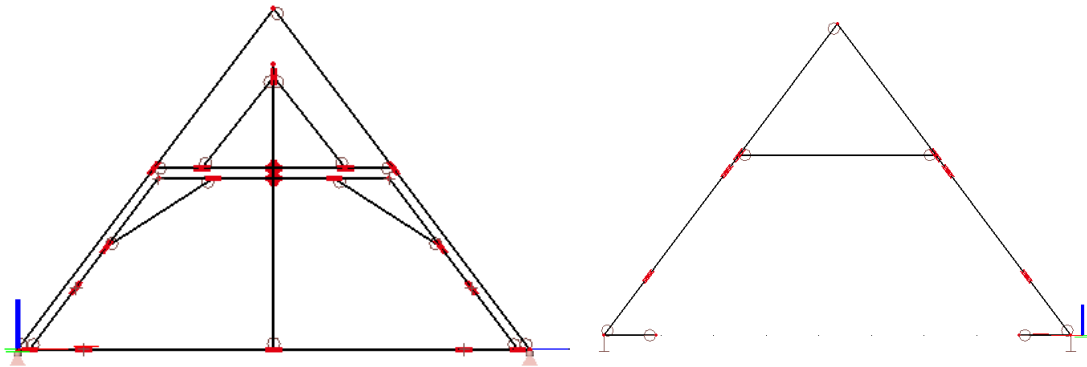
\*\* Do krajových plných vazeb pouze polovina síly

## 4.0. Výpočetní model ve 3D s věšadlem

### 4.1. Věšadlový model krovu ve 3D

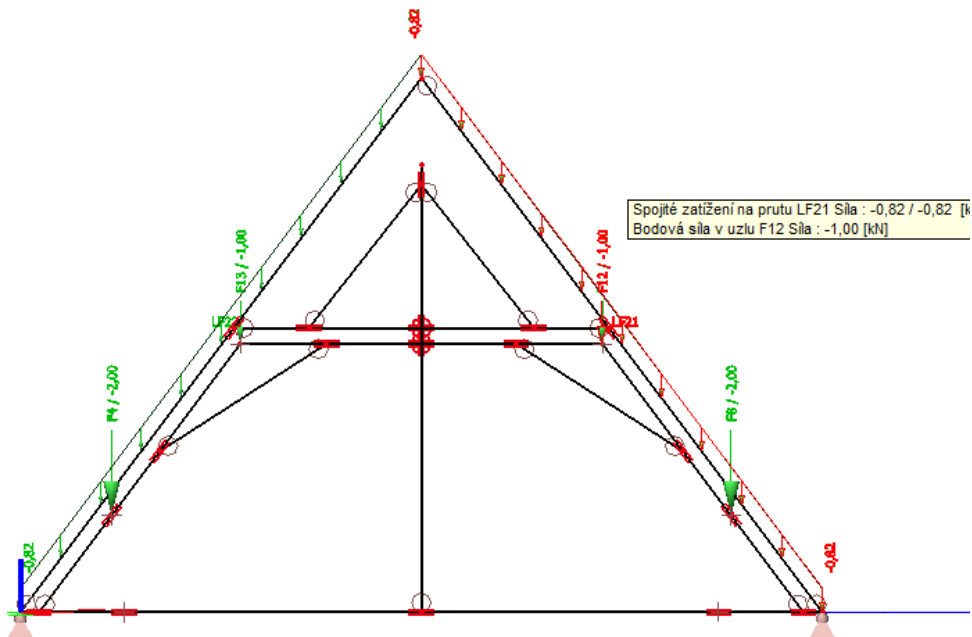


## 4.2. Plné a jalové vazby – klouby, podpory

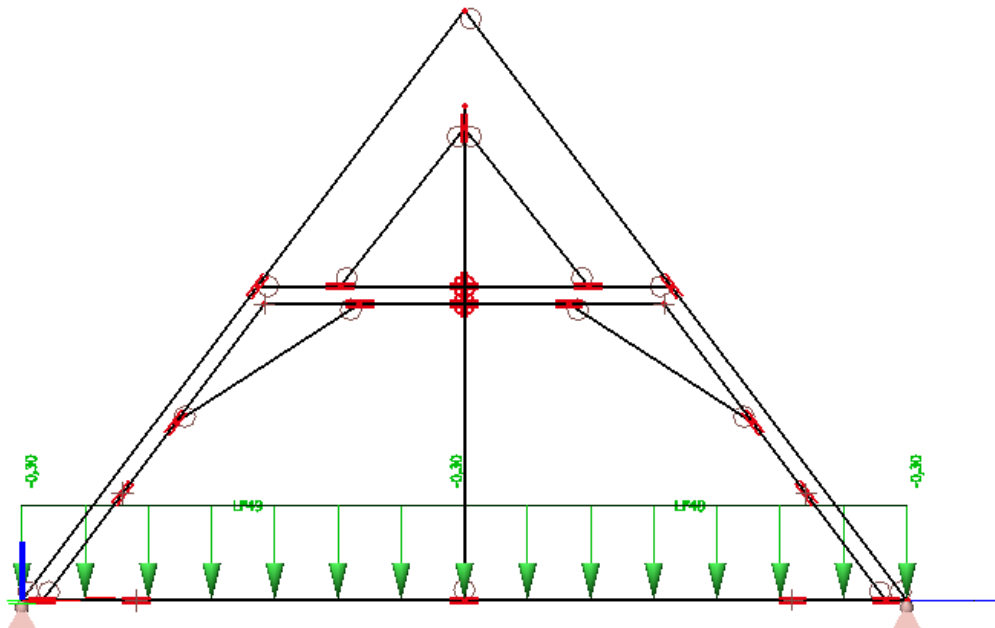


## 4.3. Zatížení

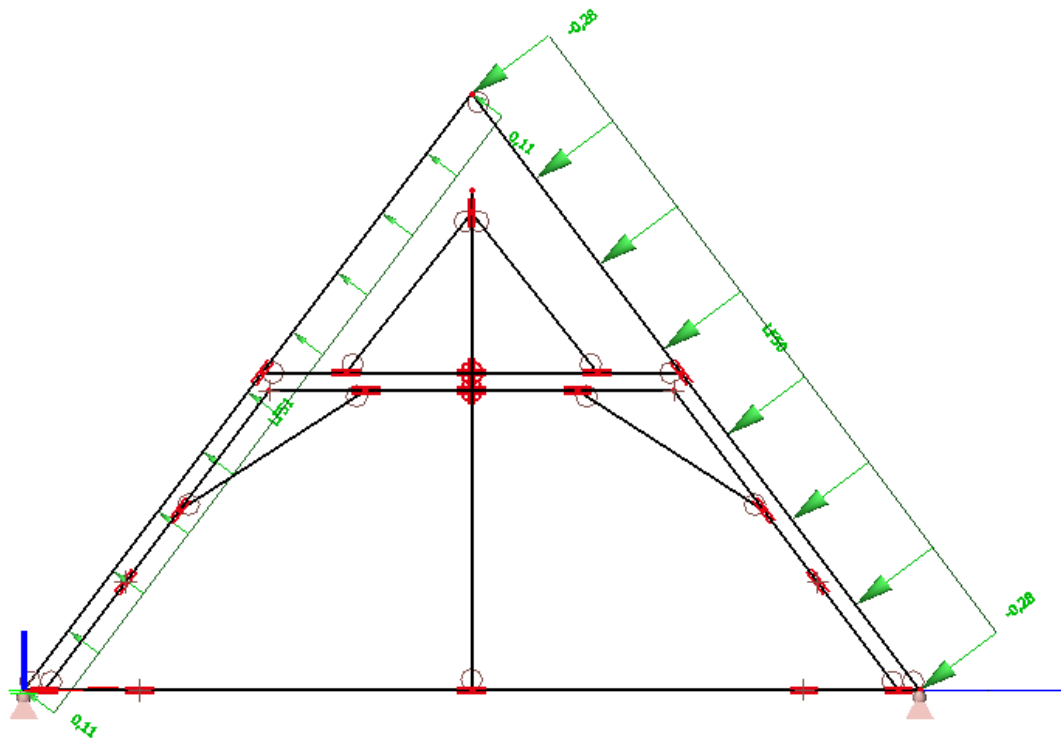
Plná vazba – Tíha pláště



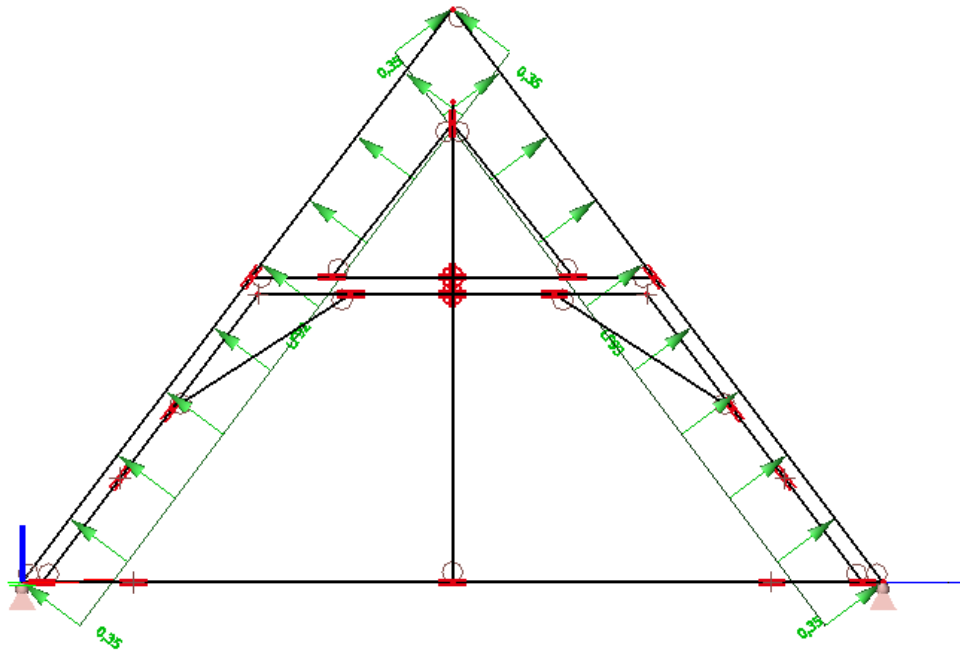
## Plná vazba – Sníh



## Plná vazba – Vítr příčný

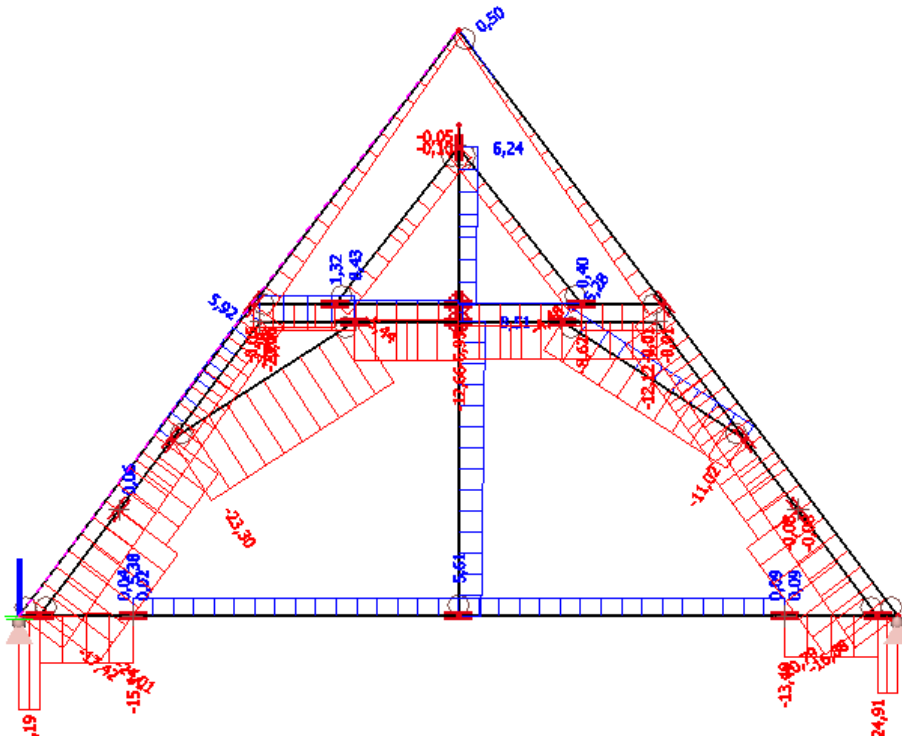


## Plná vazba – Větr podélný

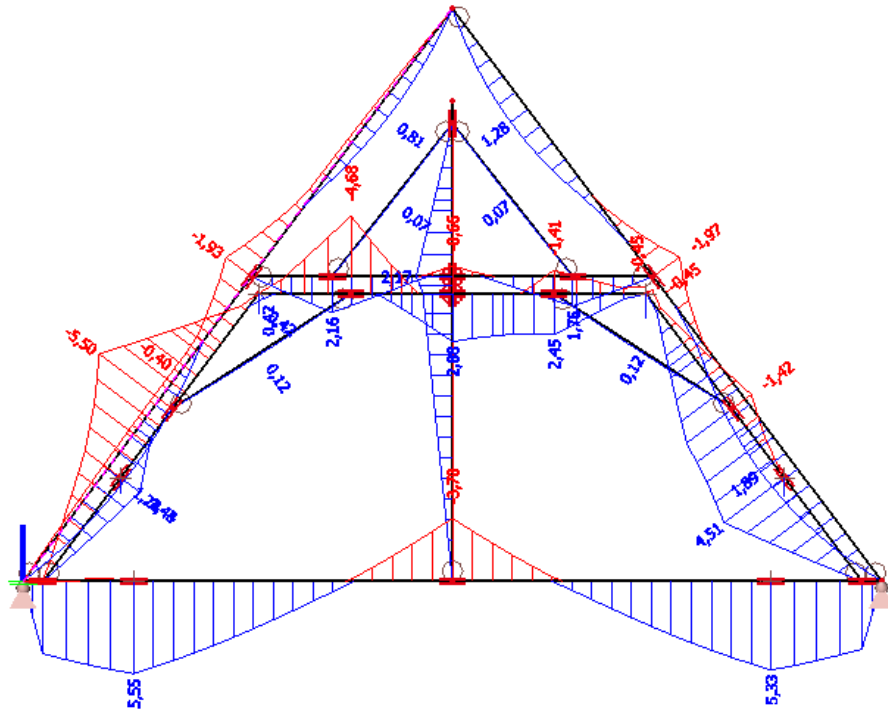


## 4.4. Kombinace EN-MSÚ SOUBOR B

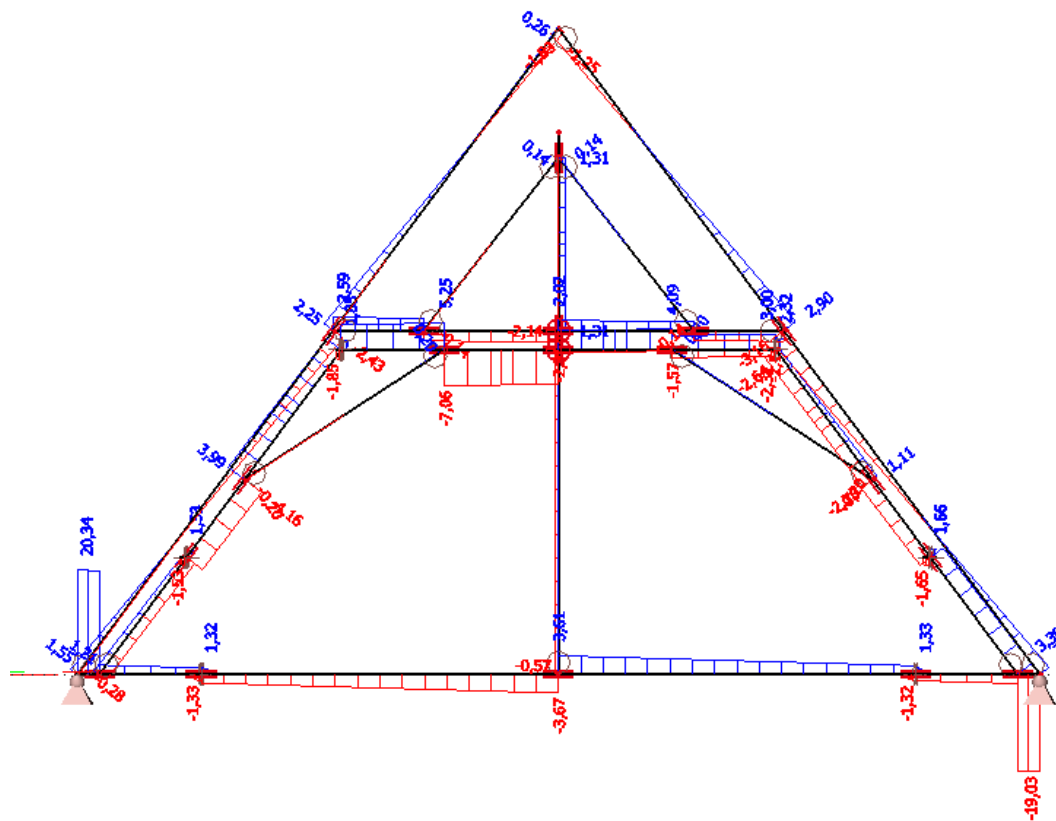
### Plná vazba – Normálové síly N



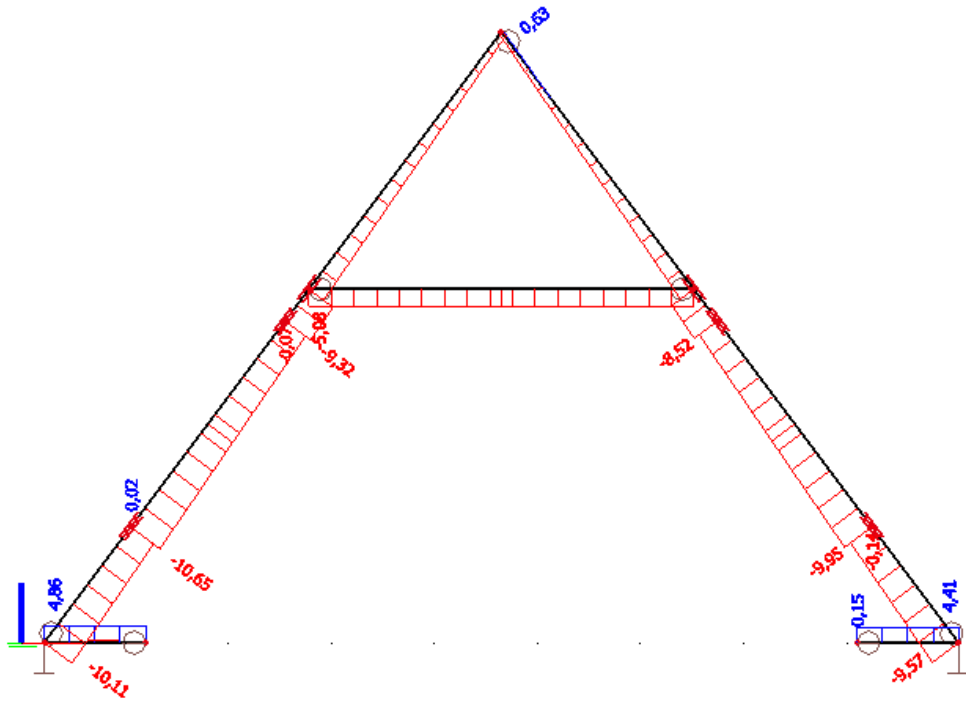
### Plná vazba – Momenty $M_y$



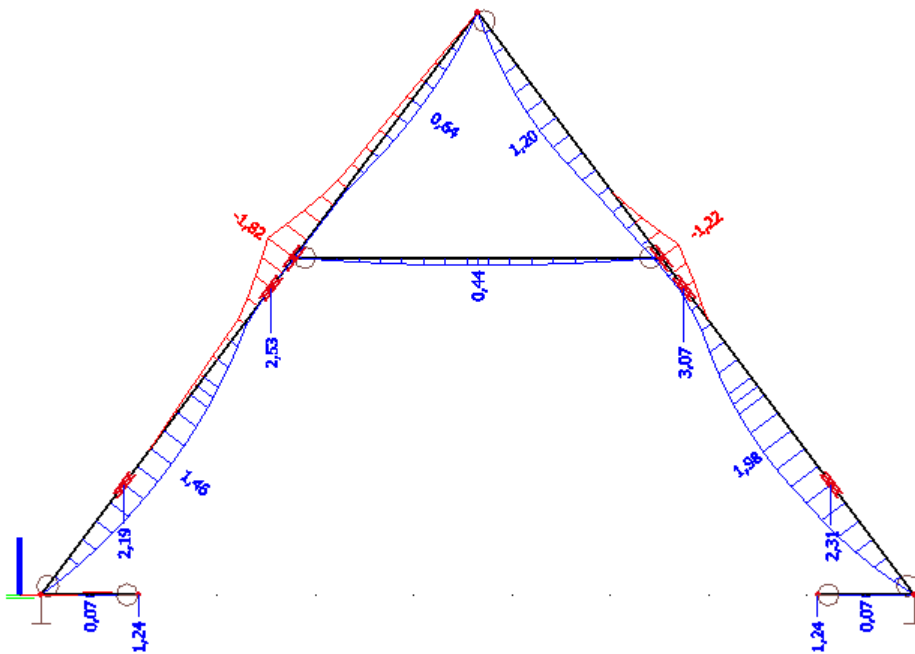
### Plná vazba – Posouvací síly $V_z$



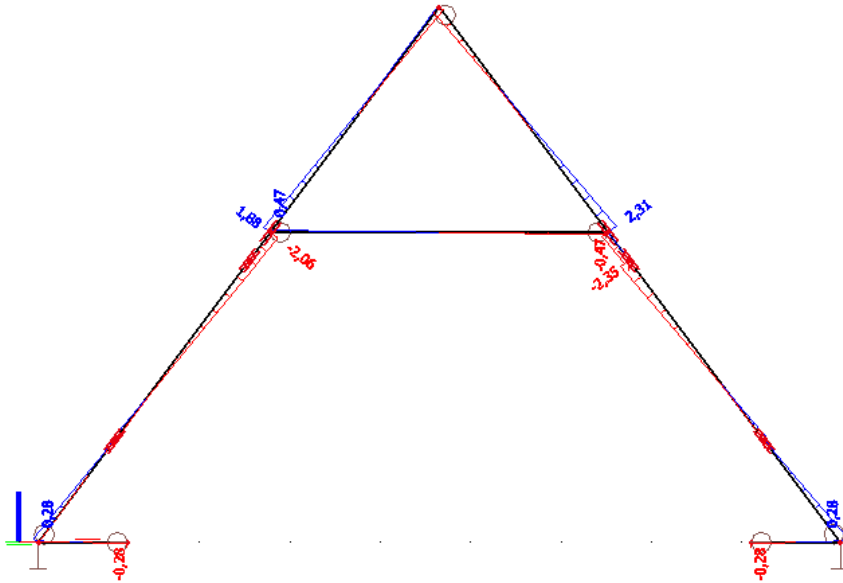
## Jalová vazba – Normálové síly N



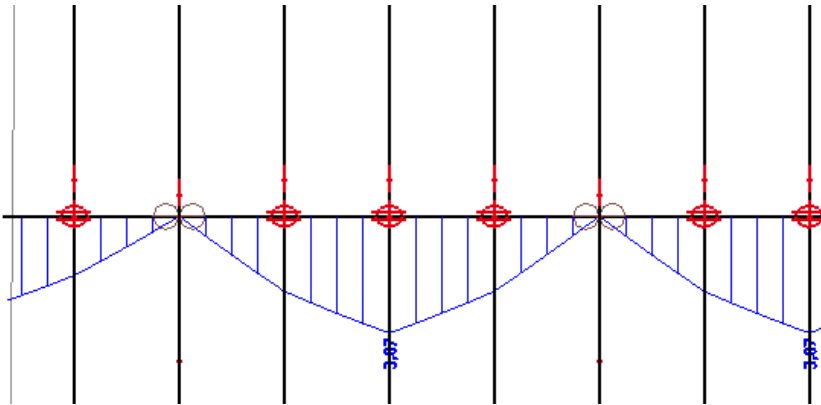
## Jalová vazba – Momenty My



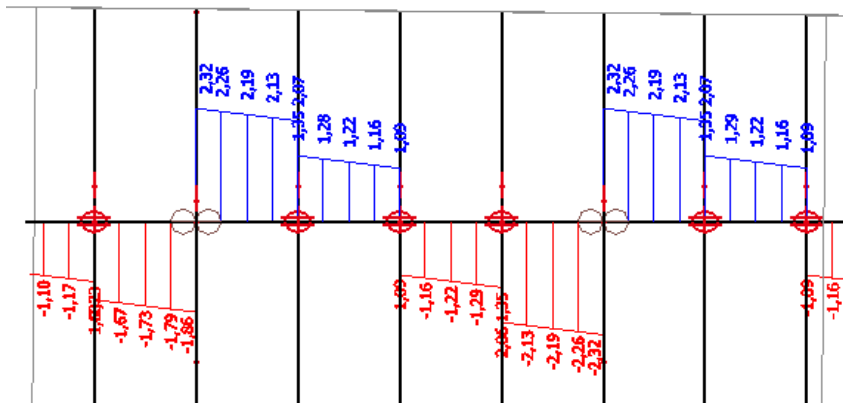
## Jalová vazba – Posouvací síly Vz



## Vaznice – Momenty My



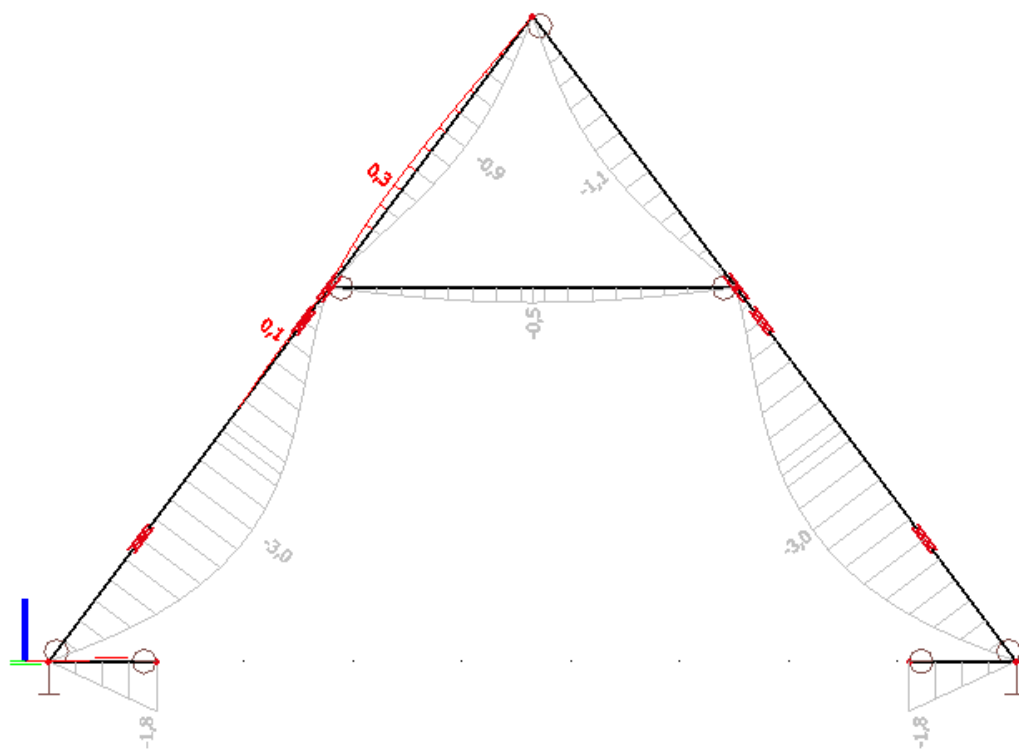
## Vaznice – posouvací síly Vz



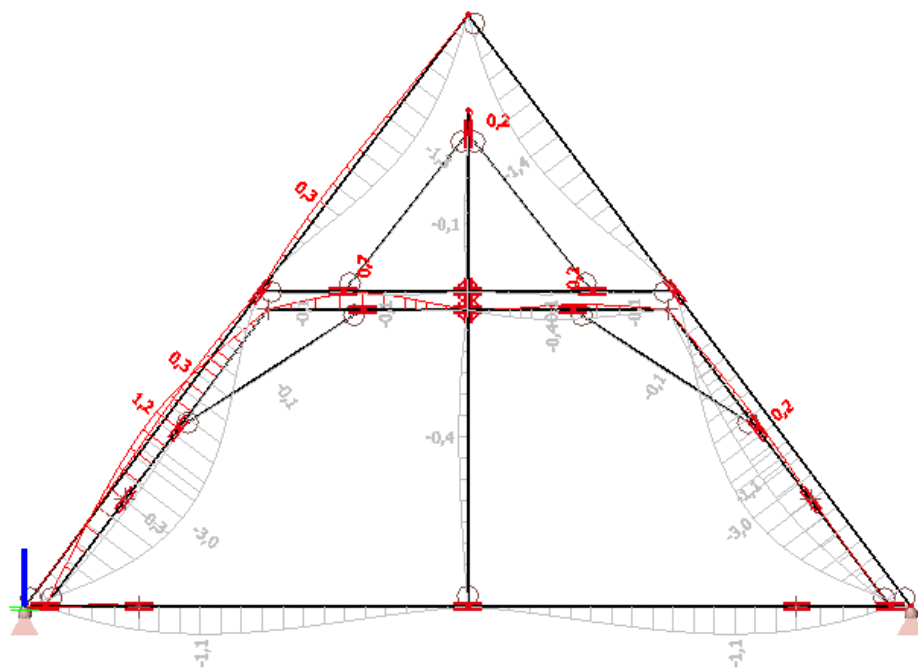


## 4.5. Kombinace EN-MSP

Jalová vazba – Průhyby uz

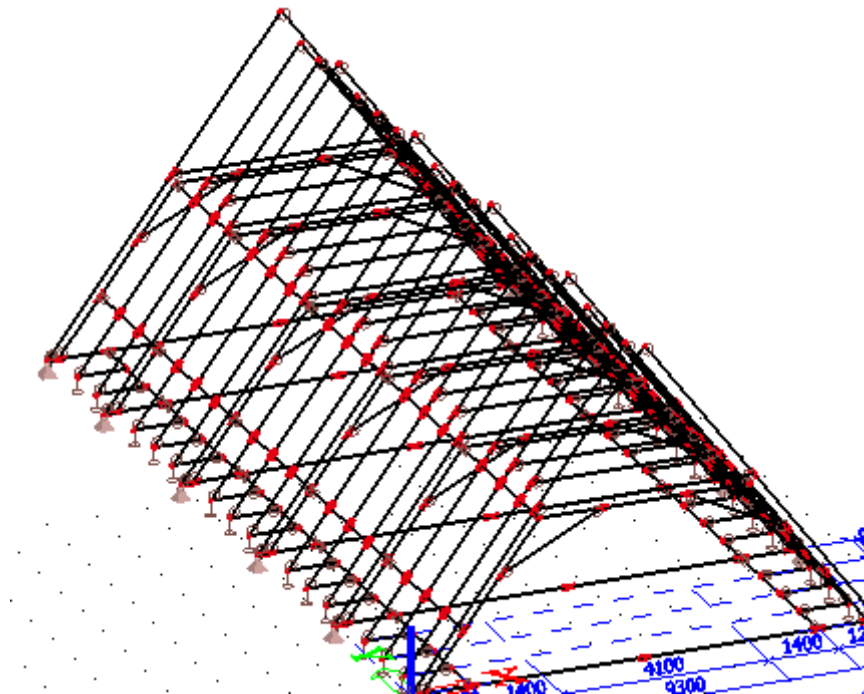
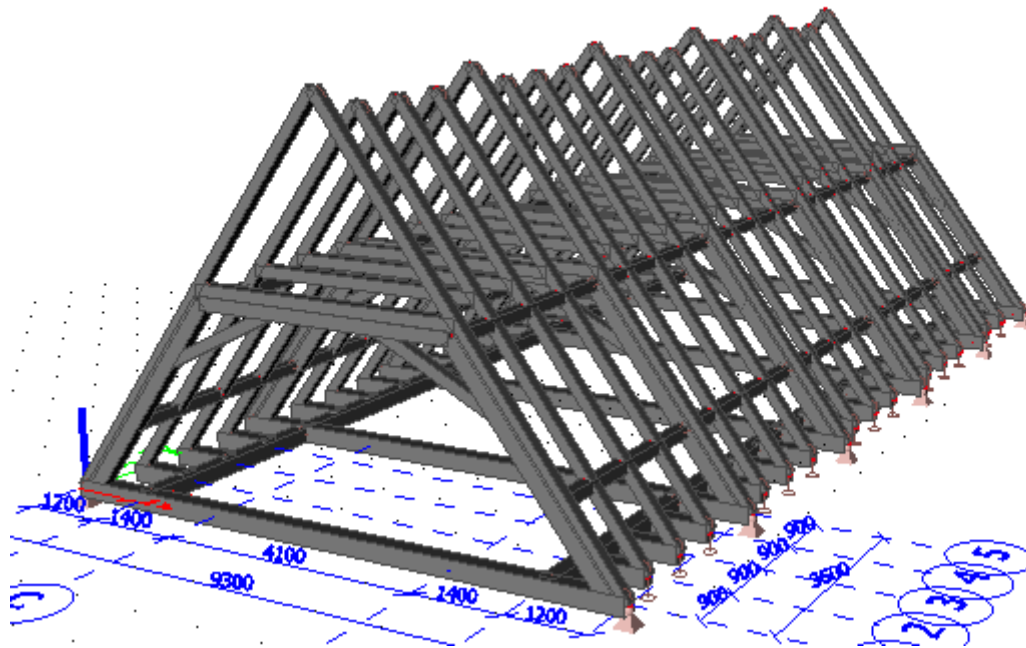


Plná vazba – Průhyby uz

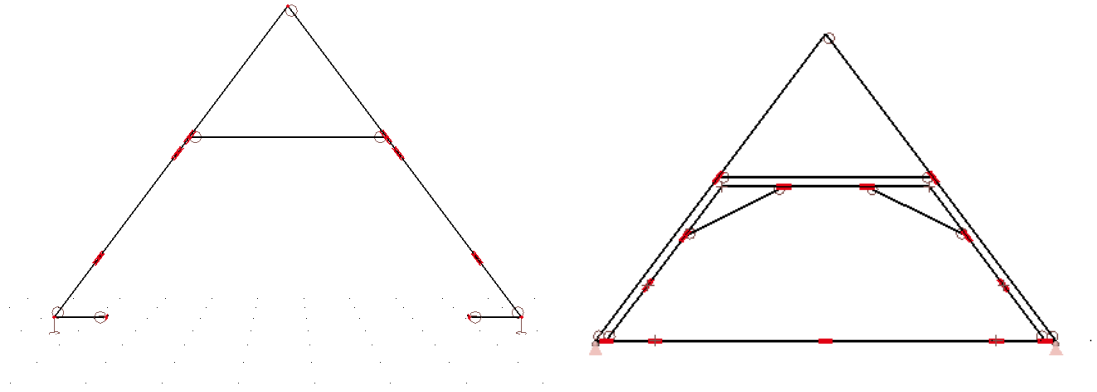


## 5.0. Výpočetní model ve 3D bez věšadlem

### 5.1. Bezvěšadlový model krovu ve 3D



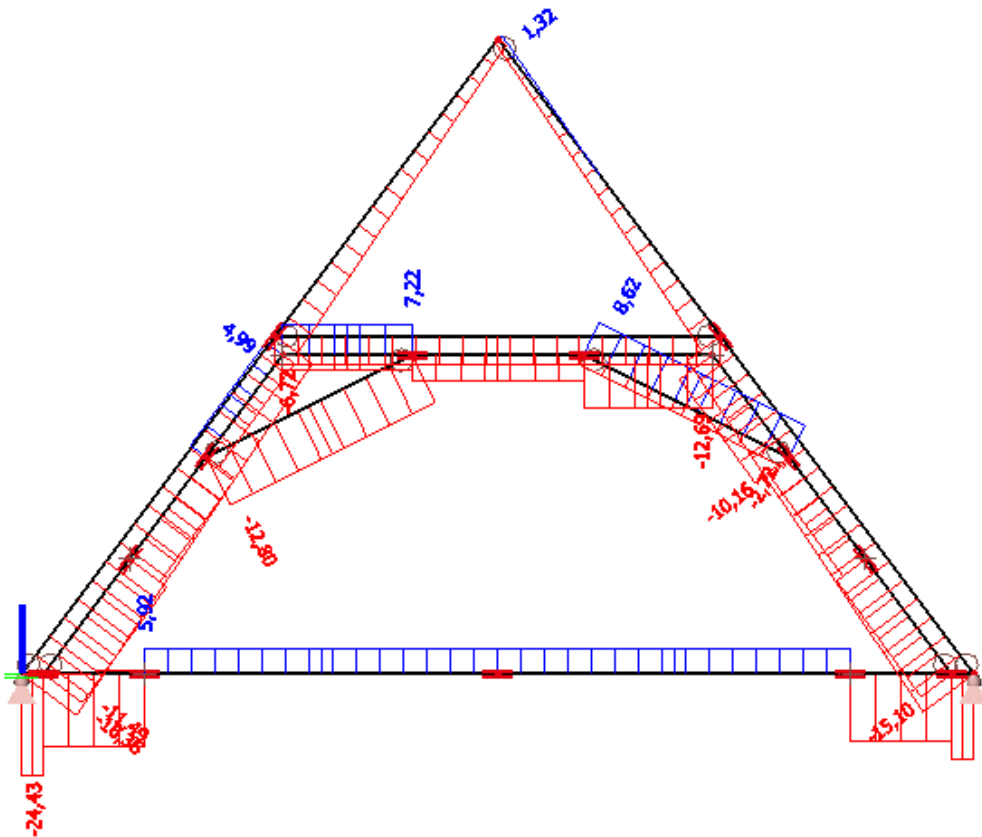
## 5.1. Plné a jalové vazby – klouby, podpory



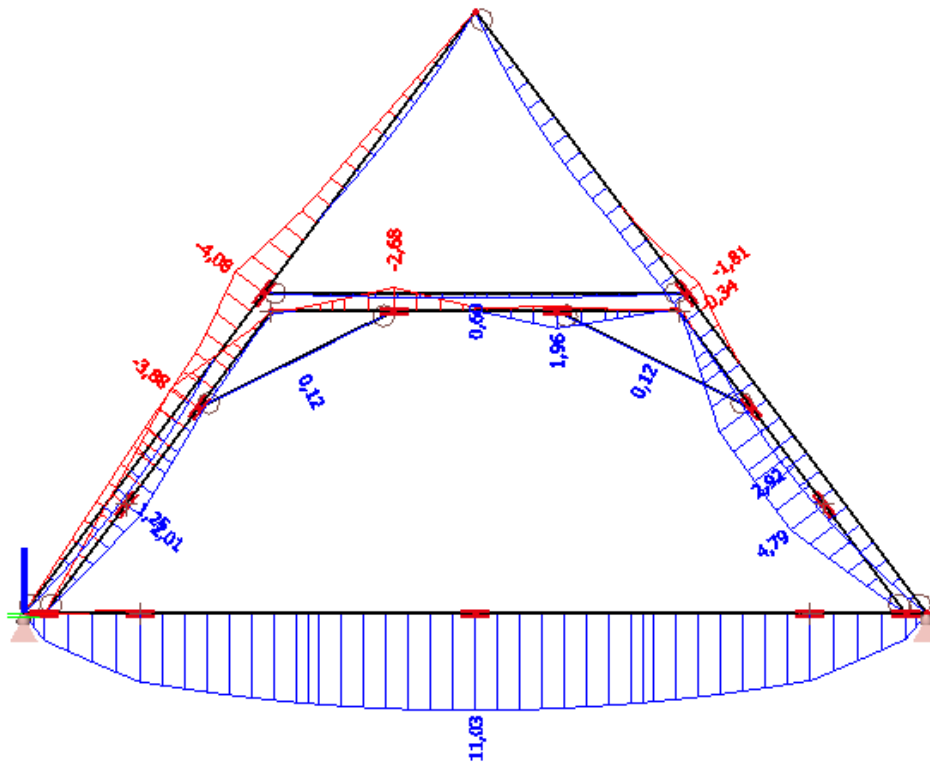
## 5.2. Kombinace EN-MSÚ SOUBOR B

\*při stejném zatížení a kombinaci jako u krovu s věšadlem

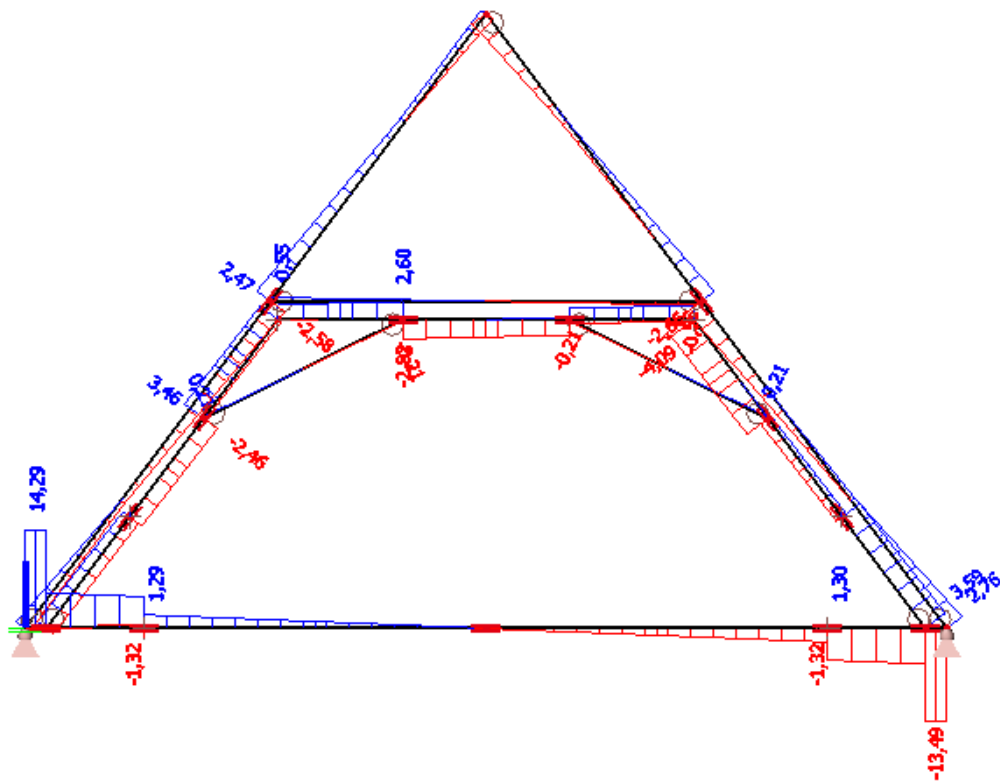
Plná vazba – Normálové síly N



## Plná vazba – Momenty $M_y$

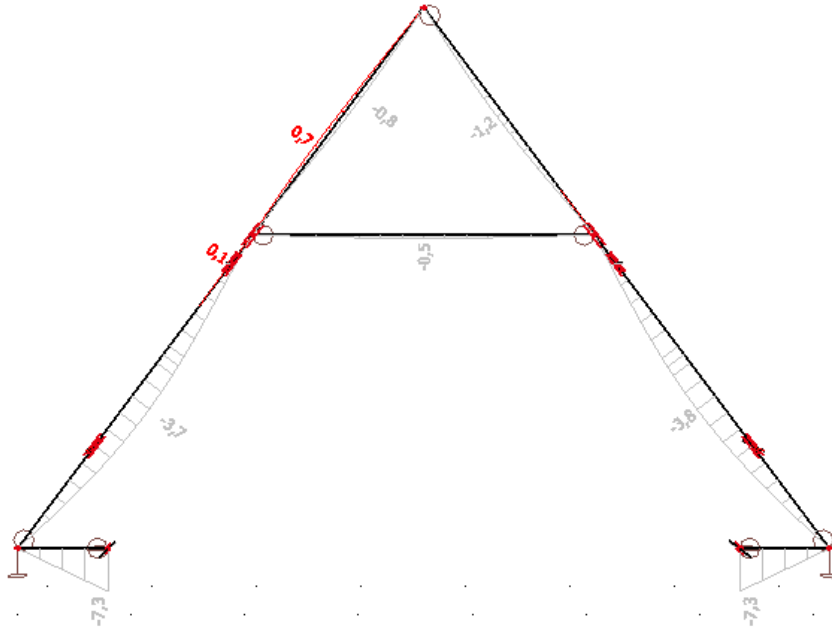


## Plná vazba – Posouvací síly $V_z$

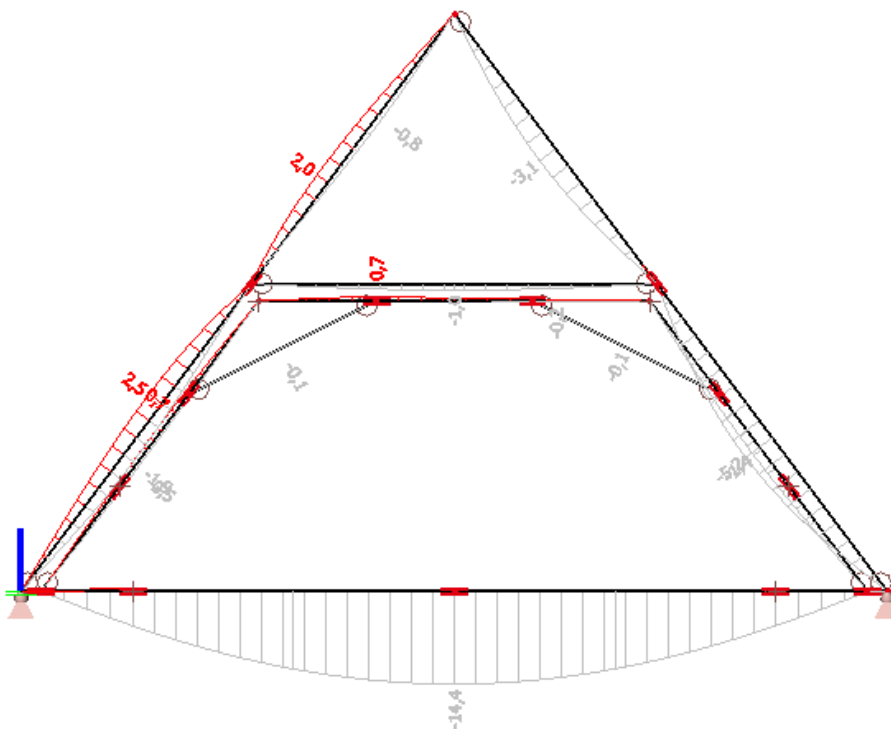


### 5.3. Kombinace EN-MSP

Jalová vazba – Průhyby uz

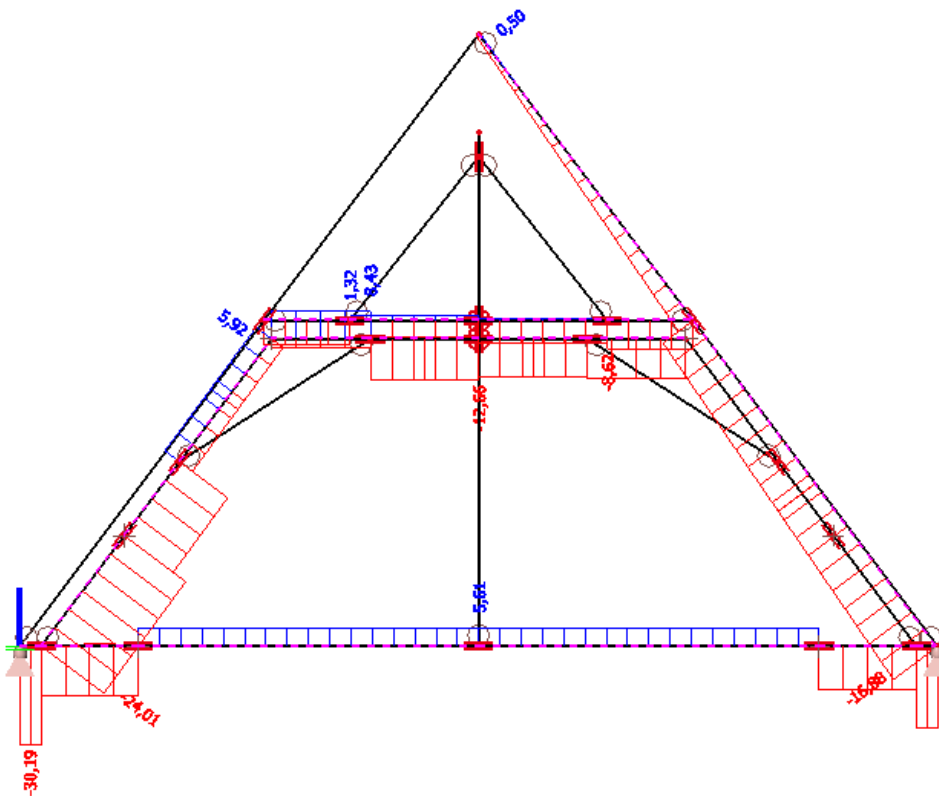
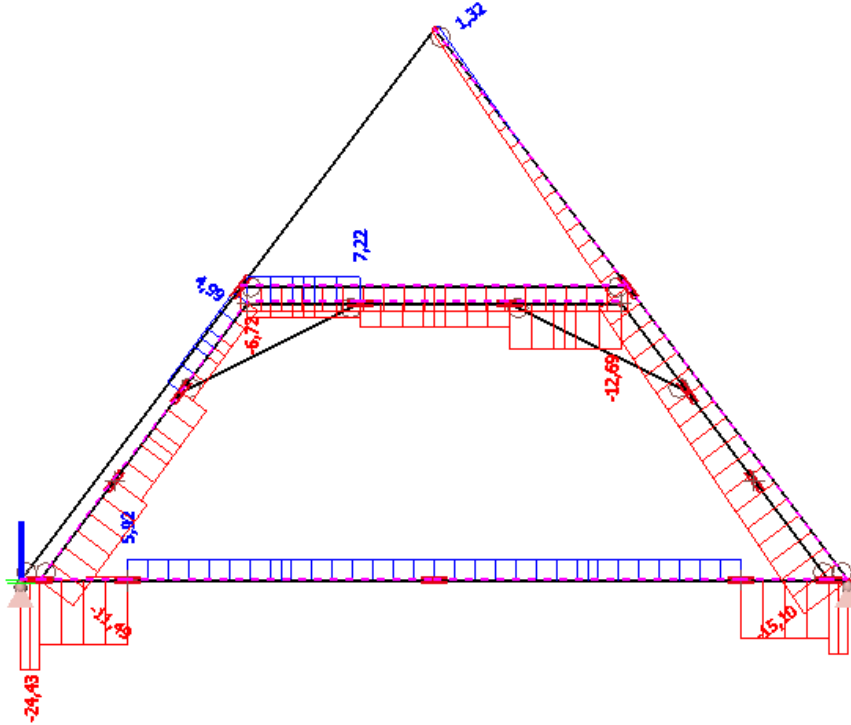


Plná vazba – Průhyby uz

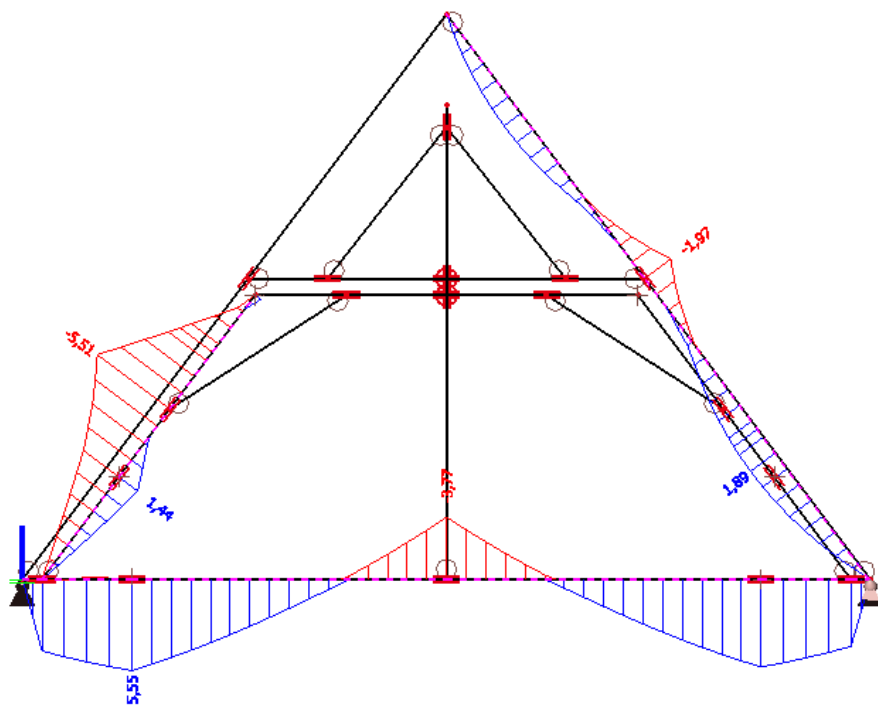
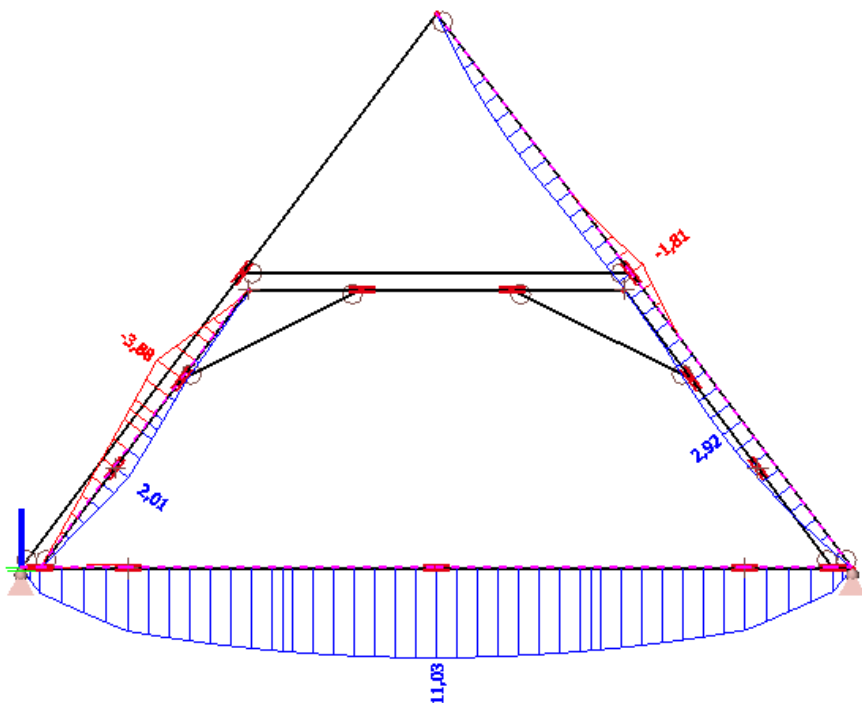


## 5.4. Srovnání krovu s věšadlem a bez věšadla

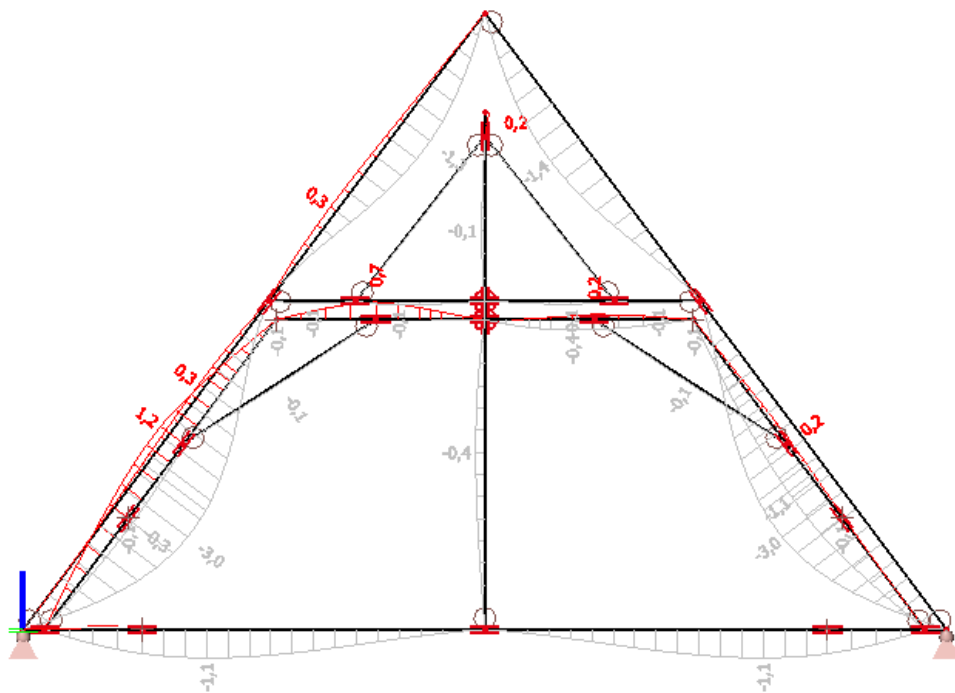
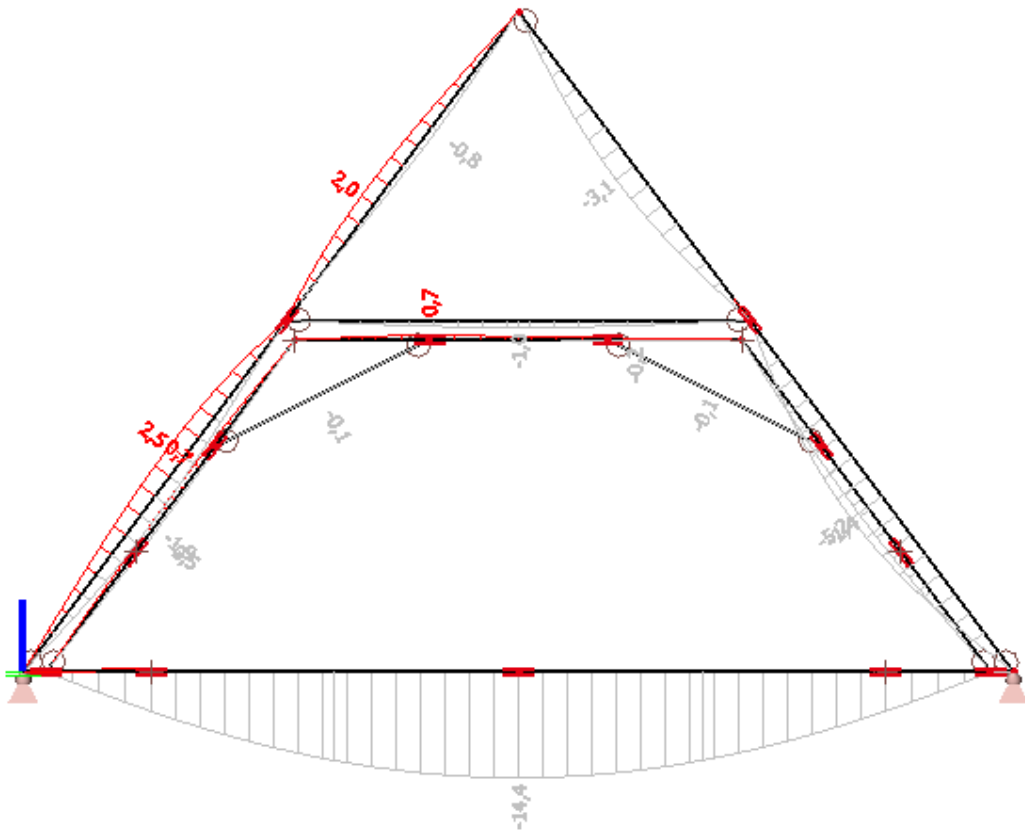
Plná vazba – Normálové síly na hambálku, rozpěře, vzpěradlu, vazném trámu a krokvi



# Plná vazba – Moment vzhľadom na vlnu, vlnu trám a krokvi



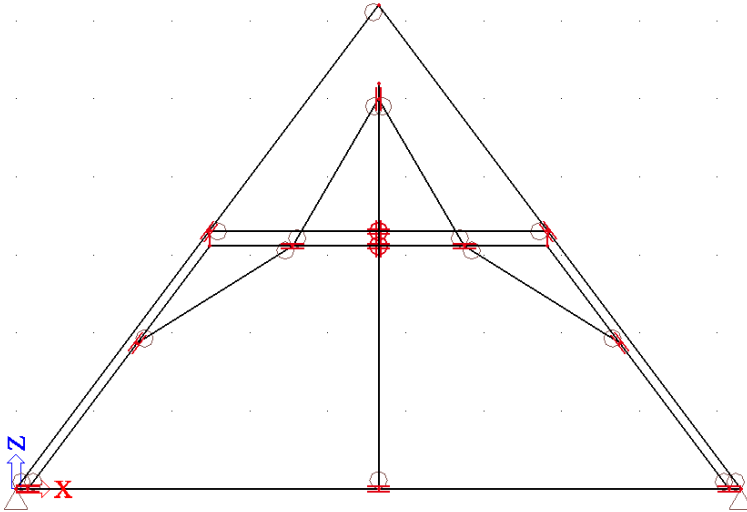
# Plná vazba – Průhyby uz





## 6.0. Výpočetní model ve 2D s věšadlem

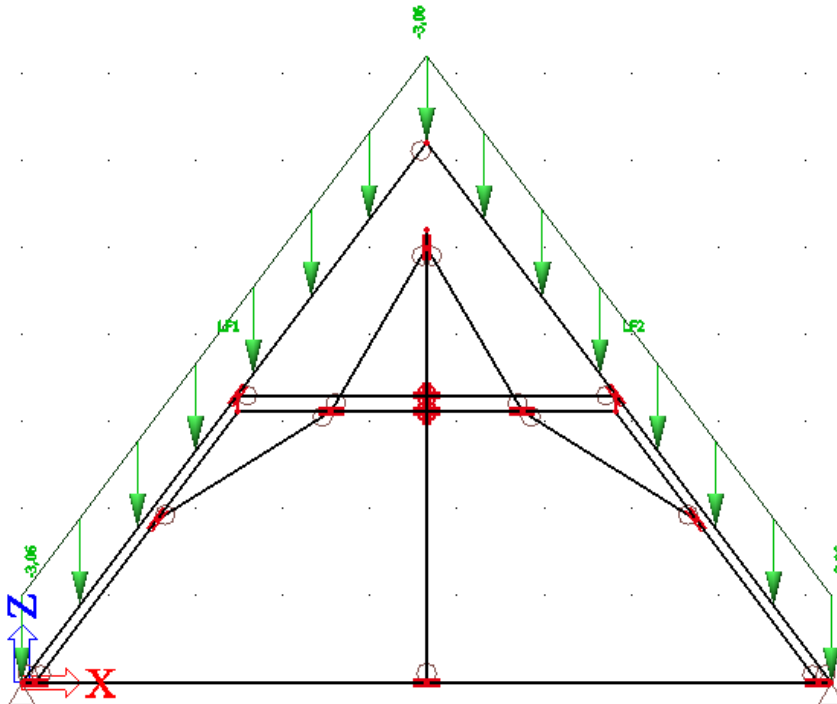
### 6.1. Plné vazby – klouby, podpory



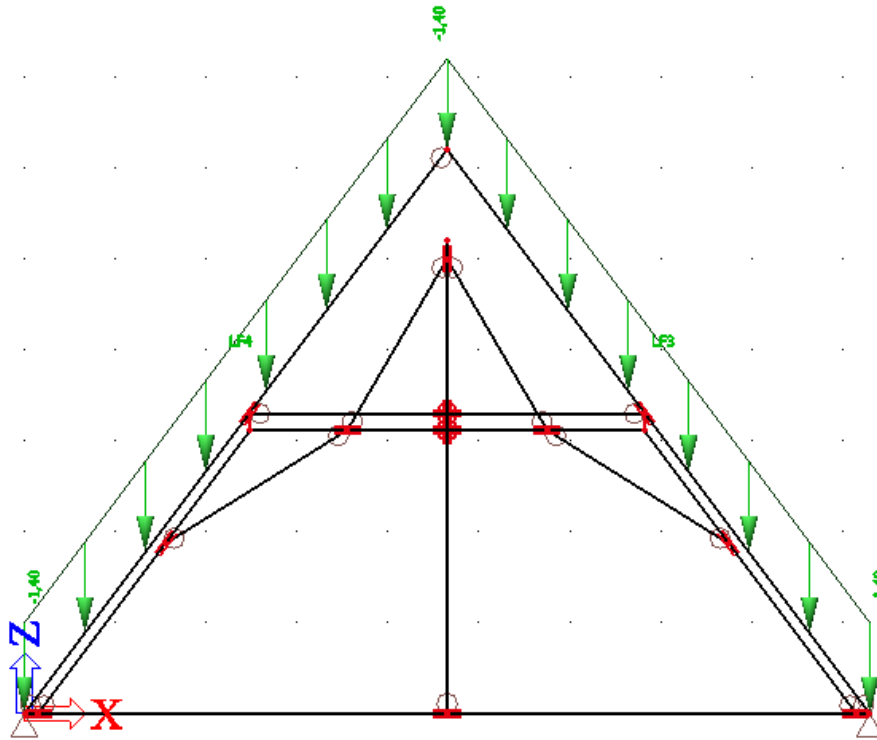
### 6.2. Zatížení

\*Pro 2D bylo zatížení přeneseno celé do plné vazby, tedy  $\text{kN/m}^2 \cdot \text{vzdálenost plných vazeb}$

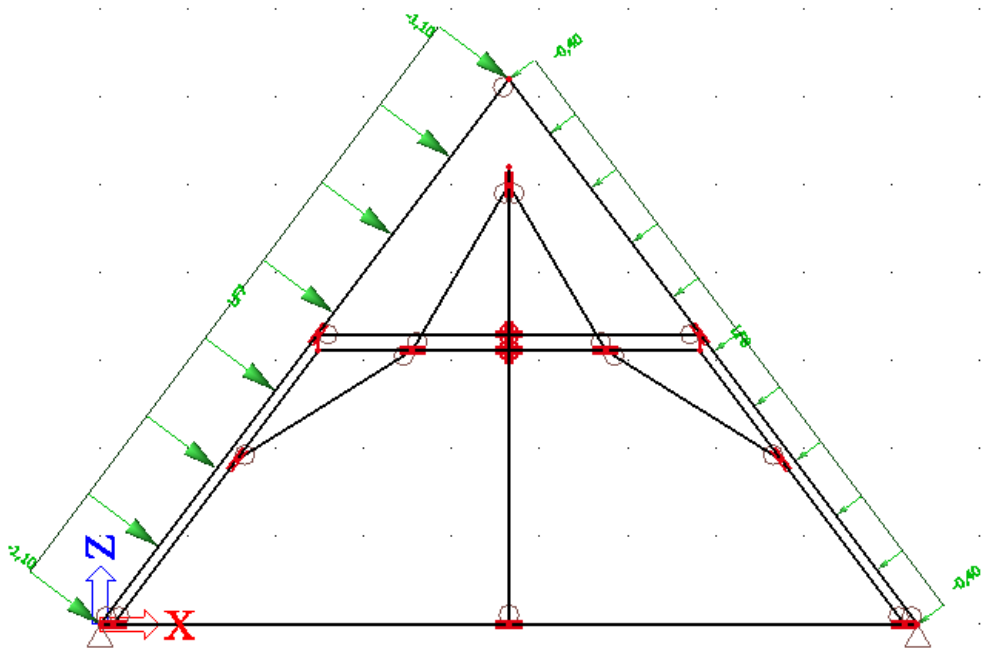
#### Plná vazba – Tíha pláště



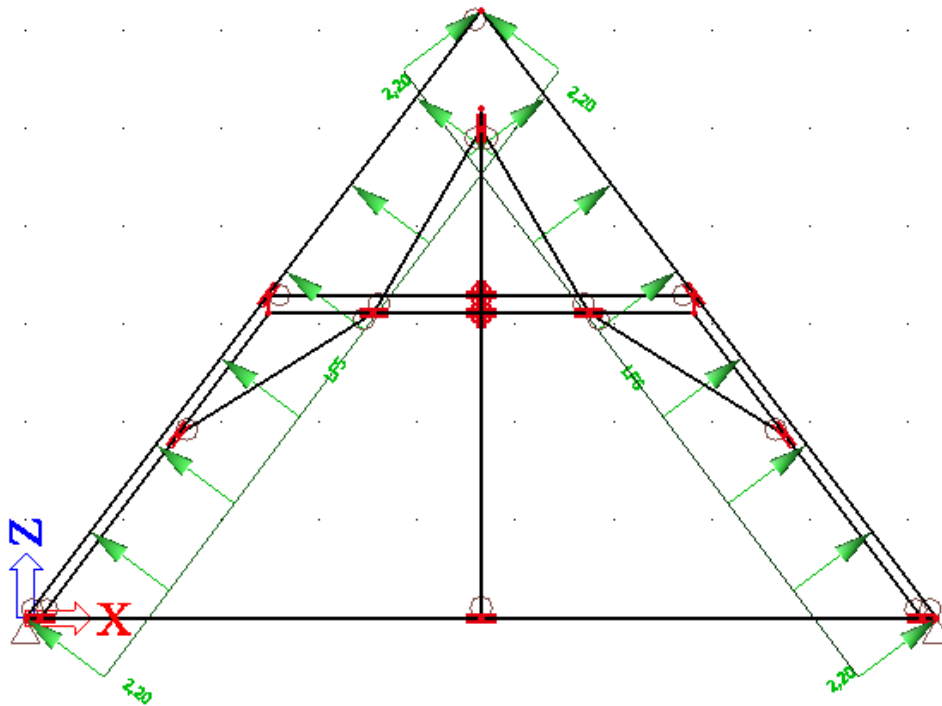
### Plná vazba – Sníh



### Plná vazba – Vítř přičný



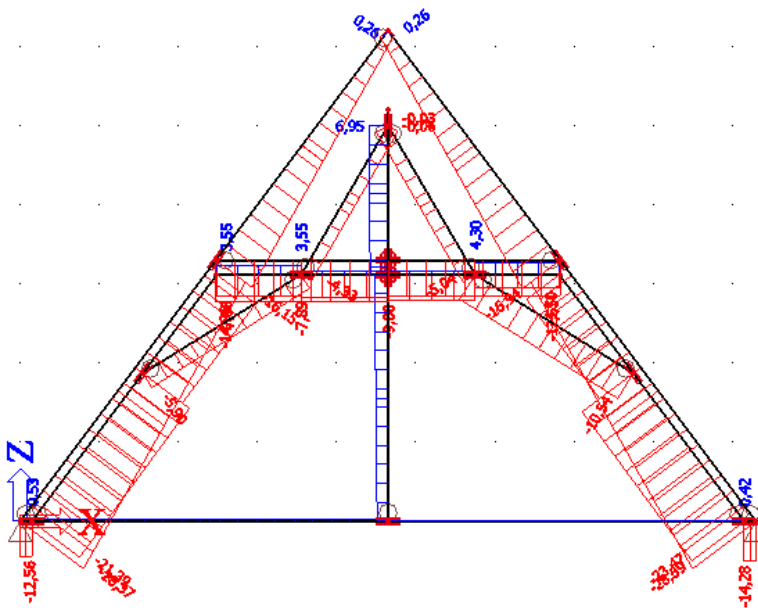
## Plná vazba – Vítr podélný



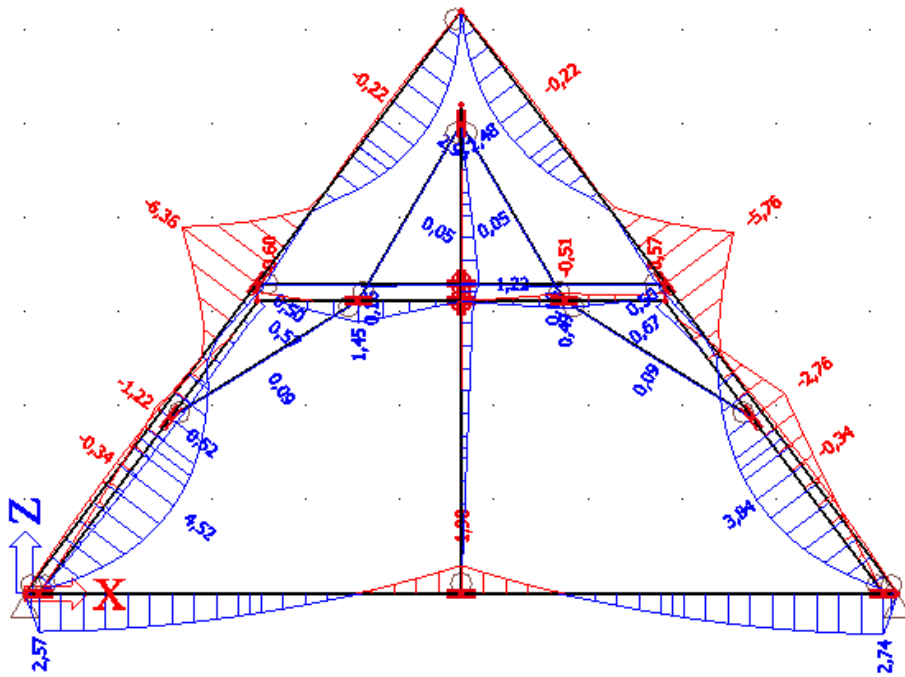
## 6.3. Kombinace EN-MSÚ SOUBOR B

\*při stejném zatížení a kombinaci jako ve 3D

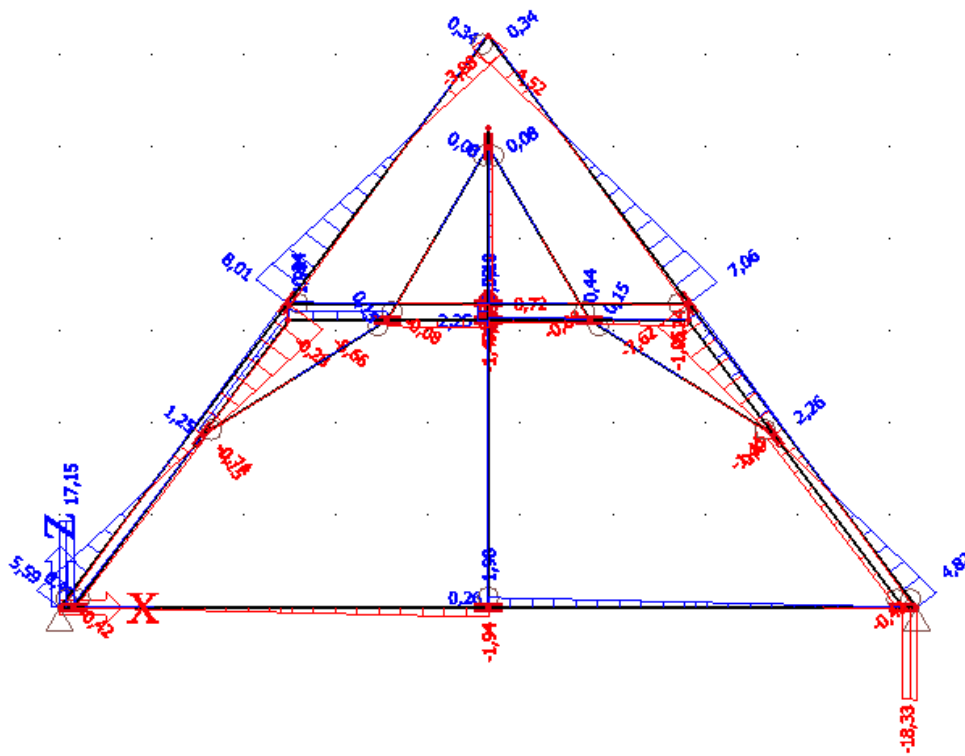
## Plná vazba – Normálové síly N



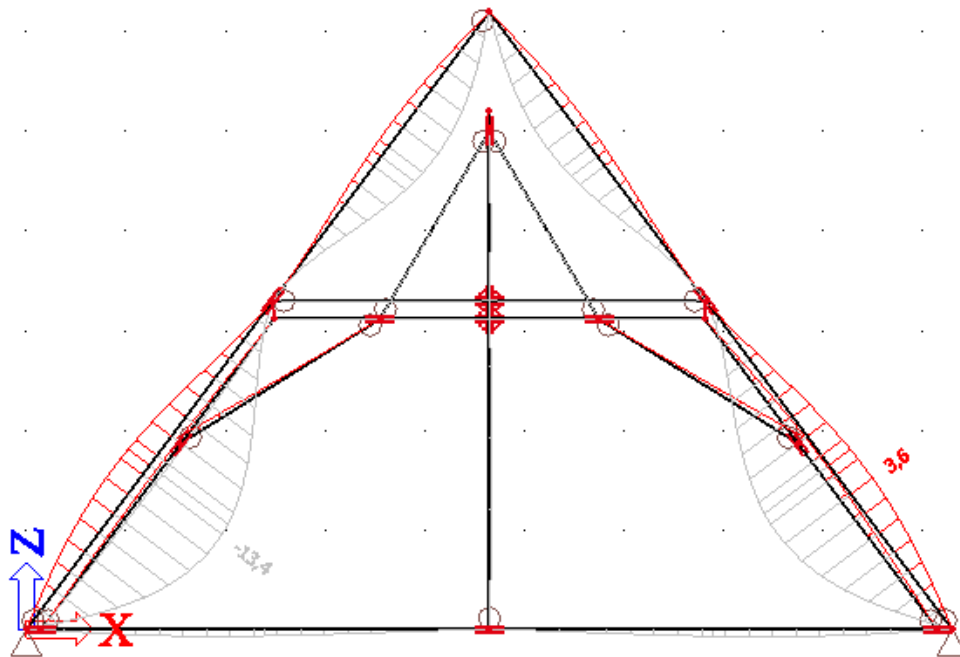
### Plná vazba – Momenty $M_y$



### Plná vazba – Posouvací síly $V_z$



## Plná vazba – Průhyby uz



## 7.0. Posouzení vybraných prvků na MSÚ A MSP

Dle spočtených vnitřních sil ve 3D modelu s věšadlem

### 7.2. POSOUZENÍ VZPĚRADLA

POSOUZENÍ NA OHYB, TLAK A SMYK (MSÚ)

#### ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY

Výška  $h=$  270

Šířka  $b=$  180

Název

prvku: **vzpěradlo**

Druh dřeva: Dubové D40

Pevnost v tlaku  $f_{c0k}=$  26 Mpa

Smyková pevnost dřeva  $f_{vk}=$  3,8 Mpa

Modul pružnosti  $E_{0,05}=$  9400 Mpa

Pevnost v ohybu  $f_{mk}=$  40 Mpa

Třída provozu: I

Třída trvání zatížení: střednědobé

Modifikační součinitel  $k_{mod}=$  0,8

Dílčí součinitel  $\gamma_m$  rostlého dřeva= 1,3

#### NÁVRHOVÉ MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA

##### Návrhová hodnota v ohybu:

$f_{md}= k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_m = 0,8 \cdot 40 / 1,30 =$  24,61538462 Mpa

##### Návrhová hodnota ve smyku:

$f_{vd}= k_{mod} \cdot f_{vk} / \gamma_m = 0,8 \cdot 3,8 / 1,3 =$  2,338461538 Mpa

##### Návrhová hodnota v tlaku rovnoběžně s vlákny

$f_{c0d}= k_{mod} \cdot f_{c0k} / \gamma_m = 0,8 \cdot 26 / 1,30 =$  16 Mpa

#### NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ ZA OHYBU

Ohybový moment  $M_{y(ed)}$  5,51 kN/m

Průřezový modul  $W=1/6 \cdot b \cdot h^2$  2187000 mm<sup>3</sup>

$\sigma_{md}=$

$M_{ed}/W=$   $5,51 \cdot 10^6 / 2,187 \cdot 10^6 =$  2,519433013 MPa

#### NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ V TLAKU

Normálová síla  $N_{ed}=$  24,01 kN

Plocha průřezu  $A=b \cdot h=$  48600 mm<sup>2</sup>

$$\sigma_{c0d} = N_{ed}/A = 0,494032922 \text{ MPa}$$

### Štíhlostní poměry

$$\begin{aligned} \text{Efektivní délka nosníku } l_{ef} &= 4600 \text{ mm} \\ \text{Poloměr setrvačnosti } i_y &= (I_y/A)^{0,5} = 77,94228634 \text{ mm} \\ \text{Štíhlost } \lambda_y &= l_{ef}/i_y = 4600/78 = 59,01802752 \text{ -} \\ \sigma_{cr} &= \pi^2 * E_{0,05} / \lambda^2 = 26,60833922 \text{ MPa} \\ \text{Relativní štíhlost } \lambda_{rel} &= (f_{c0k} / \sigma_{cr})^{0,5} = 0,98850254 \end{aligned}$$

### Součinitel vzpěrnosti

$$\begin{aligned} k &= 0,5 * (1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2) = 1,05741889 \\ \text{Součinitel pro rostlé dřevo } \beta_c &= 0,2 \\ k_c &= 1 / ((k + (k^2 - \lambda_{rel}^2)^{0,5})) = 0,697878031 \end{aligned}$$

### KOMBINACE VZPĚRU A OHYBU

$$\begin{aligned} \sigma_{c0d} / f_{cod} * k_c + \sigma_{md} / f_{md} &< 1,0 \\ 0,044244203 + 0,102351966 &= 0,14659617 < 1,0 \end{aligned}$$

### Zadaný prvek vyhovuje

### SMYKOVÉ NAPĚTÍ

$$\begin{aligned} \text{Posouvací síla } V_{ed} &= 4,16 \text{ kN} \\ \text{Plocha průřezu } A = b * h &= 48600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{vd} &= 3 * V_{ed} / 2A = 3 * 4160 / 2 * 48600 = 0,128395062 \text{ MPa} \\ \tau_{vd} &< f_{vd} \end{aligned}$$

### Zadaný prvek vyhovuje

### POSOUZENÍ NA PRŮHYB (MSP)

$$\begin{aligned} \text{Rozpětí} &= 4600 \text{ mm} \\ \text{Průměrný modul pružnosti } E_{omean} &= 11000 \text{ MPa} \\ \text{Modul setrvačnosti } I &= 1/12 * b * h^3 = 1/12 * 180 * 270^3 = \\ &= 295245000 \text{ mm}^4 \\ \text{Tuhost } EI &= 3,2477E+12 \text{ N*mm}^2 \\ \text{Součinitel dotvarování dřeva } k_{def} &= 0,6 \end{aligned}$$

### Průhyb od jednotkového rovnoběžného zatížení:

$$w_{ref} = (5/384) * g * l^4 / (EI) = 1,795125722 \text{ mm}$$

Z jednotkového zatížení je patrné, že prvek je tak tuhý, že posouzení na MSP je zde zbytečné, prvek **vyhoví**

## 7.3. POSOUZENÍ KROKVE

### POSOUZENÍ NA OHYB, TLAK A SMYK (MSÚ)

#### ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY

Výška h=	160	
Šířka b=	160	
Název prvku:	<b>krokev</b>	
Druh dřeva:	Dubové D40	
Pevnost v tlaku $f_{c0k}$ =		26 MPa
Smyková pevnost dřeva $f_{vk}$ =		3,8 MPa
Modul pružnosti $E_{0,05}$ =		9400 MPa
Pevnost v ohybu $f_{mk}$ =		40 MPa
Třída provozu: I		
Třída trvání zatížení: střednědobé		
Modifikační součinitel $k_{mod}$ =		0,8
Dílčí součinitel $\gamma_m$ rostlého dřeva=		1,3

#### NÁVRHOVÉ MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA

##### Návrhová hodnota v ohybu:

$$f_{md} = k_{mod} * f_{mk} / \gamma_m = 0,8 * 40 / 1,3 = 24,61538462 \text{ MPa}$$

##### Návrhová hodnota ve smyku:

$$f_{vd} = k_{mod} * f_{vk} / \gamma_m = 0,8 * 3,8 / 1,3 = 2,338461538 \text{ MPa}$$

##### Návrhová hodnota v tlaku rovnoběžně s vlákny

$$f_{c0d} = k_{mod} * f_{c0k} / \gamma_m = 0,8 * 26 / 1,3 = 16 \text{ MPa}$$

#### NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ ZA OHYBU

$$\text{Ohybový moment } M_{y(ed)} = 2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Průřezový modul } W = 1/6 * b * h^2 = 682666,6667 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{md} = M_{ed} / W = 2 * 10^6 / 6,8 * 10^5 = 2,9296875 \text{ MPa}$$

#### NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ V TLAKU

$$\text{Normálová síla } N_{ed} = 16,88 \text{ kN}$$

$$\text{Plocha průřezu } A = b * h = 25600 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c0d} = N_{ed} / A = 0,659375 \text{ MPa}$$

#### Štíhlostní poměry

$$\text{Efektivní délka nosníku } l_{ef} = 4500 \text{ mm}$$

$$\text{Poloměr setrvačnosti } i_y = (I_y / A)^{0,5} = 46,18802154 \text{ mm}$$

$$\text{Štíhlost } \lambda_y = l_{ef} / i_y = 4600 / 78 = 97,42785793 \text{ -}$$



$$\sigma_{cr} = \pi^2 * E_{0,05} / \lambda^2 = 9,763844214 \text{ MPa}$$

$$\text{Relativní štíhlost } \lambda_{rel} = (f_{c0k} / \sigma_{cr})^{0,5} = 1,631835036$$

### Součinitel vzpěrnosti

$$k = 0,5 * (1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2) = 1,964626295$$

$$\text{Součinitel pro rostlé dřevo } \beta_c = 0,2$$

$$k_c = 1 / ((k + (k^2 - \lambda_{rel}^2)^{0,5})) = 0,326942454$$

### KOMBINACE VZPĚRU A OHYBU

$$\sigma_{c0d} / f_{cod} * k_c + \sigma_{md} / f_{md} < 1,0$$

$$0,126049514 + 0,119018555 = 0,245068069 < 1,0$$

### Zadaný prvek vyhovuje

### SMYKOVÉ NAPĚTÍ

$$\text{Posouvací síla } V_{ed} = 3,3 \text{ kN}$$

$$\text{Plocha průřezu } A = b * h = 25600 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{vd} = 3 * V_{ed} / 2A = 3 * 3300 / 2 * 25600 = 0,193359375 \text{ MPa}$$

$$\tau_{vd} < f_{vd}$$

### Zadaný prvek vyhovuje

### POSOUZENÍ NA PRŮHYB (MSP)

$$\text{Rozpětí} = 4500 \text{ mm}$$

$$\text{Průměrný modul pružnosti } E_{omean} = 11000 \text{ MPa}$$

$$\text{Modul setrvačnosti } I_y = 1/12 * b * h^3 = 1/12 * 160 * 160^3 = 54613333,33 \text{ mm}^4$$

$$\text{Tuhost } EI = 6,00747E+11 \text{ N*mm}^2$$

$$\text{Součinitel dotvarování dřeva } k_{def} = 0,6$$

### Průhyb od jednotkového rovnoběžného zatížení:

$$w_{ref} = (5/384) * g * l^4 / (EI) = 8,887865327 \text{ mm}$$

### Okamžitý průhyb

Okamžitý průběh od stálého

$$g_k = 0,825 \text{ kN/m}$$

$$w_{inst(g)} = q_k * w_{ref} = 7,332488894 \text{ mm}$$

Okamžitý průběh od proměného- sníh

$$q_k=0,3*0,9= 0,27 \text{ kN/m}$$

$$W_{inst(q1)}=q_k*W_{ref}= 2,399723638 \text{ mm}$$

Okamžitý průběh od proměného- vítr

$$q_k= 0,28 \text{ kN/m}$$

$$W_{inst(q2)}=q_k*W_{ref}= 2,488602291 \text{ mm}$$

Celkový okamžitý průhyb

$$W_{inst(c)}=W_{inst(g)}+W_{inst(q1)}+W_{inst(q2)}= 12,22081482 \text{ mm}$$

$$W_{inst(c)}=12,22 < 1/300=4500/300= 15 \text{ mm}$$

**Zadaný prvek vyhovuje**

**Konečný průhyb**

$$W_{fin(g)}=W_{int(g)}*(1+k_{def})=7,3*(1+0,6)= 11,73198223 \text{ mm}$$

$$W_{fin(q1)}=W_{inst(q1)}*(1+k_{def}*\psi_{21})=2,4*(1+0,6*0)= 2,399723638 \text{ mm}$$

$$W_{fin(q2)}=W_{inst(q2)}*(1+k_{def}*\psi_{22})=2,5*(1+0,6*0)= 2,488602291 \text{ mm}$$

$$W_{fin(c)}=W_{fin(g)}+W_{fin(q1)}+W_{fin(q2)}= 16,62030816 \text{ mm}$$

$$\psi_{21/2}=0,0$$

Dle EN 1991-1-1

$$W_{inst(c)}=16,62 < 1/200=4500/200= 22,5 \text{ mm}$$

**Zadaný prvek vyhovuje**

### 7.3. POSOUZENÍ VĚŠADLA

#### POSOUZENÍ NA TAH (MSÚ)

##### ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY

Výška  $h=$  200

Šířka  $b=$  230

Název

prvku: **věšadlový sloup**

Druh dřeva: Dubové D40

Pevnost v tlaku  $f_{c0k}=$  26 MPa

Smyková pevnost dřeva  $f_{vk}=$  3,8 MPa

Modul pružnosti  $E_{0,05}=$  9400 MPa

Pevnost v tahu  $f_{t0k}=$  24 MPa

Třída provozu: I

Třída trvání zatížení: střednědobé

Modifikační součinitel  $k_{mod}=$  0,8

Dílčí součinitel  $\gamma_m$  rostlého dřeva= 1,3

#### NÁVRHOVÉ MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA

##### Návrhová hodnota v tahu rovnoběžně s vlákny

$f_{md}= k_{mod} * f_{mk} / \gamma_m = 0,8 * 40 / 1,30 =$  14,76923077 MPa

##### Návrhová hodnota v tlaku rovnoběžně s vlákny

$f_{c0d}= k_{mod} * f_{c0k} / \gamma_m = 0,8 * 26 / 1,30 =$  16 MPa

#### NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ V TAHU

Normálová síla  $N_{e(ed)}$  5,61 kN

Plocha průřezu  $A=b*h=$  46000 mm<sup>2</sup>

$\sigma_{t0d}= N_{ed} / A =$  0,121956522 MPa

$\sigma_{t0d}= 0,12 < f_{t0k}=14,8$  MPa

**Zadaný prvek vyhovuje**

#### POSOUZENÍ NA PRŮHYB (MSP)

U tohoto typu zatížení a podepření není MSP rozhodující, prvek vyhoví prvek **vyhoví**

## 7.4. POSOUZENÍ HAMBÁLEK

### POSOUZENÍ NA TLAK (MSÚ)

#### ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY

Výška h=	170	
Šířka b=	170	
Název prvku:	<b>hambálek</b>	
Druh dřeva:	Dubové D40	
Pevnost v tlaku $f_{c0k}$ =		26 MPa
Smyková pevnost dřeva $f_{vk}$ =		3,8 MPa
Modul pružnosti $E_{0,05}$ =		9400 MPa
Pevnost v tahu $f_{t0k}$ =		24 MPa
Třída provozu: I		
Třída trvání zatížení: střednědobé		
Modifikační součinitel $k_{mod}$ =		0,8
Dílčí součinitel $\gamma_m$ rostlého dřeva=		1,3

#### NÁVRHOVÉ MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA

##### Návrhová hodnota v tlaku rovnoběžně s vlákny

$$f_{c0d} = k_{mod} * f_{c0k} / \gamma_m = 0,8 * 26 / 1,30 = 16 \text{ MPa}$$

#### NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ V TLAKU

Normálová síla $N_{ed}$ =	8,62 kN
Plocha průřezu $A=b*h$ =	28900 mm <sup>2</sup>
$\sigma_{c0d} = N_{ed}/A$ =	0,298269896 MPa

Efektivní délka nosníku $l_{ef}$ :	4000 mm
Poloměr setrvačnosti $i_y = (I_y/A)^{0,5}$ =	49,07477288 mm
Štíhlost $\lambda_y = l_{ef}/i_y = 5000/57$ =	81,5082733 -
Modul setrvačnosti $I_y = 1/12 * b * h^3 = 1/12 * 230 * 200^3$ =	69600833,33 mm <sup>4</sup>

#### Modul setrvačnosti

$$I_z = 1/12 * h * b^3 = 1/12 * 200 * 230^3 = 69600833,33 \text{ mm}^4$$

Poloměr setrvačnosti $i_z = (I_z/A)^{0,5}$ =	49,07477288 mm
Štíhlost $\lambda_z = l_{ef}/i_z = 5000/66$ =	81,5082733
$\sigma_{cry} = \pi^2 * E_{0,05} / \lambda_y^2$ =	13,95030696 MPa

$$\text{Relativní štíhlost } \lambda_{\text{rel}} = (f_{c0k}/\sigma_{cr})^{0,5} = 1,365195324$$
$$\sigma_{crz} = \pi^2 * E_{0,05} / \lambda_z^2 = 13,95030696 \text{ MPa}$$

### **Součinitel vzpěrnosti**

$$k = 0,5 * (1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel}}^2) = 1,538398669$$

$$\text{Součinitel pro rostlé dřevo } \beta_c = 0,2$$

$$k_c = 1 / ((k + (k^2 - \lambda_{\text{rel}}^2)^{0,5}) = 0,444926608$$

$$\text{Napětí s uvažováním vzpěru } \sigma_{c0d} = N_{ed} / A * k_c = 0,670379992 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c0d} = 0,67 < f_{c0k} = 14,8 \text{ MPa}$$

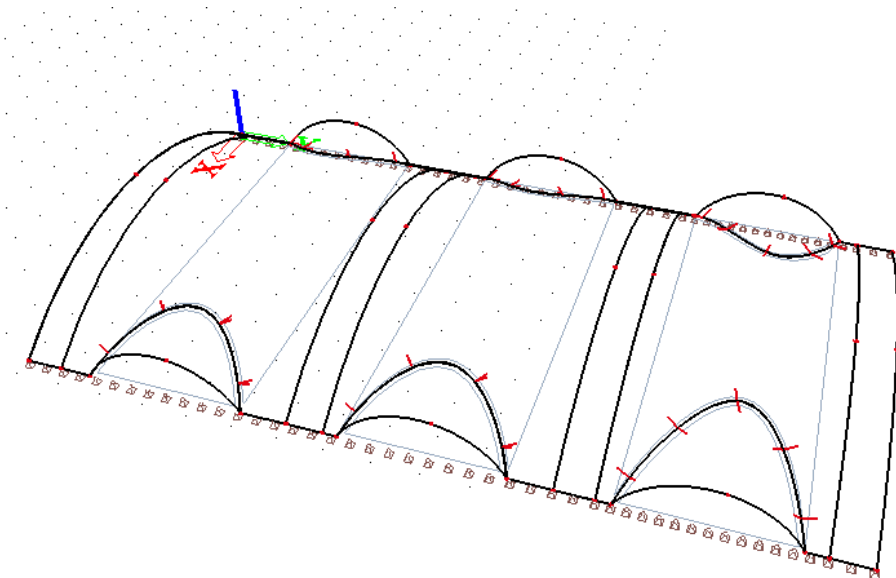
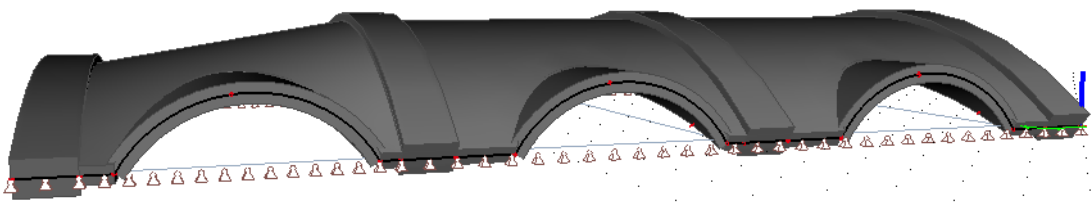
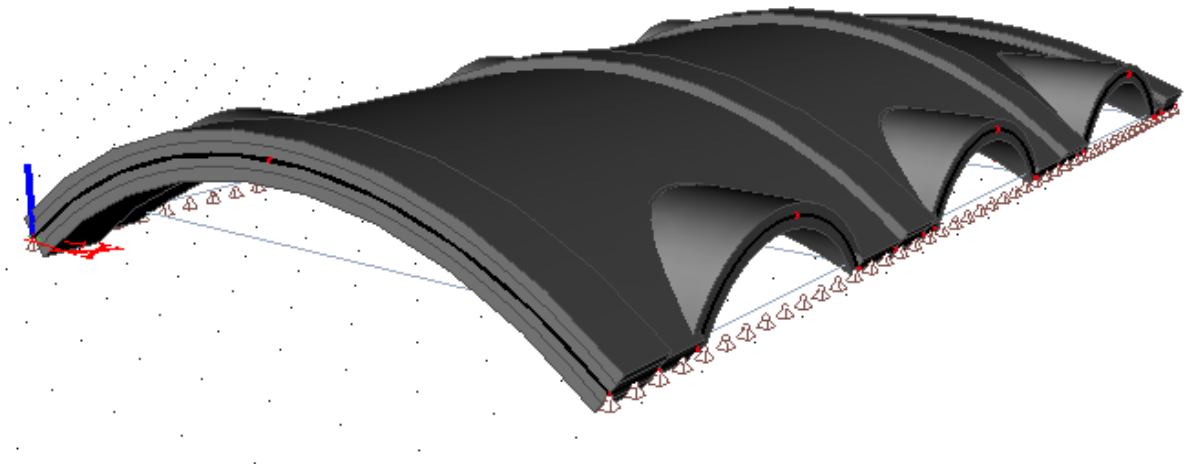
**Zadaný prvek vyhovuje**

### **POSOUZENÍ NA PRŮHYB (MSP)**

U tohoto typu zatížení a podepření není MSP rozhodující, prvek vyhoví  
prvek **vyhoví**

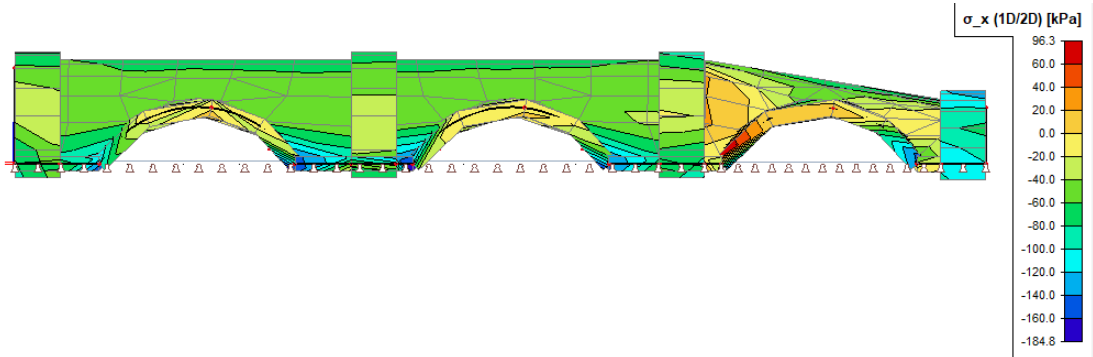
## 8.0. Klenba ve 3D

### 8.1. Model klenby ve 3D

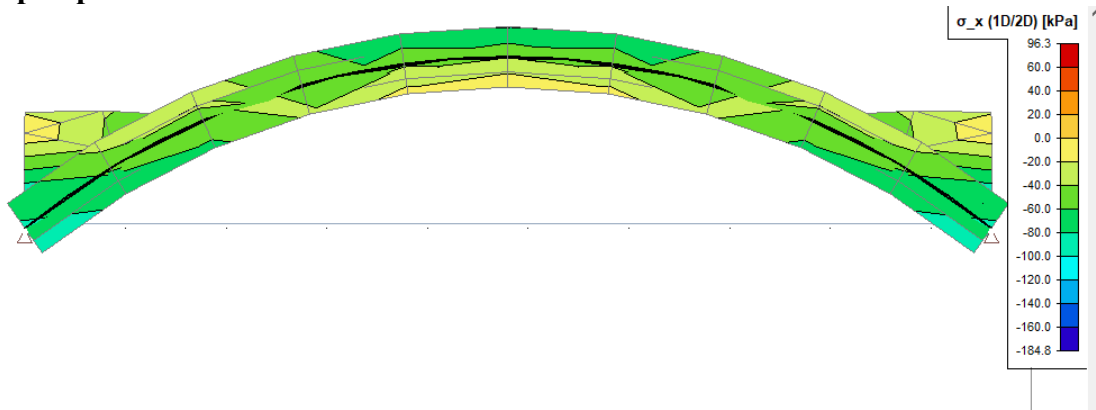


## 8.1. Napětí od zatížení vlastní tíhou ( od automaticky generované sítě)

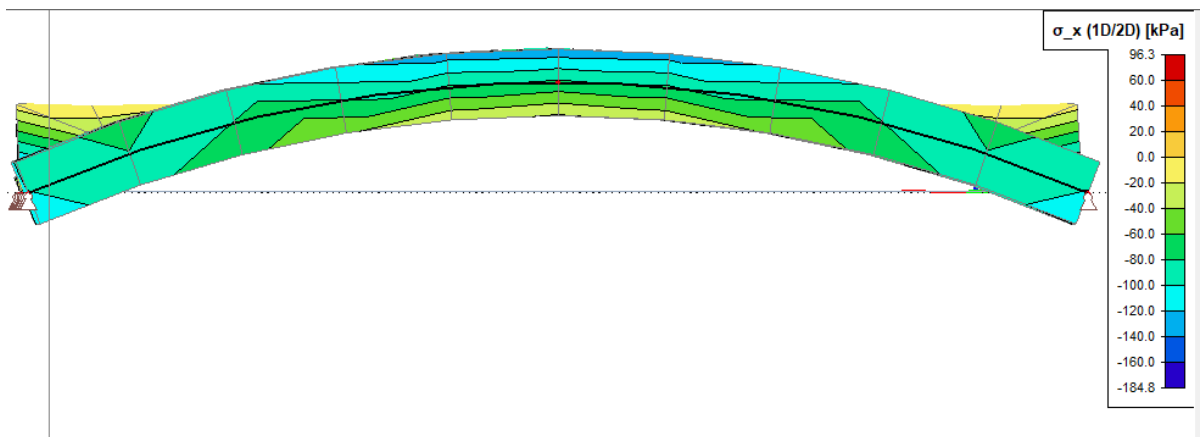
$\sigma_x$  napětí pohled A



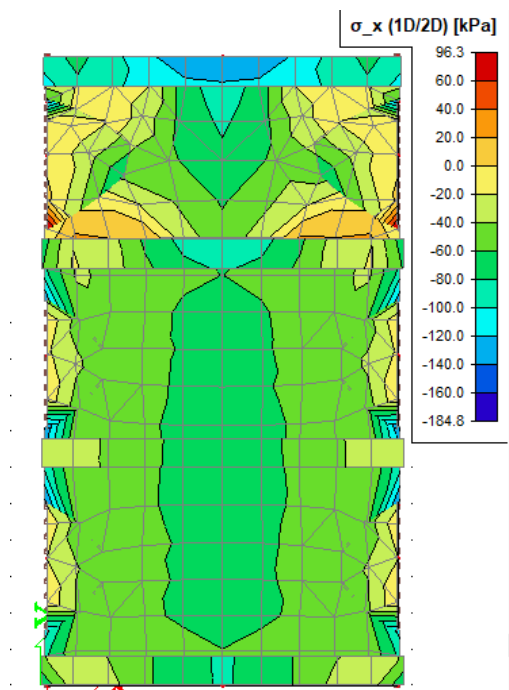
$\sigma_x$  napětí pohled B



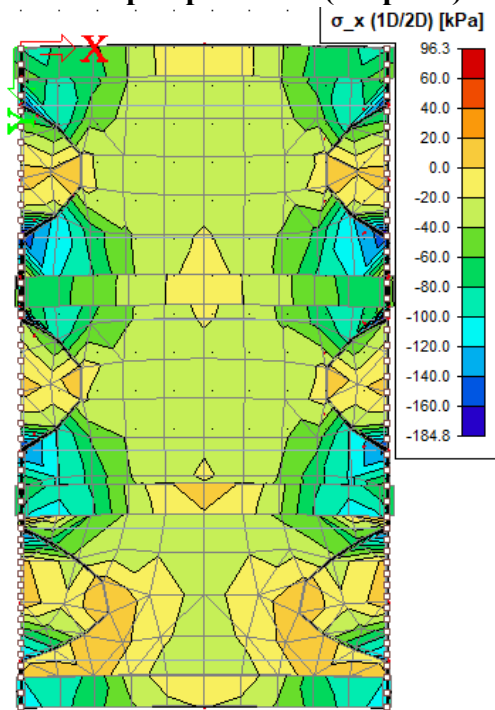
$\sigma_x$  napětí pohled C



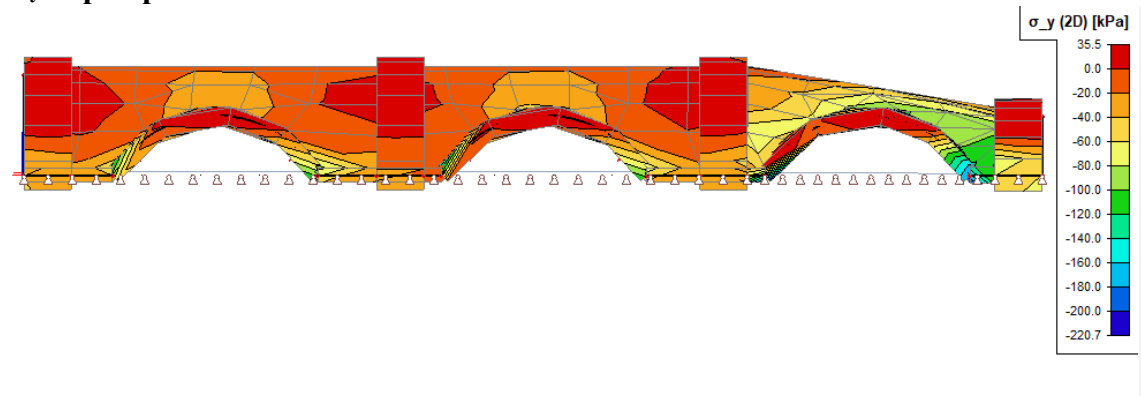
$\sigma_x$  napětí pohled D (shora)



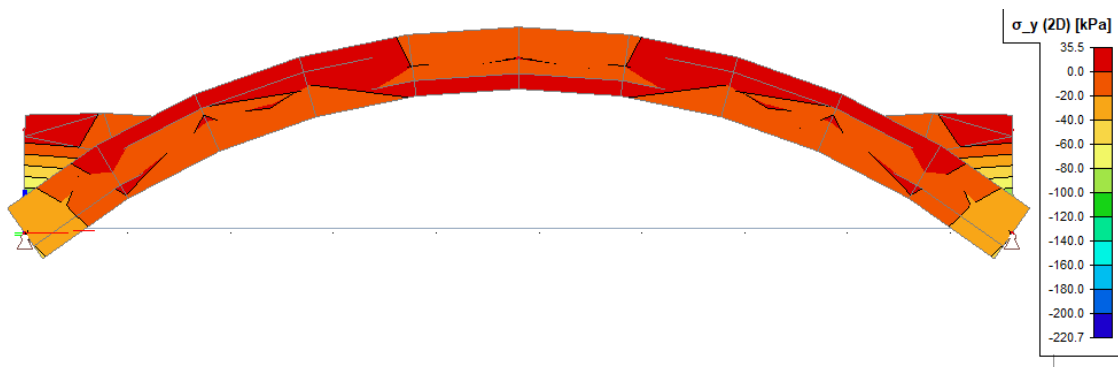
a  $\sigma_x$  napětí pohled E (ze spodu)



$\sigma_y$  napětí pohled A

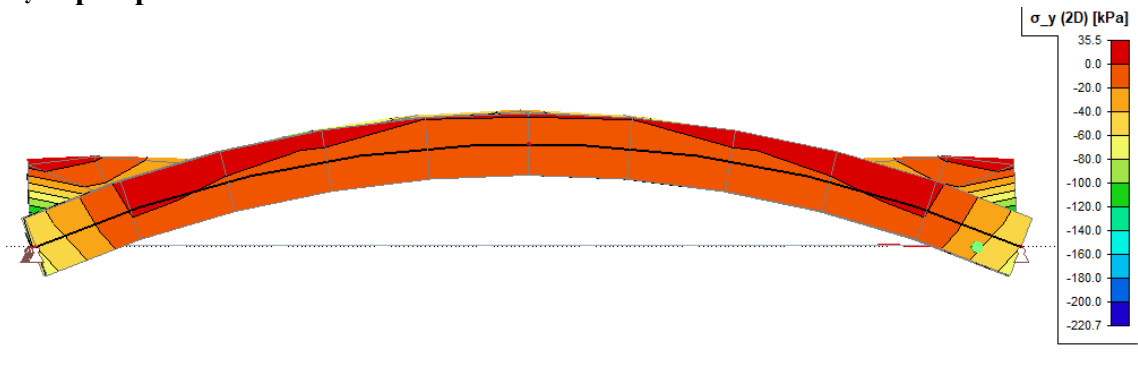


$\sigma_y$  napětí pohled B

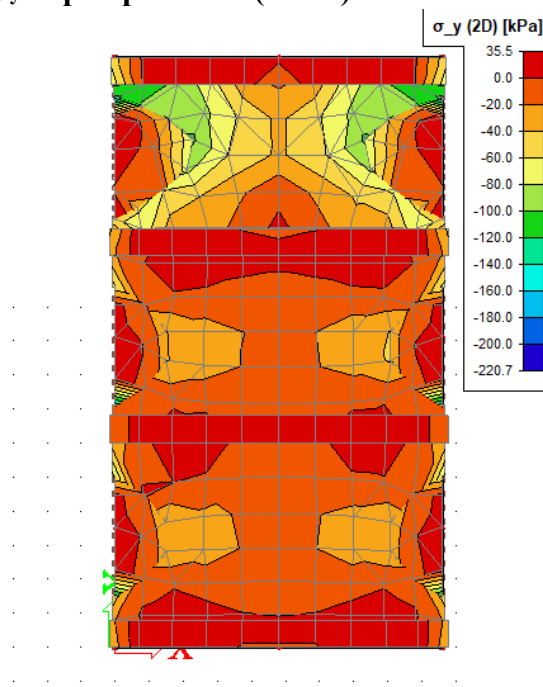




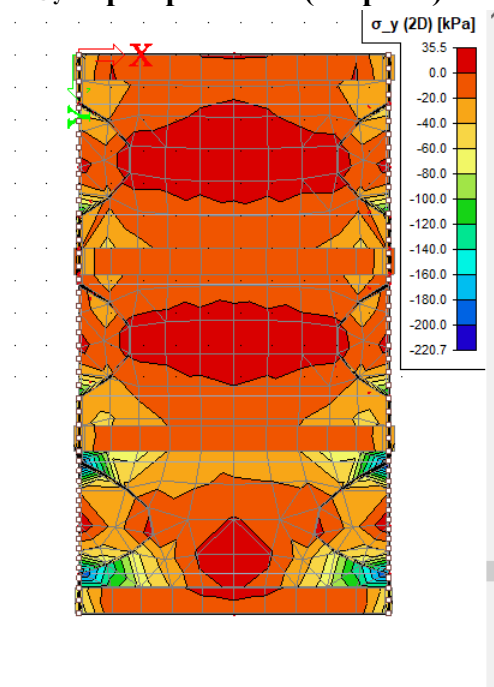
### $\sigma_y$ napětí pohled C



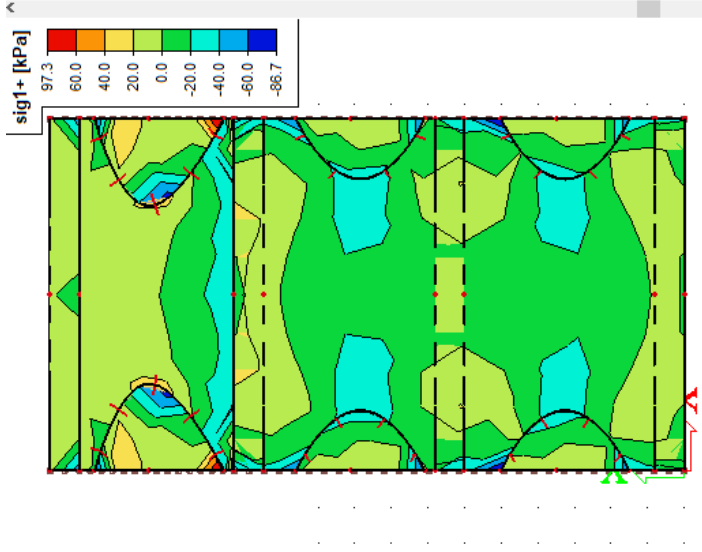
### $\sigma_y$ napětí pohled D (shora)



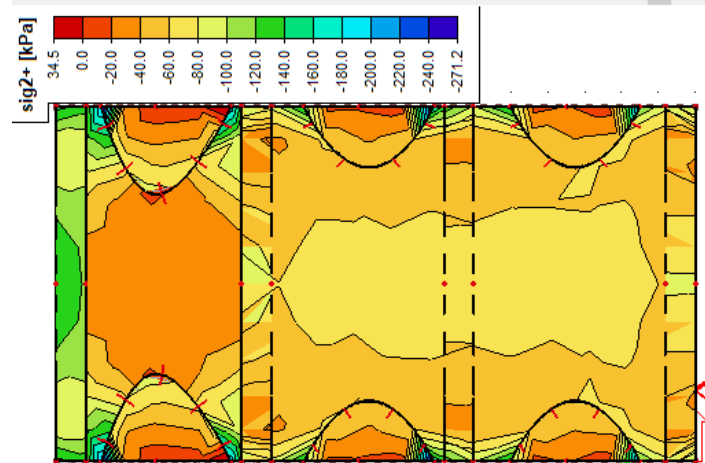
### a $\sigma_y$ napětí pohled E (ze spodu)



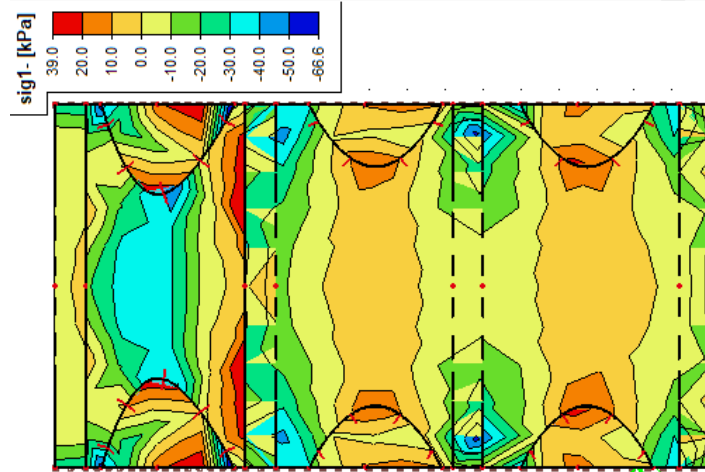
### $\sigma_{1+}$ napětí ze shora



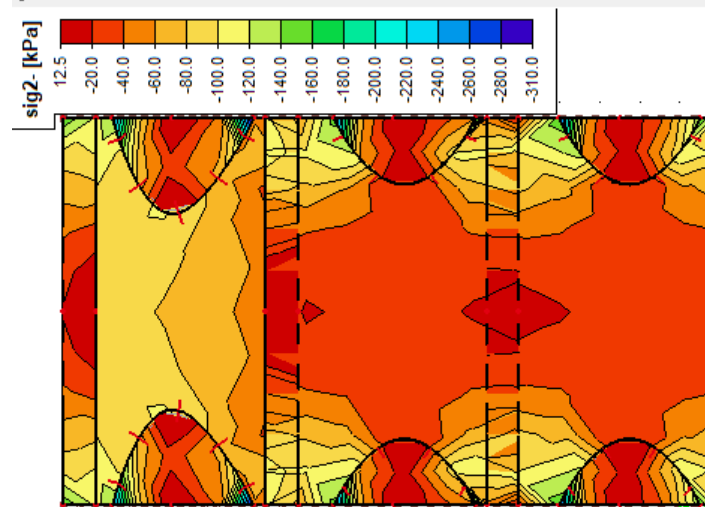
### $\sigma_{2+}$ napětí ze shora



### $\sigma_{1-}$ napětí ze shora

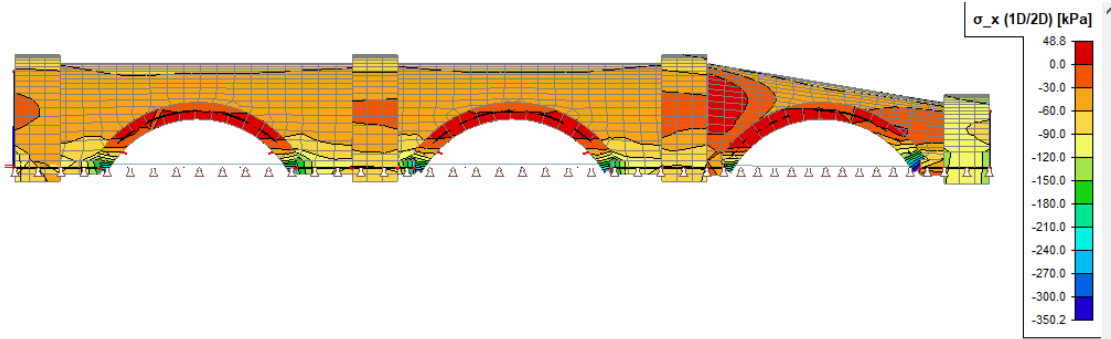


### $\sigma_{2-}$ napětí ze shora

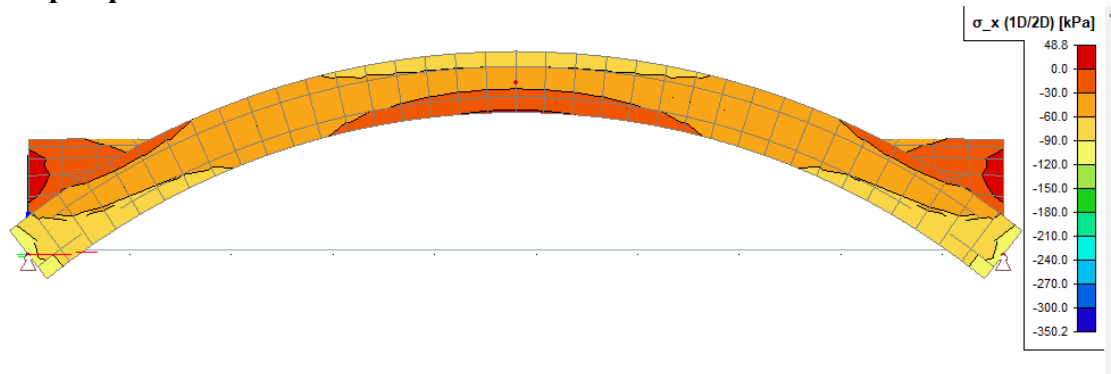


## 8.2. Napětí od zatížení vlastní tíhou (s zjemněním sítě)

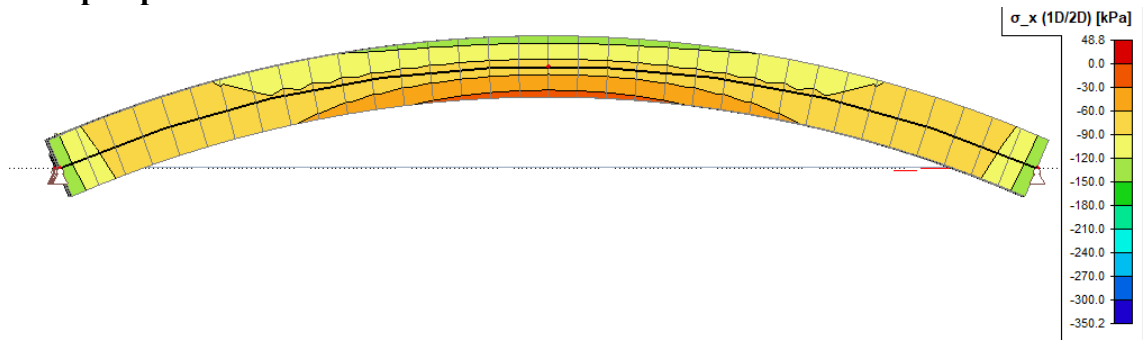
$\sigma_x$  napětí pohled A



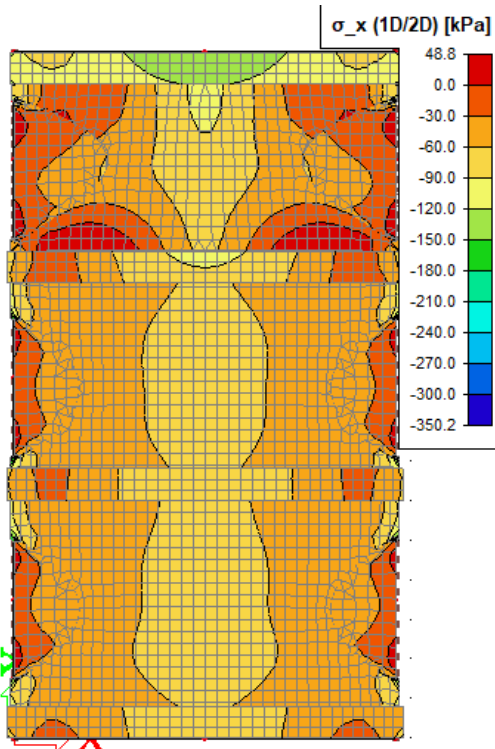
$\sigma_x$  napětí pohled B



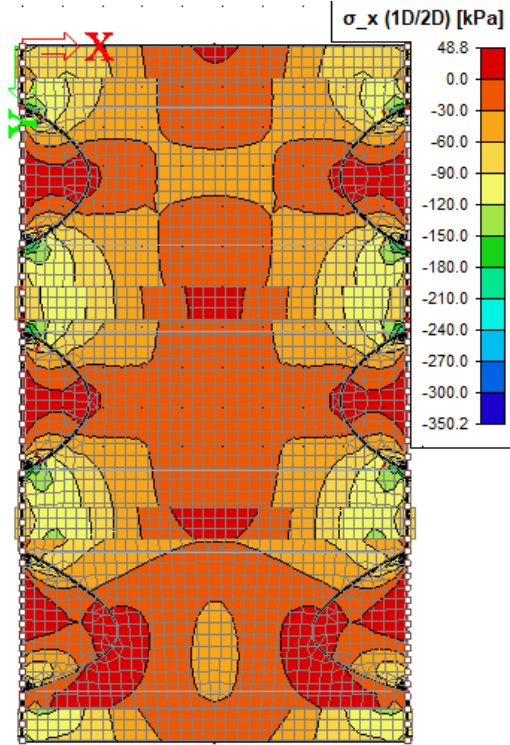
$\sigma_x$  napětí pohled C



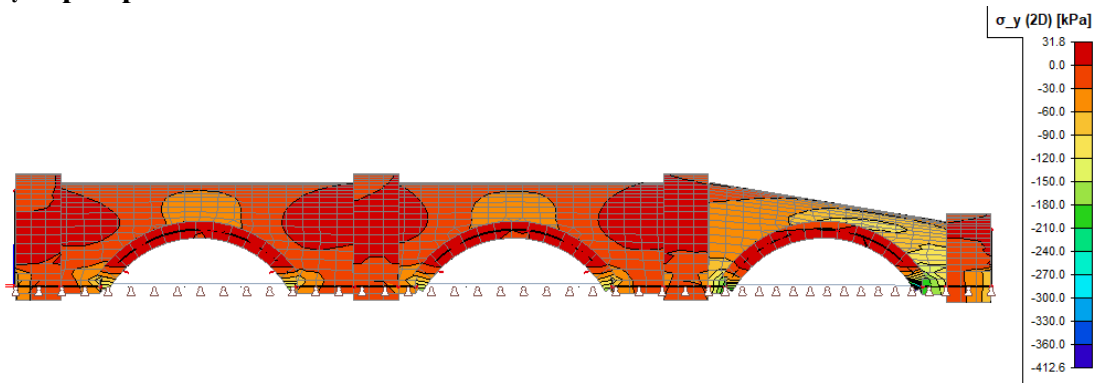
$\sigma_x$  napětí pohled D (ze shora)



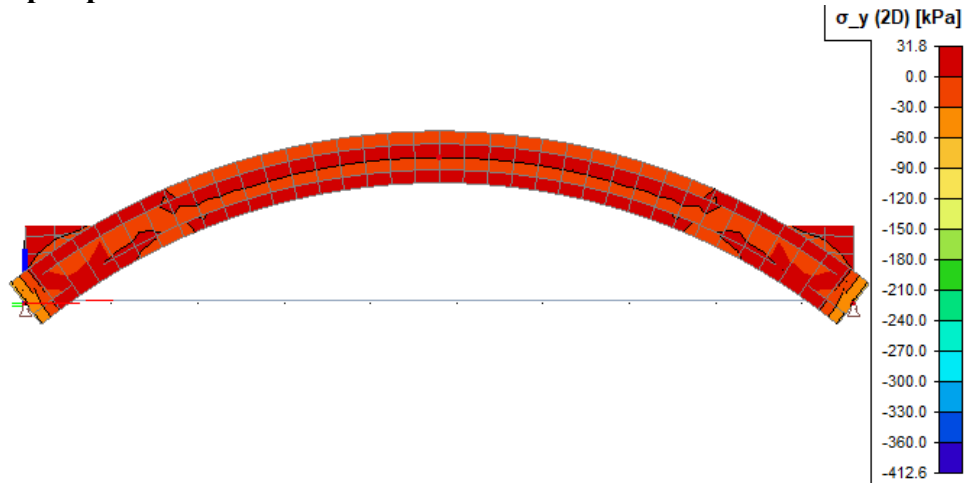
$\sigma_x$  napětí pohled E (ze spodu)



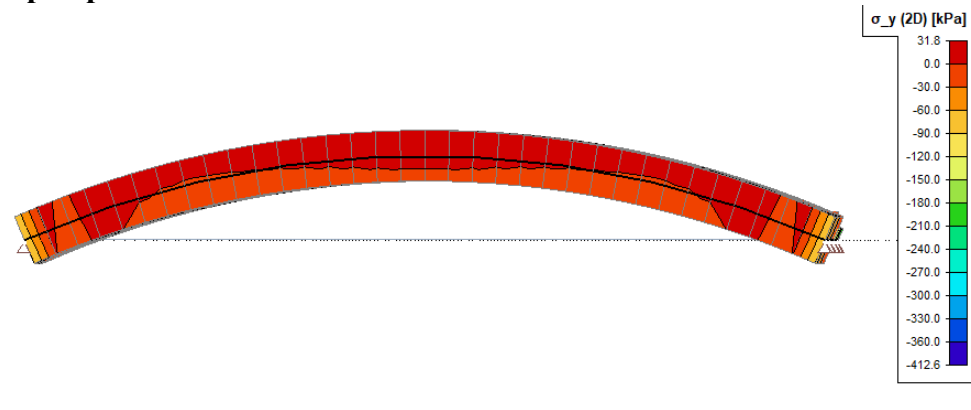
$\sigma_y$  napětí pohled A



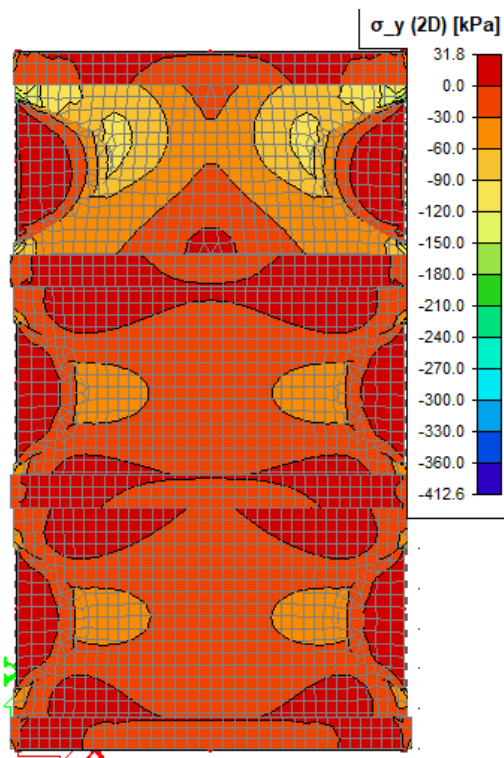
$\sigma_y$  napětí pohled B



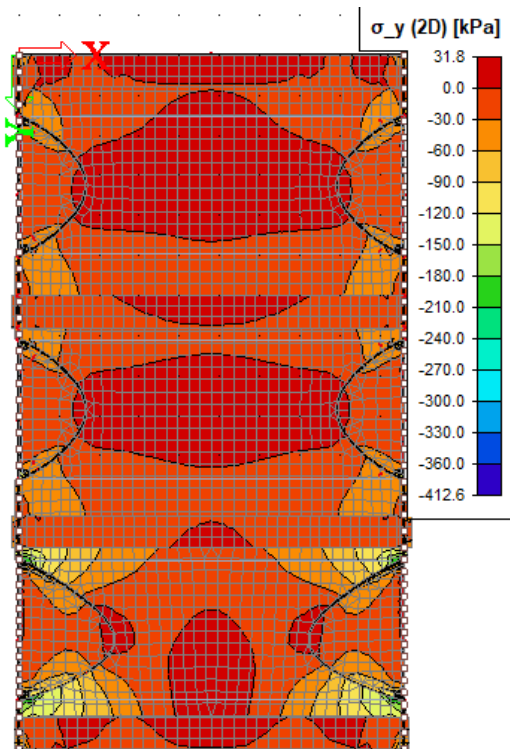
$\sigma_y$  napětí pohled C



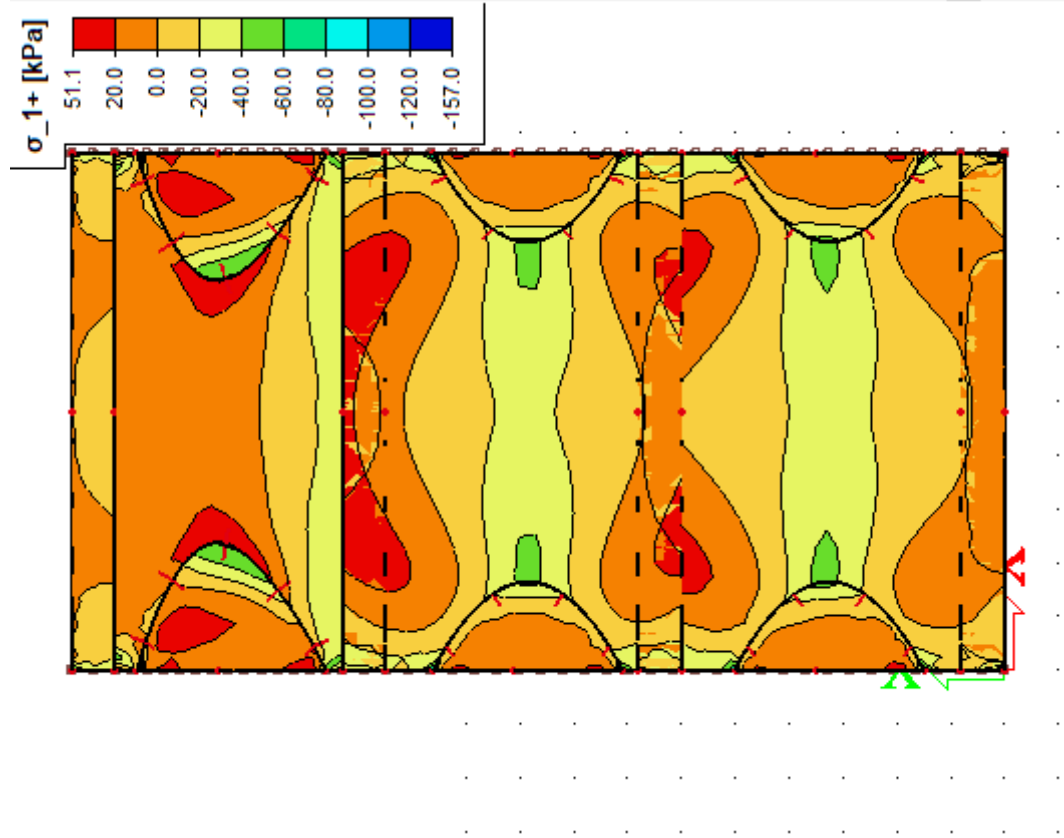
$\sigma_y$  napětí pohled D (ze shora)



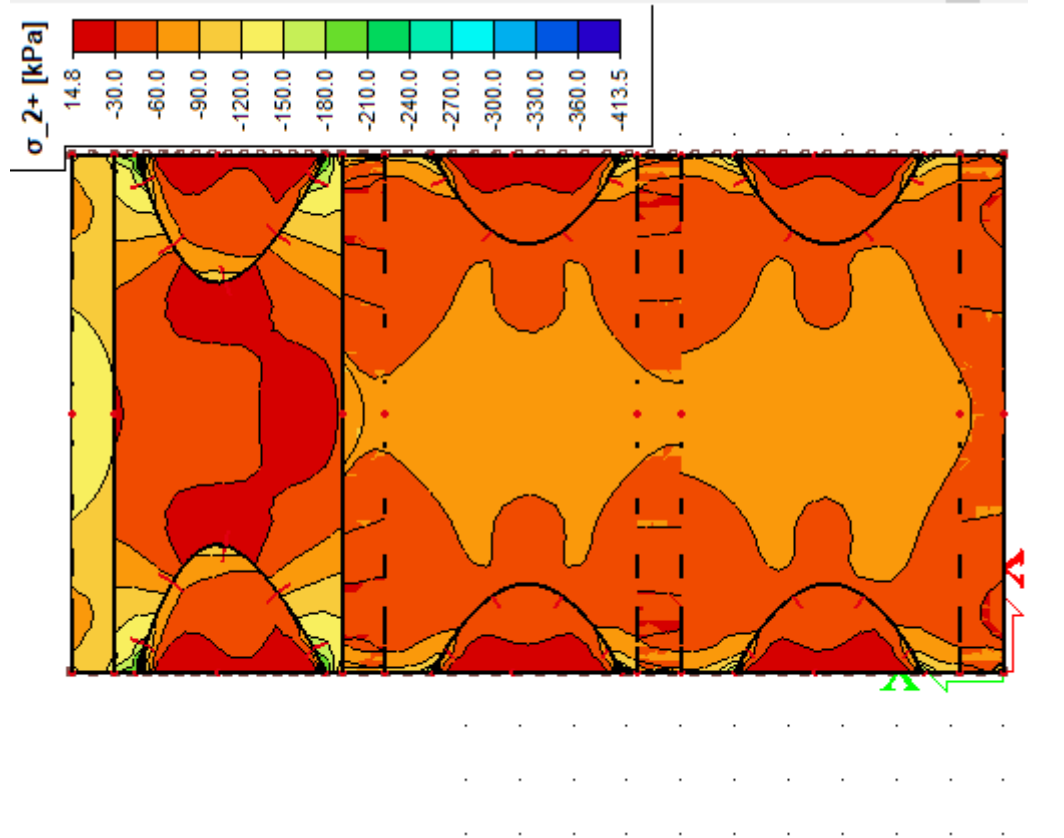
$\sigma_y$  napětí pohled E (ze spodu)



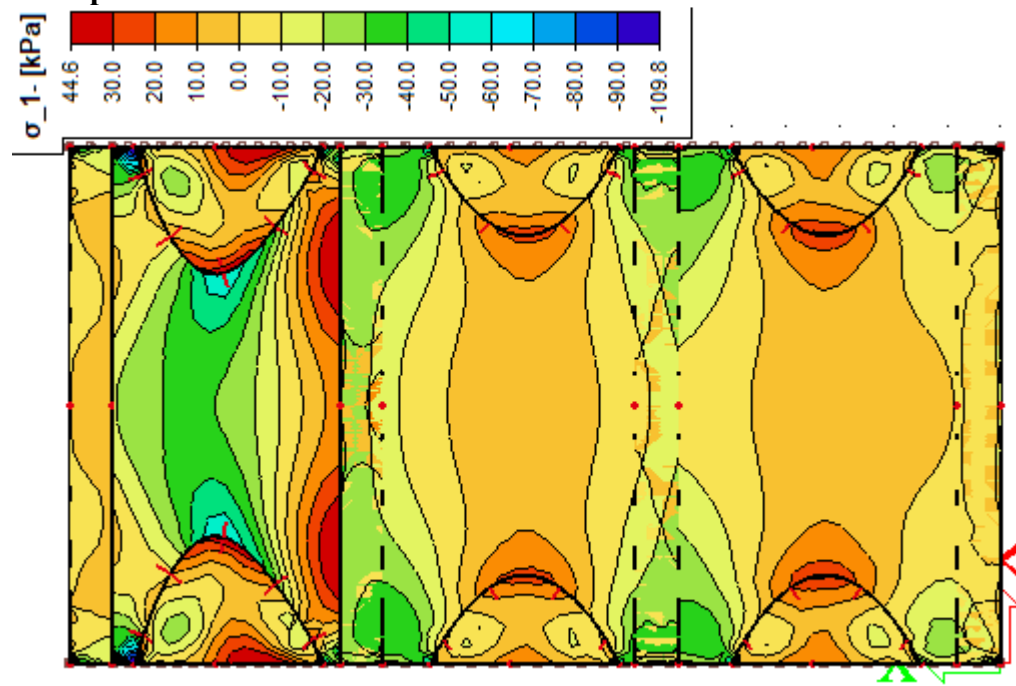
### $\sigma_{1+}$ napětí ze shora



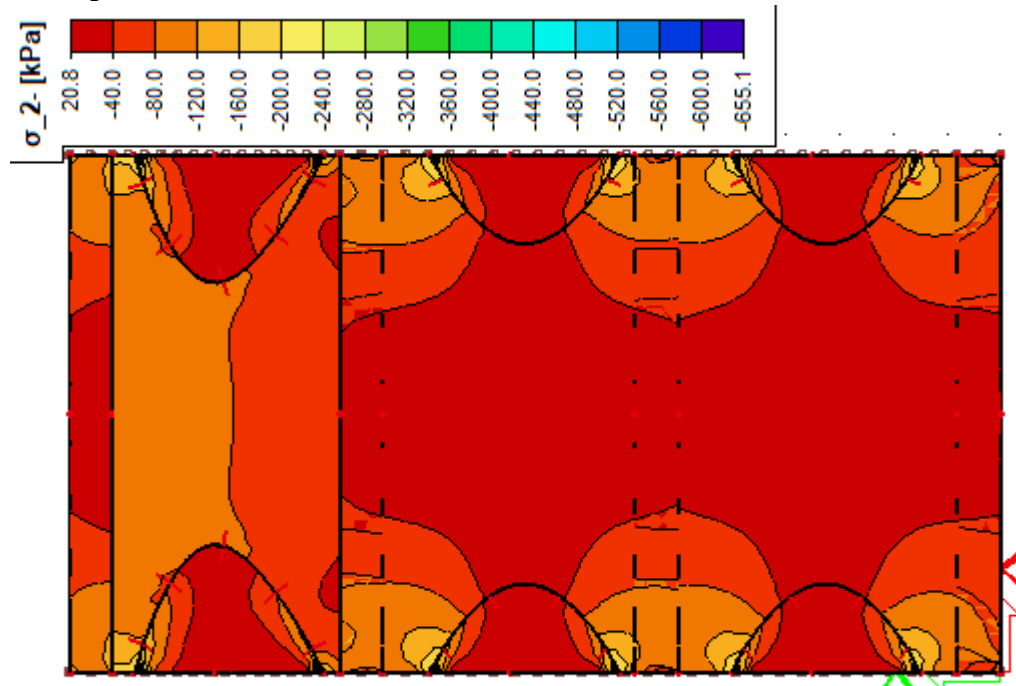
### $\sigma_{2+}$ napětí ze shora



### $\sigma_1$ - napětí ze shora



### $\sigma_2$ - napětí ze shora



## **Normy a odborná literatura**

ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Český normalizační institut, 2004

ČSN EN 1991-1-3 ed. 2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Český normalizační institut, 2003

ČSN EN 1991-1-4 ed. 2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Český normalizační institut, 2007

ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Český normalizační institut, 2006