

Fakulta aplikovaných věd  
Katedra mechaniky  
Obor Stavitelství (STA)  
Akademický rok 2019/2020

# **Diplomová práce**

**Analýza konstrukcí za pomoci statických softwarů**

Vypracoval: Bc. Jaroslav Bodurka  
Vedoucí práce: Ing. Petr Kesl

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci na téma „Analýza konstrukcí za pomoci statických softwarů“ vypracoval samostatně pod odborným vedením Ing. Petra Kesla s použitím uvedené literatury a pramenů.

V Plzni dne .....

.....

Bc. Jaroslav Bodurka

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Petru Keslovi, za odborné vedení mé diplomové práce, věnovaný čas a cenné rady, které mi věnoval při konzultacích této práce.

Dále bych chtěl poděkovat celé mé rodině a nejbližším přátelům, kteří mě po celou dobu studia plně podporovali.

## **Anotace**

Hlavním cílem této diplomové práce je analyzovat nosné prvky vaznicové soustavy krovu z různých hledisek.

Statické posouzení nosné konstrukce krovu je provedeno v souladu s příslušnými normami ČSN EN v aktuálním platném znění včetně veškerých částí a příloh. Statické výpočty prvků konstrukce, jejich dimenzování a posouzení bylo provedeno v programech SCIA Engineer 19.1 a Anthill.

## **Klíčová slova**

Krov, vaznicová soustava, stojatá stolice, statický výpočet, vnitřní síly, zatížení objektu, SCIA Engineer 19.1,

## **Annotation**

The main subject of this diploma thesis is to analyze load-bearing construction of framed roof from different points of view.

Static assessment of steel construction was done in accordance with relevant standards ČSN EN amended to date, including all parts and annexes. Static assessment of structure, its dimensioning and its assessment have been made in programs Anthill and SCIA Engineer 19.1.

## **Key words**

Roof, static assessment, internal forces, load of object, documentation for building permit, SCIA Engineer 19.1

## **Obsah**

Čestné prohlášení .....	2
Poděkování.....	3
Anotace .....	4
Klíčová slova .....	4
Annotation .....	5
Key words .....	5
1. Úvod.....	7
2. Krový .....	8
2.1. Tvary střech a názvy střešních hran .....	8
3. Klasické krový .....	9
3.1. Prvky klasických krovů, rozměrové zásady a jejich funkce .....	9
3.2. Prostorová skladba klasického krovu .....	13
3.3. Návrh průřezů prvků klasických krovů.....	13
4. Popis konstrukce .....	14
5. Rozbor zatížení .....	16
6. 3D model.....	26
6.1. Vazby .....	27
6.2. Připojení jednotlivých prutů.....	30
6.3. Analýza vnitřních sil – 3D model .....	33
7. 2D model.....	64
8. Srovnání 2D a 3D modelu .....	66
9. Optimalizace průřezu .....	82
10. Odstranění prvků vaznicové soustavy .....	85
10.1. Odstranění dolních kleštín a vazného trámu .....	85
10.2. Odstranění pásků .....	99
11. Vliv sněhových oblastí na dimenzi prvků.....	101
Závěr .....	105
Seznam příloh .....	106
Seznam výkresů .....	106
Seznam použitých norem a literatury .....	106
Seznam použitého softwaru .....	106
Seznam obrázku.....	107
Seznam tabulek .....	108

## **1. Úvod**

V diplomové práci se budu zabývat vytvářením výpočtového modelu dřevěného krovu vaznicové soustavy. Vytvořit model, který bude nejlépe vystihovat skutečné chování krovu nejde jednoznačně určit. Jednotlivé prvky krovu nevytváří ani tuhý ani kloubový styčníky. Určit pružnostní konstantu také nejde jednoznačně určit. V této diplomové práci budu sledovat chování různých variant 3D modelu, využití jednotlivých prvků a reakce v podporách.

Nejprve budu hledat nejvhodnější druh podpor, které mají významný vliv na chování celé konstrukce. Dále budu porovnávat chování 2D a 3D modelu vaznicové soustavy. Tyto modely budou dimenzovány dle empirické tabulky. Následně průřezy optimalizuji a posoudím dle ČSN EN 1995.

V dnešní době mnoho krovu prochází rekonstrukcí. Z neobytných podkroví se stávají podkroví obytné. Tomu ovšem brání některé prvky plných vazeb. Investoři tlačí na stavebníky tyto prvky odstranit, což má podstatný vliv na chování celé konstrukce. V další úloze se budu zabývat změnou chování, vnitřními silami a reakcemi v podporách na zachovaných prvcích.

Při návrhu dřevěného krovu hraje zásadní roli umístění objektu a zařazení do sněhových oblastí. V této podkapitole představím, do jakých sněhových oblastí je počítaná vaznicová soustava vhodná a kde už nikoliv.

Na závěr budu porovnávat využití prvků na 2D konstrukci pomocí ČSN EN 1993 s pravděpodobnostní metodou SBRA.

## 2. Krovy

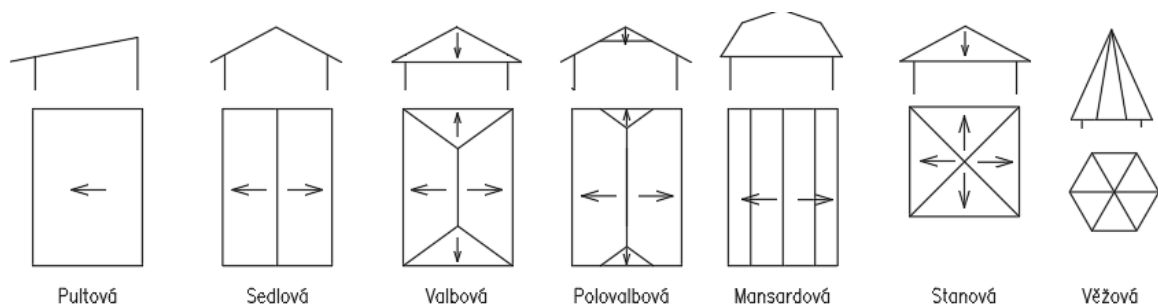
Krovy zastřešují nejvyšší podlaží objektu a tvoří nosnou konstrukci pro strmé nebo šikmé střechy. Sklon šikmé střechy se pohybuje v rozmezí  $10^\circ$  a  $45^\circ$ . Při větším sklonu než  $45^\circ$  se budeme bavit o střeše strmé. Krov je hlavní nosnou konstrukcí střechy a přenáší veškeré zatížení od střešního pláště, klimatické zatížení, tj. zatížení od sněhu a zatížení od větru, do ostatních nosných prvků. Těmi jsou nejčastěji svislé nosné konstrukce, popřípadě stropní konstrukce (přenos zatížení ze sloupků).

Střešní plášť tvoří ochranná a hydroizolační vrstva – střešní krytina, která je uložena na plošném bednění nebo laťování, dále vrstva doplňková hydroizolační, tepelně izolační, parotěsná, vzduchová a nakonec podhledová.

Spád střechy volíme dle zvolené střešní krytiny. Každý výrobce udává minimální sklon (nebo bezpečnostní sklon), při kterém střešní krytina plní svoje funkce. (1)

### 2.1. Tvary střech a názvy střešních hran

Rozdělení střech podle tvarů:



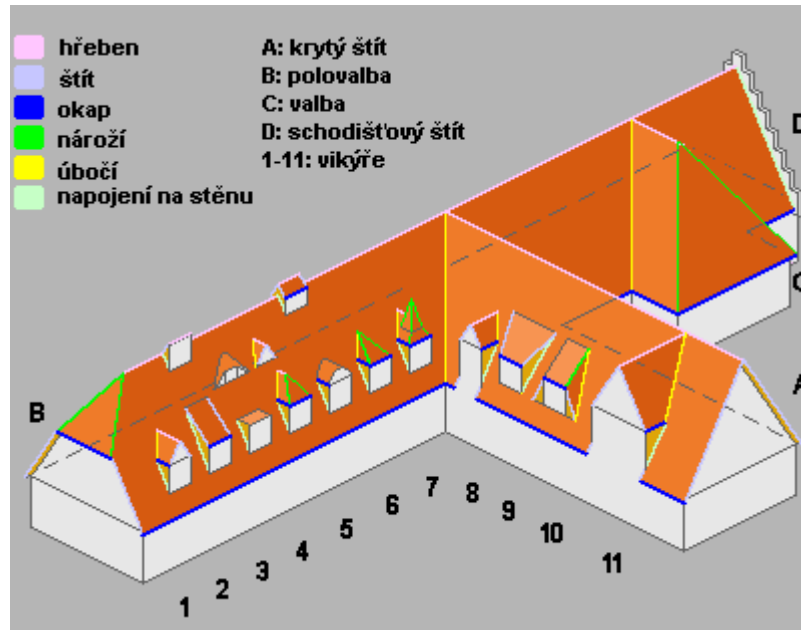
Obr. 1 Tvary střech

Názvy střešních hran:

- Hřeben
  - o Hřeben je vodorovná průsečnice a nejvýše položené místo střechy.
- Nároží
  - o Nároží je sklonitá průsečnice, od které voda odtéká
- Úžlabí (úbočí)
  - o Úžlabí je sklonitá průsečnice, do které voda přitéká
- Okap
  - o Okap je nejnižší položený okraj střechy, nejčastěji ukončený římsou nebo převislou střešinou
- Štít
  - o Štít je svislý okraj střechy, po kterém voda teče rovnoběžně.

Pro prosvětlení a provětrání prostoru střechy slouží střešní okna nebo vikýře. Tvary vikýřů jsou obdobné jako tvary střech.





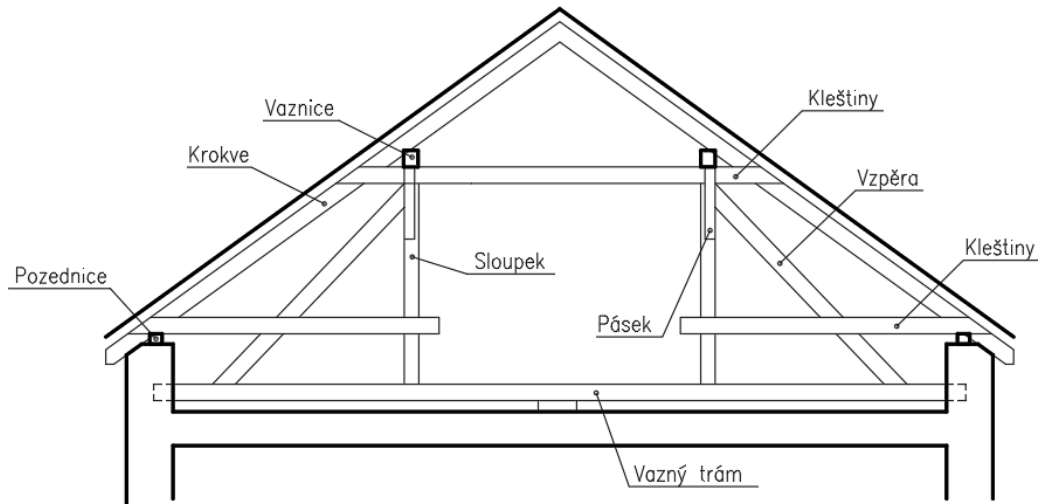
Obr. 2 Názvosloví střechy (1)

- 1 – sedlový vikýř
- 2 – pultový vikýř
- 3 - vikýř s plochou střechou
- 4 - valbový vikýř
- 5 - obloukový vikýř
- 6 - valbový vikýř bez hřebene
- 7 - vikýř se střešní nástavbou (věžička krytá stanovou střechou)
- 8 - mansardový vikýř (čelní stěna vikýře je ve stejné rovině jako obvodová zeď)
- 9 - pultový vikýř s lichoběžníkovou, (rozšiřující se), střechou
- 10 - trapézový vikýř

### 3. Klasické krovy

#### 3.1. Prvky klasických krovů, rozměrové zásady a jejich funkce

Mezi základní prvky klasického krovu patří krokve, vaznice, sloupky, kleštiny, vazný trám, pozednice, vzpěry a pásy. Další druhy krovů mají i jiné prvky např. hambálek, vzpěradlo, vzpínadlo. Zde se budu zabývat základními prvky klasického krovu na stojaté stolici.



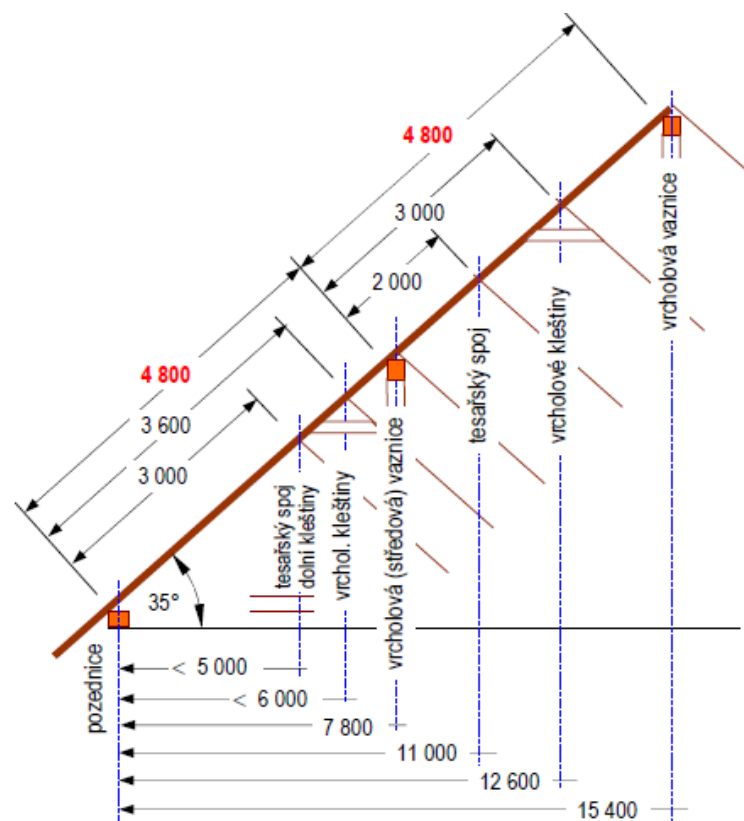
*Obr. 3 Prvky klasického krovu na stojaté stolici*

### **Krokve**

Plošné klimatické zatížení a zatížení od střešního pláště přebírají přes laťování nebo bednění krokve, osově vzdálené 0,8 až 1,2 m. Krokve přenáší bodové zatížení do vaznice a pozednice. Krokve jsou na tyto prvky osedlány a spojeny jedním hřebíkovým spojem.

### **Vaznice**

Vaznice je vodorovný ohýbaný prvek podepřený sloupky, popřípadě štítovými nebo vnitřními svislými stěnami. Vaznice rozlišujeme dle rozpětí krovu na vaznice středové a vrcholové.



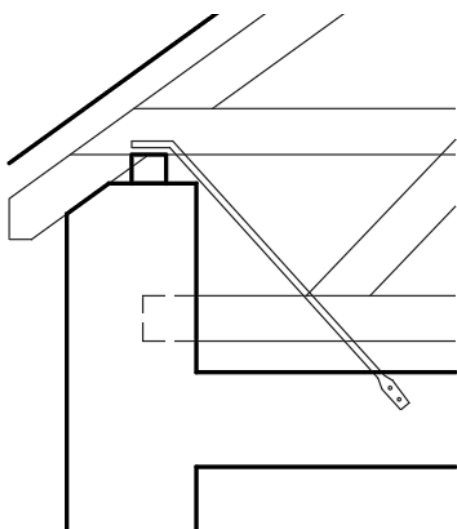
*Obr. 4 Schéma pro návrh krovu vaznicové soustavy v závislosti na šířce budovy (3)*

## Sloupek

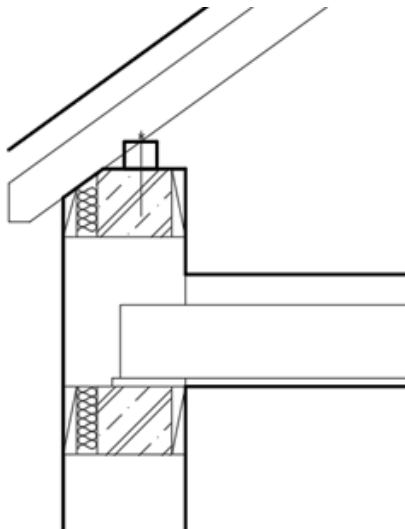
Sloupky jsou svislými prvky, namáhanými vzpěrným tlakem, čepovány do vazného trámu. V nové zástavbě jsou kotveny do stropní konstrukce.

## Pozednice

Pozednice je vodorovný prvek, ke kterému jsou připojeny krokve pomocí osedlání. Pozednice je celoplošně podepřena nadezdívkou. Ve starší zástavbě je pozednice kotvena pomocí páskové oceli do stropní konstrukce. V nové zástavbě je přenos zatížení od pozednice řešený pomocí závitové tyče a chemického kotvení do železobetonového věnce. Pozednice oproti vaznici není namáhaná na ohyb, z toho důvodu je menšího průřezu než vaznice.



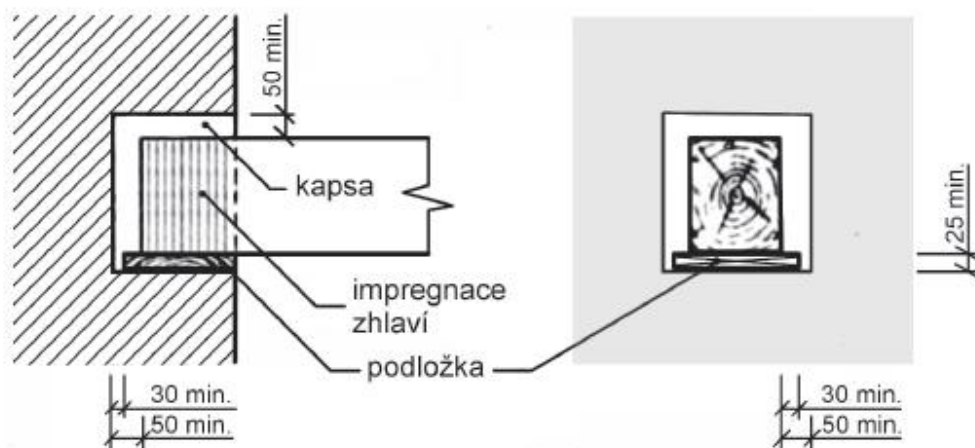
Obr. 5 Kotvení pozednice pomocí páskové oceli



Obr. 6 Kotvení do železobetonového věnce

## Vazný trám

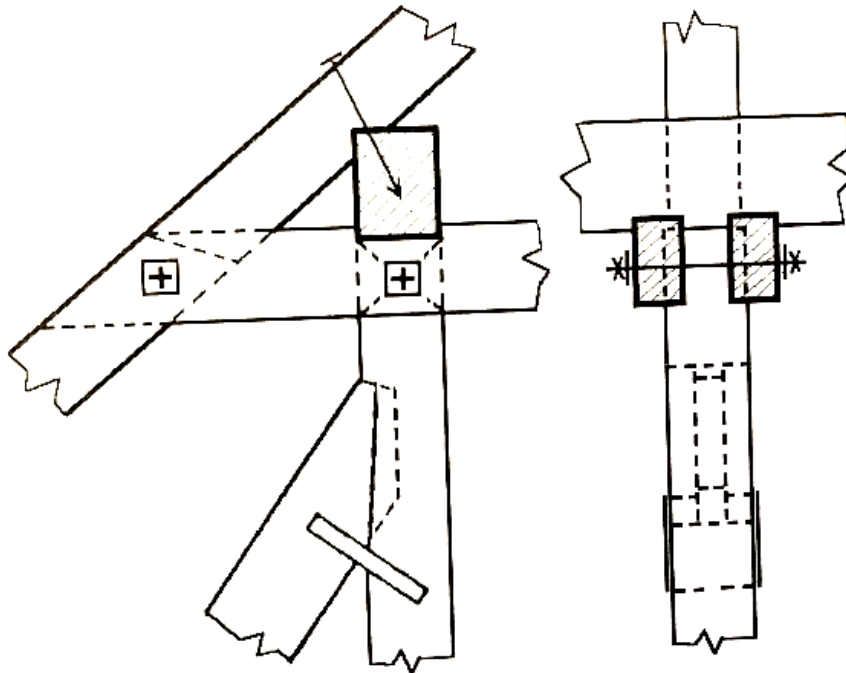
Vazný trám byl používán především ve starší zástavbě. Jedná se o největší prvek krovu. Vazný trám je ohýbaný prvek, který přenáší zatížení ze sloupků a vzpěr do obvodové stěny a dále do spodní stavby. Vazný trám je uložený do kapes na dřevěné podložky.



Obr. 7 Uložení vazného trámu (1)

## Kleštiny

Kleštiny spolu s krokvemi tvoří tuhé trojúhelníky a ztužují konstrukci krovu v příčném směru. Zajišťují vaznice a pozednice proti posunutí. Kladou se ve dvojicích nad pozednice a pod vaznice, kříží sloupky, vzpěry a krokve. Kleštiny jsou s ostatními prvky krovu spojeny pomocí kampování. Pro spoj kleštiny-krokve mohou být spojeny pouze svorníkem.



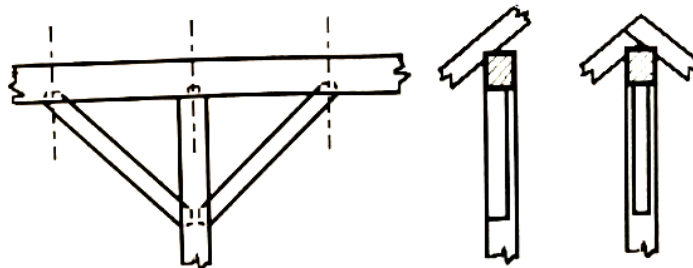
Obr. 8 Spojení kleštin, sloupku, vaznice, krokve a vzpěry (1)

## Vzpěry

Podobně jako kleštiny tvoří tuhé trojúhelníky a ztužují konstrukci v příčném směru. Ke sloupkům a vaznému trámu jsou vzpěry připojeny čepováním nebo zapuštěním. Vzpěry nejsou schopné přenášet tahová zatížení. Staticky účinné jsou pouze tlačené.

## Pásy

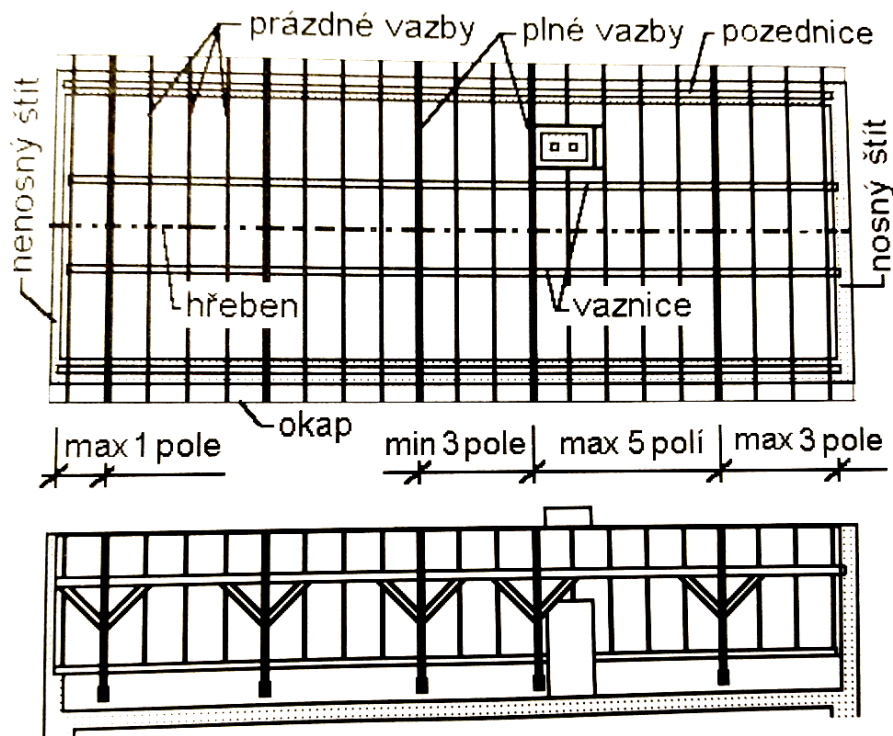
Pásy jsou umístěné pod vaznicemi po obou stranách sloupků. Se sloupky a vaznicemi jsou spojeny pomocí čepů. Pásy ztužují konstrukci krovu v podélném směru. Dále pásy zkracují rozpětí vaznic a tím zmenšují jejich průhyb.



Obr. 9 Vzpěry (1)

### 3.2 Prostorová skladba klasického krovu

V konstrukci krovu rozlišujeme vazby plné a vazby jalové (prázdné). Plné vazby obsahují veškeré prvky krovu – kleštiny, sloupky, vzpěry. Jalové vazby obsahují pouze nesené části krovu, tj. krokve. Mezi plnými vazbami jsou 3-4 vazby jalové, tj. vzdálenost 3,6 až 4,5 metrů. Proti vodorovným účinkům v příčném směru zajišťují tuhost plné vazby (kleštiny, vzpěry) v podélném směru pásky.



Obr. 10 Prostorová skladba klasického krovu (1)

### 3.3 Návrh průřezů prvků klasických krovů

Průřezy prvků klasických krovů se dříve navrhovali dle empirických vzorců.

Prvek	Výška průřezu prvku $h$ (mm) - pro kritiny			šířka průřezu prvku (mm) $b$
	prejzy, dvojité tašky	jednoduché tašky	šindel, plech	
krokve	$30a + 40$	$30a + 30$	$30a + 20$	$4 h / 5$
nárožní krokve	$1,5 h$ krokve	$1,5 h$ krokve	$1,5 h$ krokve	$b$ (krokve) + 20
vaznice	$10 a^2 + 30$	$10 a^2 + 20$	$11 a^2 + 30$	$3 h / 4$ až $4 h / 5$
sloupek	$10 a + 140$	$10 a + 120$	$11 a + 140$	$h$
vazný trám	$5 a + 180$	$5 a + 170$	$6 a + 180$	$3 h / 4$ až $5 h / 7$
kleština	$10 a + 160$	$10 a + 140$	$11 a + 160$	$h / 2$
vzpěra	$10 a + 140$	$10 a + 120$	$11 a + 140$	$4 h / 5$
rozpěra	$10 a + 120$	$10 a + 110$	$11 a + 120$	$4 h / 5$
pásek	120 až 150	120 až 150	120 až 150	100 až 120
pozednice	100 až 140	100 až 140	100 až 140	120 až 180

Tab. 1 Empirická tabulka pro dimenzi prvků, kde  $a$  je délka prvků od podpory k podpoře v metrech

Standardní rozměry prvků starších krovů:

- Krokve, pásky 100/120 až 140/160 mm
- Vaznice 140/160 až 160/220 mm
- Pozednice 120/100 až 140/120 mm
- Sloupky, vzpěry 120/120 až 160/160 mm
- Kleštiny 60/120 až 80/160 mm
- Vazné trámy 180/220 až 240/280 mm

#### 4. Popis konstrukce

Jedná se o dřevěný krov vaznicové soustavy se stojatou stolicí s klasickými prvky. Sklon střechy je  $31^\circ$ . Krokve jsou od sebe vzdálené 1 metr, podepřené pozednicí a středovou vaznicí. Mezi plnými vazbami jsou čtyři pole. Mezi zdmi a plnými vazby jsou vazby tři. Vaznice jsou podepřené sloupky, které přenáší dále zatížení do vazného trámu. Vazný trám je uložený na obvodových zdech a uprostřed podepřený zdi středovou. Ztužení v příčném směru zajišťují horní kleštiny a dolní kleštiny. Ztužení ve směru podélném zajišťují pásky.

Dimenze prvků je určena dle empirických vzorců viz. tabulka 2. Tím chci demonstrovat poddimenzování, popřípadě předdimenzování prvků dle výpočtu podle Eurokódu. Model krovu je vypracován dle tradičních zásad pro navrhování vaznicových soustav krovu, viz. obrázek 4 a obrázek 10.

#### Dimenze prvků dle empirické tabulky:

Prvek jednoduché tašky	délka (mm) a	Výška průřezu prvku (mm)	h	šířka průřezu prvku (mm)	b
		h		b	
krokve	4,50	$30a + 30$	160	$4h / 5$	120
vaznice	4,00	$10a^2 + 20$	180	$3h / 4$ až $4h / 5$	140
sloupek	3,10	$10a + 120$	150	h	150
vazný trám	12,50	$5a + 170$	230	$3h / 4$ až $5h / 7$	170
horní kleština	5,90	$10a + 140$	200	$h / 2$	100
dolní kleština	3,80	$10a + 140$	180	$h / 2$	90
pásek		120 až 150	140	100 až 120	120
pozednice		100 až 140	120	120 až 180	140

Tab. 2 Empirická tabulka pro dimenzi prvků

#### Materiál:

Jméno	Typ dřeva	$\rho$	$E_{mod}$	$G_{mod}$	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{v,k}$
		[kg/m <sup>3</sup> ]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
C24	Rostlé dřevo	420	$1,1 \cdot 10^4$	$6,9 \cdot 10^2$	24,0	14,5	0,4	21,0	2,5	4,0

Tab. 3 Tabulka materiálu





## 5. Rozbor zatížení

Veškeré hodnoty zatížení jsou zatížení charakteristické.  
Osová vzdálenost kroků – 1 m

### Stálé zatížení

Keramické tašky Bramac  
hmotnost - 40,8 kg/m<sup>2</sup>

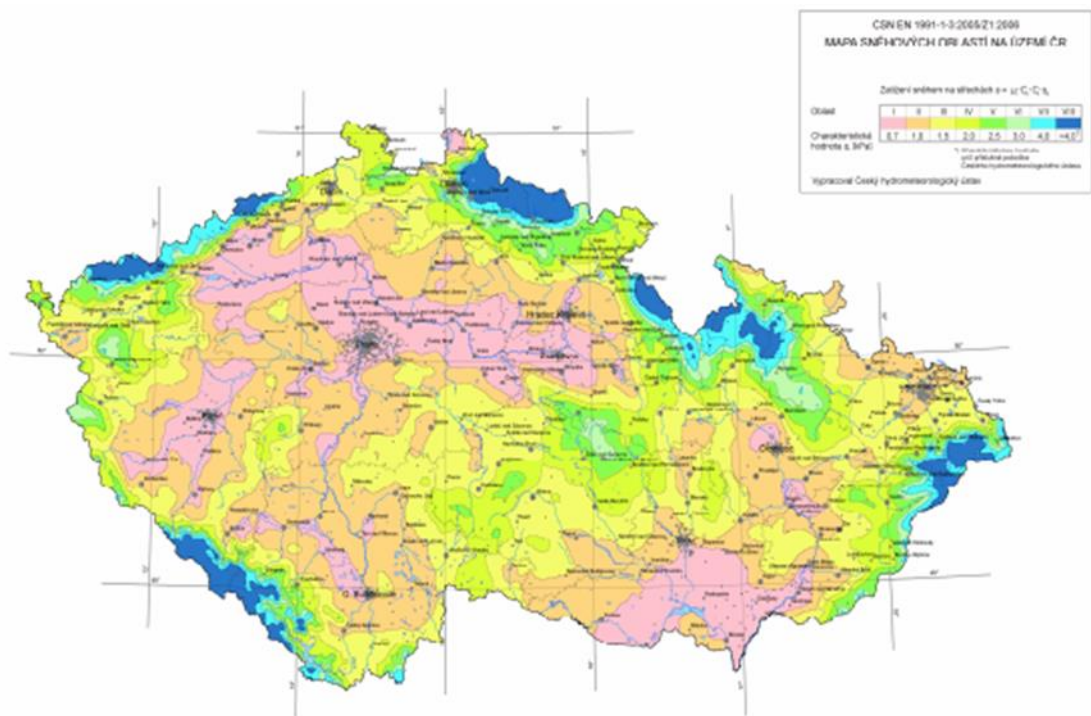
$$(40,8/100)*1,0 = \mathbf{0,41 \text{ kN/m}}$$

### Zatížení sněhem

$$S = \mu_i * C_e * C_t * S_k$$

Sněhové oblasti

Oblast	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$S_k$ [kNm <sup>-2</sup> ]	0,7	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	> 4,0



*Obr. 12 Mapa sněhových oblastí*



Typ krajiny	$C_e$
otevřená	0,8
normální	1,0
chráněná	1,2

Tvarový součinitele zatížení sněhem			
Úhel sklonu střechy	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_i$	0,8	$0,8 * (60 - \alpha) / 30$	0

$S_k$ - char. hodnota zatížení sněhem na zemi	1 kN/m <sup>2</sup>
$C_t$ - tepelný součinitel	1,0
$C_e$ - součinitel expozice	1,0
$\mu_i$ - tvarový součinitel	$0,8 * (60 - 31) / 30 = 0,77$

$S = 0,77 * 1 * 1,0 * 1,0 = 0,77 \text{ kN/m}^2 * 1,0 =$	<b>0,77 kN/m</b>
--	------------------

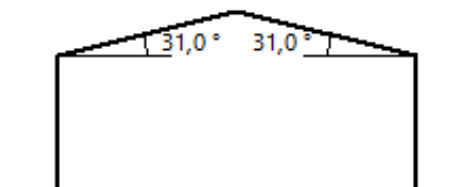
**Případ (i)**



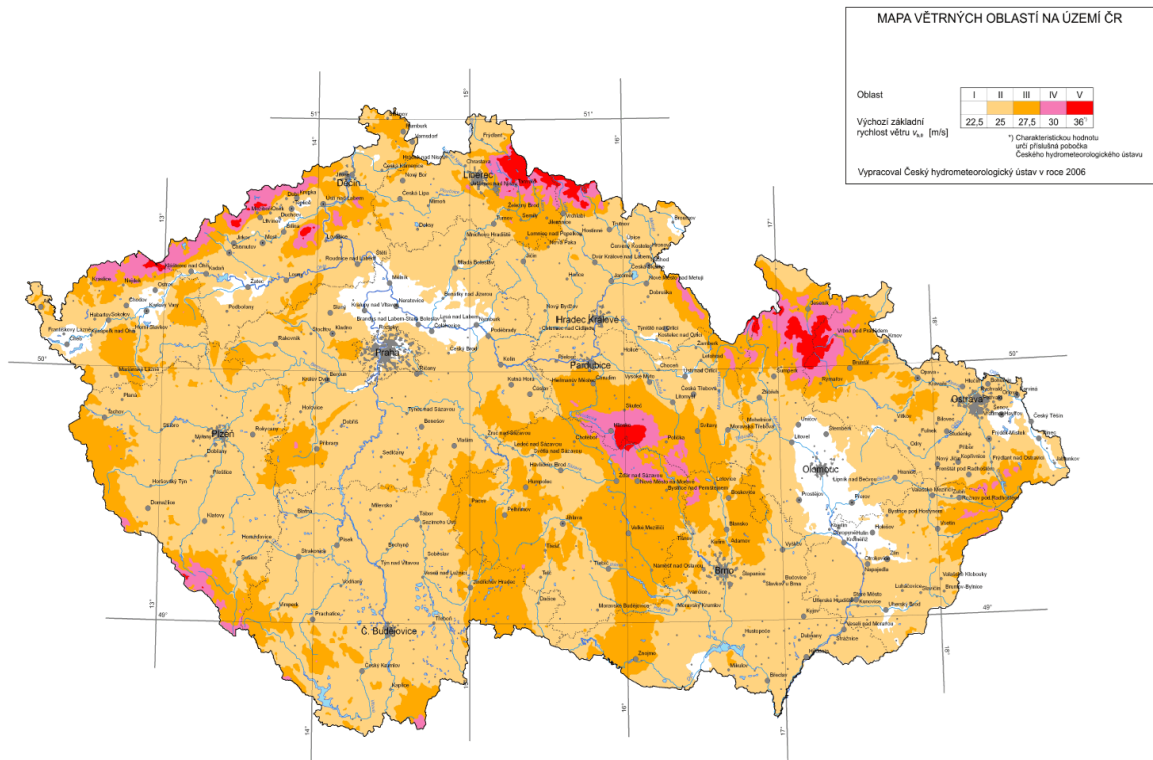
**Případ (ii)**



**Případ (iii)**



## Zatížení větrem



Obr. 13 Mapa větrných oblastí

### ● ZÁKLADNÍ RYCHLOST VĚTRU

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} \quad 25 \quad \text{m.s}^{-1}$$

$$\begin{aligned} C_{dir} &= 1,00 & - \\ C_{season} &= 1,00 & - \\ \text{OBLAST} &= \text{II} & - \rightarrow \text{z větrné mapy ČR} \\ V_{b,0} &= 25,00 & \text{m.s}^{-1} \end{aligned}$$

### ● STŘEDNÍ RYCHLOST VĚTRU

$$V_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot V_b \quad 23,473 \quad \text{m.s}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \text{TERÉN} &= \text{II} \\ z &= 7,00 \quad \text{m} \\ z_0 &= 0,05 \quad \text{m} \\ z_{min} &= 2 \quad \text{m} \\ z_{max} &= 200 \quad \text{m} \\ k_r &= 0,1900 & - \\ z_{o,II} &= 0,05 \quad \text{m} \end{aligned}$$

Tab. 4.1 - ČSN EN 1991-1-4		
TERÉN	z <sub>0</sub>	z <sub>min</sub>
I	0,01	1
II	0,05	2
III	0,3	5
IV	1	10

$$\begin{aligned} c_r(z) &= 0,939 & - \\ c_o(z) &= 1,00 & - \end{aligned}$$

### ● MAXIMÁLNÍ DYNAMICKÝ TLAK

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad 0,832 \quad \text{kN.m}^{-2}$$

$$\begin{aligned} k_1 &= 1,00 & - \\ I_v(z) &= 0,202 & - \\ \rho &= 1,25 \quad \text{kg.m}^{-3} \end{aligned}$$

## Sedlové střechy

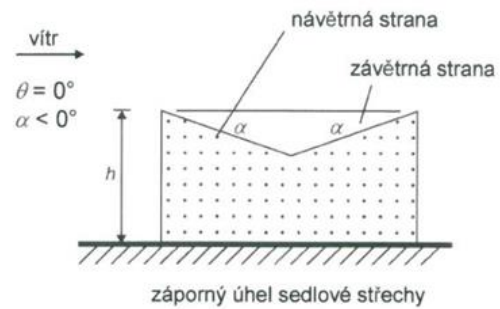
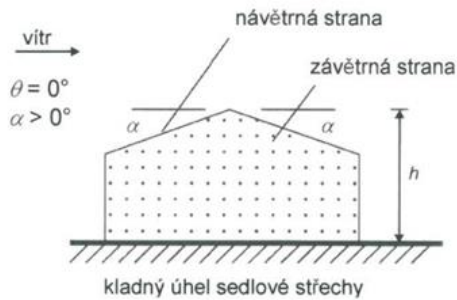
$$C_s C_d = 1 -$$

$$\alpha = 31^\circ \quad (\text{sklon střechy})$$

$$h = 7 \text{ m} \quad (\text{nejvyšší bod střechy})$$

$$p(0^\circ) = 0,1 \text{ m} \quad (\text{přesah střechy kolmo na hřeben střechy, } \theta = 0^\circ)$$

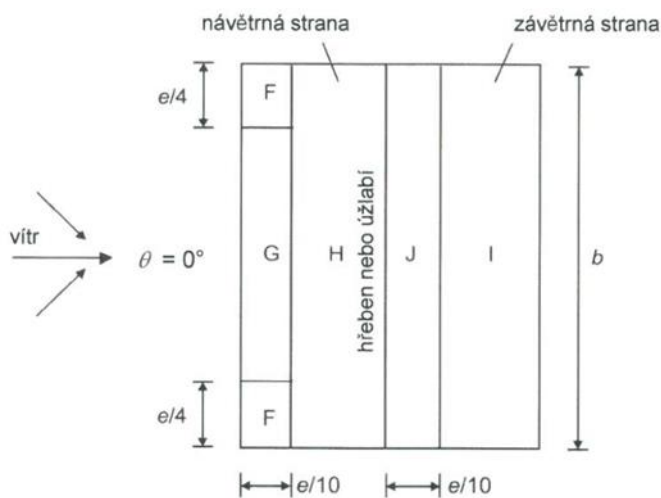
$$p(90^\circ) = 0,3 \text{ m} \quad (\text{přesah střechy rovnoběžně s hřebenem střechy, } \theta = 90^\circ)$$



### 1) Směr větru $\theta = 0^\circ$

$$b = 14,88 \text{ m} \quad (\text{rozměr kolmý na směr větru})$$

$$d = 13 \text{ m} \quad (\text{rozměr rovnoběžně se směrem větru})$$



### Sání větru:

Úhel sklonu	F	G	H	I	J
$\alpha$	$C_{pe,10} (-)$	$C_{pe,10} (-)$	$C_{pe,10} (-)$	$C_{pe,10} (-)$	$C_{pe,10} (-)$
31	-0,47	-0,47	-0,19	-0,39	-0,49

$q_p [\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}] =$	-0,39	-0,39	-0,16	-0,32	-0,40
$q_p [\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}] =$	-0,39	-0,39	-0,16	-0,32	-0,40

$$b_{ref} = 1 \text{ m} \quad (\text{zatěžovací šířka})$$

Tlak větru:

Úhel sklonu	F	G	H	I	J
$\alpha$	$C_{pe,10}$ (+)	$C_{pe,10}$ (+)	$C_{pe,10}$ (+)	$C_{pe,10}$ (+)	$C_{pe,10}$ (+)
31	0,70	0,70	0,41	0,00	0,00

$q_p$ [kN.m <sup>-2</sup> ] =	0,58	0,58	0,33	0,00	0,00
$q_p$ [kN.m <sup>-1</sup> ] =	0,58	0,58	0,33	0,00	0,00

$b_{ref} = 1$  m (zatěžovací šířka)

$e = 14$  m (menší z hodnot  $b$  nebo  $2h$ )

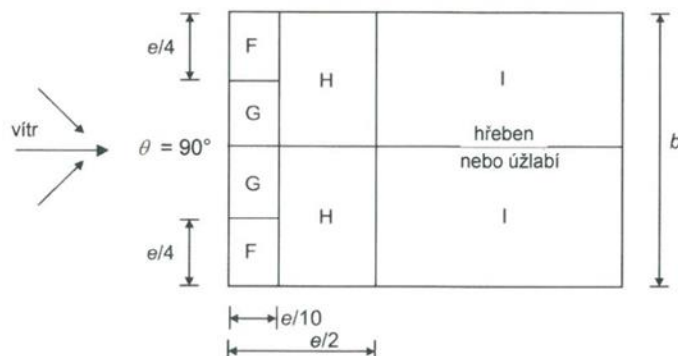
Rozměry	x [m]	y [m]
F =	1,40	3,50
G =	1,40	8,48
H =	5,19	15,48
J =	1,40	15,48
I =	5,19	15,48

\*směr x se shoduje se směrem větru, rozměry jsou uvedeny do průmětu

## 2) Směr větru $\theta = 90^\circ$

$b = 13$  m (rozměr kolmý na směr větru)

$d = 14,88$  m (rozměr rovnoběžně se směrem větru)



Sání větru:

Úhel sklonu	F	G	H	I
$\alpha$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
31	-1,10	-1,40	-0,81	-0,50

$q_p$ [kN.m <sup>-2</sup> ] =	-0,92	-1,17	-0,67	-0,42
$q_p$ [kN.m <sup>-1</sup> ] =	-0,92	-1,17	-0,67	-0,42

$b_{ref} = 1$  m (zatěžovací šířka)

$e = 13$  m (menší z hodnot  $b$  nebo  $2h$ )

Rozměry	x [m]	y [m]
F =	1,30	3,25
G =	1,30	3,34
H =	5,20	6,59
I =	8,98	6,59

\*směr x se shoduje se směrem větru, rozměry jsou uvedeny do průmětu

Poznámka:

Návětrná strana je při pohledu na krov na pravé straně, tzn. vítr fouká zprava doleva.

### **Zatěžovací stavy:**

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Působení
ZS1	Vlastní tíha	Stálé	Stálé	
ZS2	Stálé zatížení	Stálé	Stálé	
ZS3	Sníh 50%/100%	Proměnné	Sníh	Střednědobé
ZS4	Sníh 100%/50%	Proměnné	Sníh	Střednědobé
ZS5	Sníh 100%/100%	Proměnné	Sníh	Střednědobé
ZS6	Vítr - příčný, tlak/sání	Proměnné	Vítr	Krátkodobé
ZS7	Vítr - podélný, sání/sání	Proměnné	Vítr	Krátkodobé
ZS8	Vítr - příčný, tlak/nic	Proměnné	Vítr	Krátkodobé
ZS9	Vítr- příčný, sání/nic	Proměnné	Vítr	Krátkodobé
ZS10	Vítr - příčný, tlak/tlak	Proměnné	Vítr	Krátkodobé
ZS11	Vítr - příčný, sání/sání	Proměnné	Vítr	Krátkodobé

Tab. 4 Tabulka zatěžovacích stavů

### **Skupiny zatížení:**

Jméno	Zatížení	Vztah	Typ
Stálé	Stálé		
Proměnné	Proměnné	Výběrová	Kat A: obytné
Vítr	Proměnné	Výběrová	Vítr
Sníh	Proměnné	Výběrová	Sníh

Tab. 5 Tabulka skupin zatížení

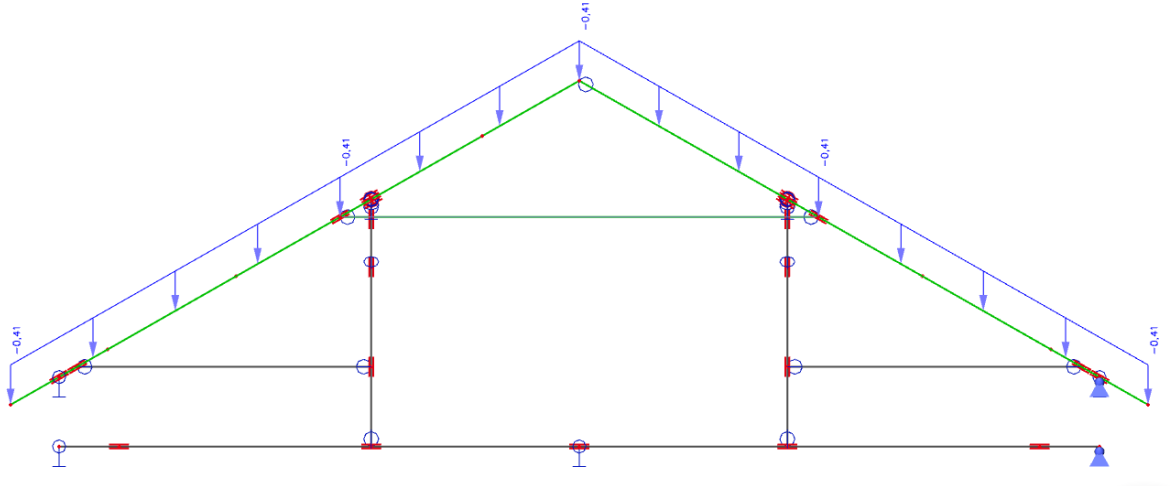
**Kombinace zatížení:**

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč.
MSÚ -1	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
		ZS2 - Stálé zatížení	1,35
		ZS3 - Sníh 50%/100%	1,50
		ZS4 - Sníh 100%/50%	1,50
		ZS5 - Sníh 100%/100%	1,50
		ZS6 - Vítr - příčný, tlak/sání	0,90
		ZS7 - Vítr - podélný, sání/sání	0,90
		ZS8 - Vítr - příčný, tlak/nic	0,90
		ZS9 - Vítr- příčný, sání/nic	0,90
		ZS10 - Vítr - příčný, tlak/tlak	0,90
		ZS11 - Vítr - příčný, sání/sání	0,90
MSÚ -2	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
		ZS2 - Stálé zatížení	1,35
		ZS3 - Sníh 50%/100%	0,75
		ZS4 - Sníh 100%/50%	0,75
		ZS5 - Sníh 100%/100%	0,75
		ZS6 - Vítr - příčný, tlak/sání	1,50
		ZS7 - Vítr - podélný, sání/sání	1,50
		ZS8 - Vítr - příčný, tlak/nic	1,50
		ZS9 - Vítr- příčný, sání/nic	1,50
		ZS10 - Vítr - příčný, tlak/tlak	1,50
		ZS11 - Vítr - příčný, sání/sání	1,50
MSP	Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
		ZS2 - Stálé zatížení	1,00
		ZS3 - Sníh 50%/100%	1,00
		ZS4 - Sníh 100%/50%	1,00
		ZS5 - Sníh 100%/100%	1,00
		ZS6 - Vítr - příčný, tlak/sání	1,00
		ZS7 - Vítr - podélný, sání/sání	1,00
		ZS8 - Vítr - příčný, tlak/nic	1,00
		ZS9 - Vítr- příčný, sání/nic	1,00
		ZS10 - Vítr - příčný, tlak/tlak	1,00
		ZS11 - Vítr - příčný, sání/sání	1,00

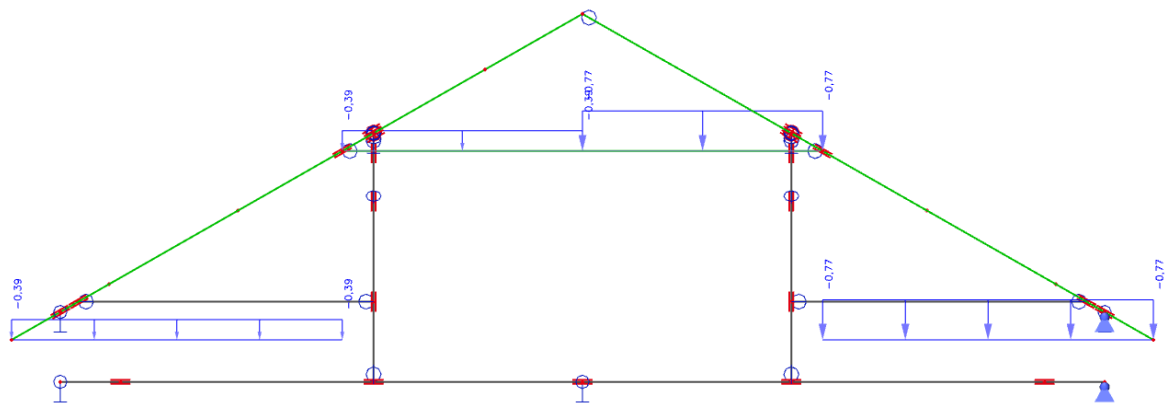
Tab. 6 Tabulka kombinace zatížení

## **2.Zatěžovací stav – stálé zatížení**

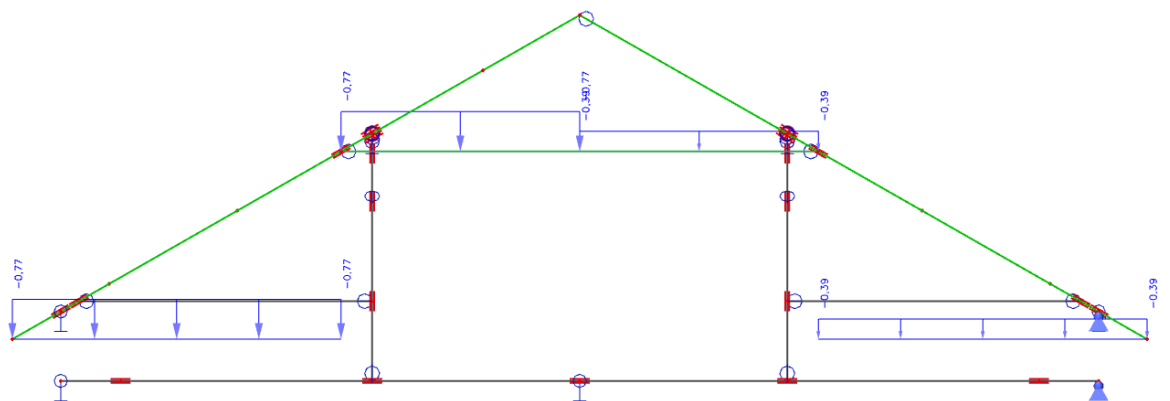
Pro zatížení klasické vaznicové soustavy uvažují krov nezateplený bez sádkartonových podhledů.



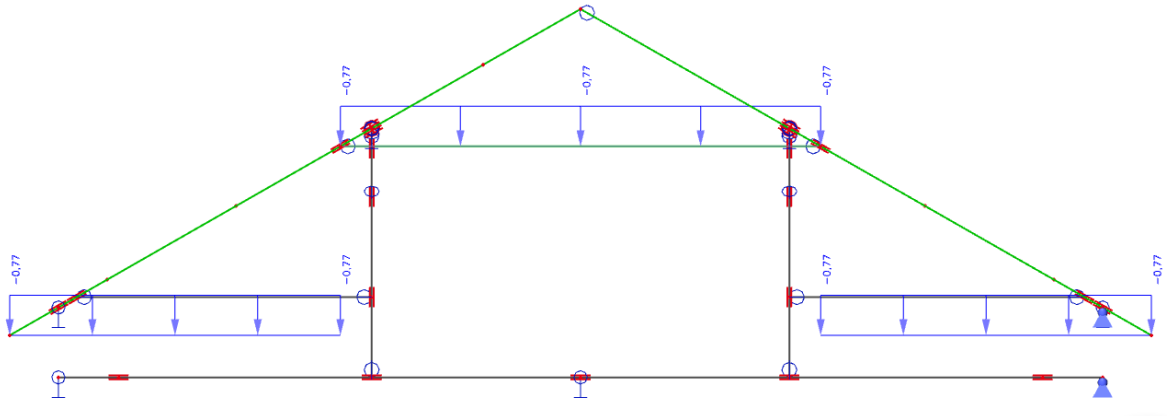
## **3.Zatěžovací stav – Sníh 50%/100%**



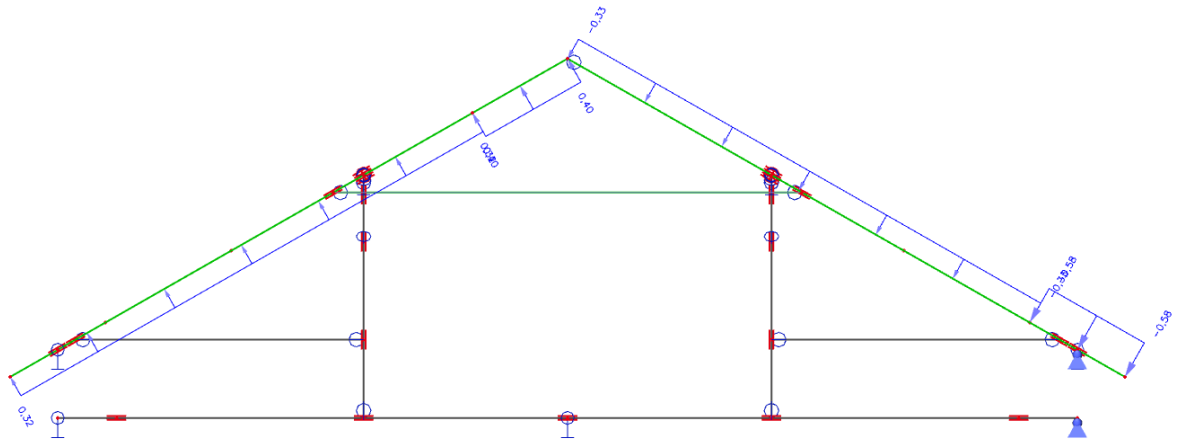
## **4.Zatěžovací stav – Sníh 100%/50%**



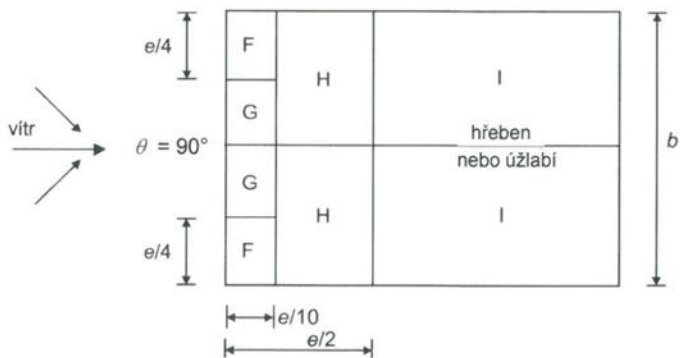
### 5. Zatěžovací stav – Sníh 100%/100%



### 6. Zatěžovací stav - Vítr - příčný, tlak/sání



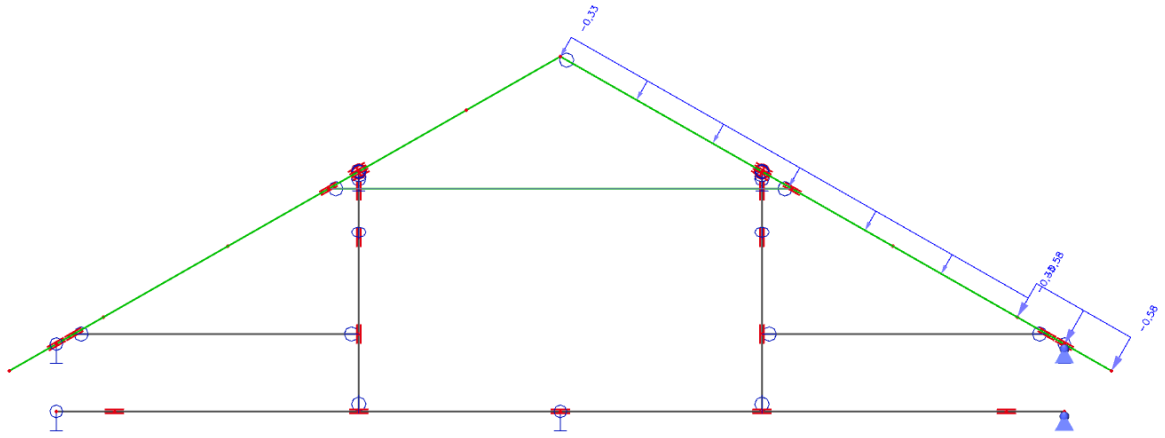
### 7. Zatěžovací stav - Vítr - podélný, sání/sání



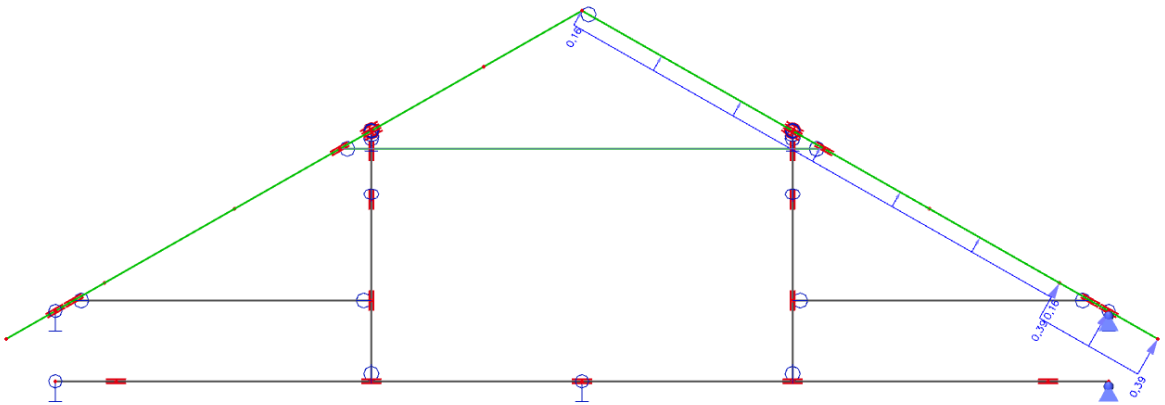
$$\begin{aligned}
 F &= -0,92 \text{ kN/m}^2 \\
 G &= -1,17 \text{ kN/m}^2 \\
 H &= -0,67 \text{ kN/m}^2 \\
 I &= -0,42 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$



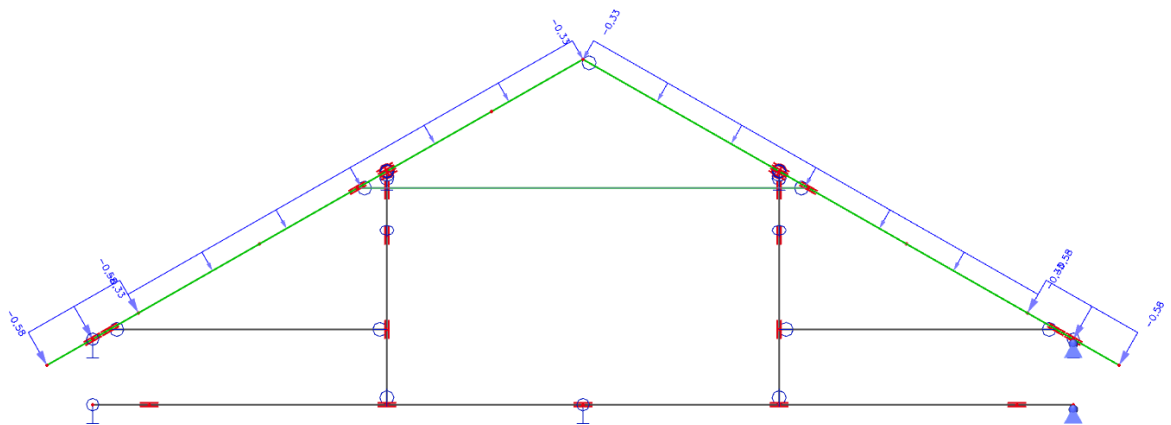
**8. Zatěžovací stav - Vítr - příčný, tlak/nic**



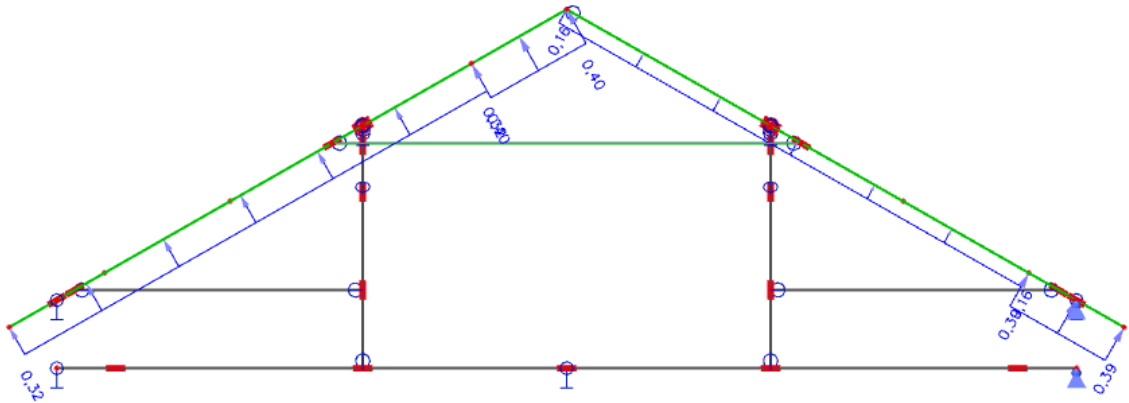
**9. Zatěžovací stav - Vítr- příčný, sání/nic**



**10. Zatěžovací stav - Vítr - příčný, tlak/tlak**

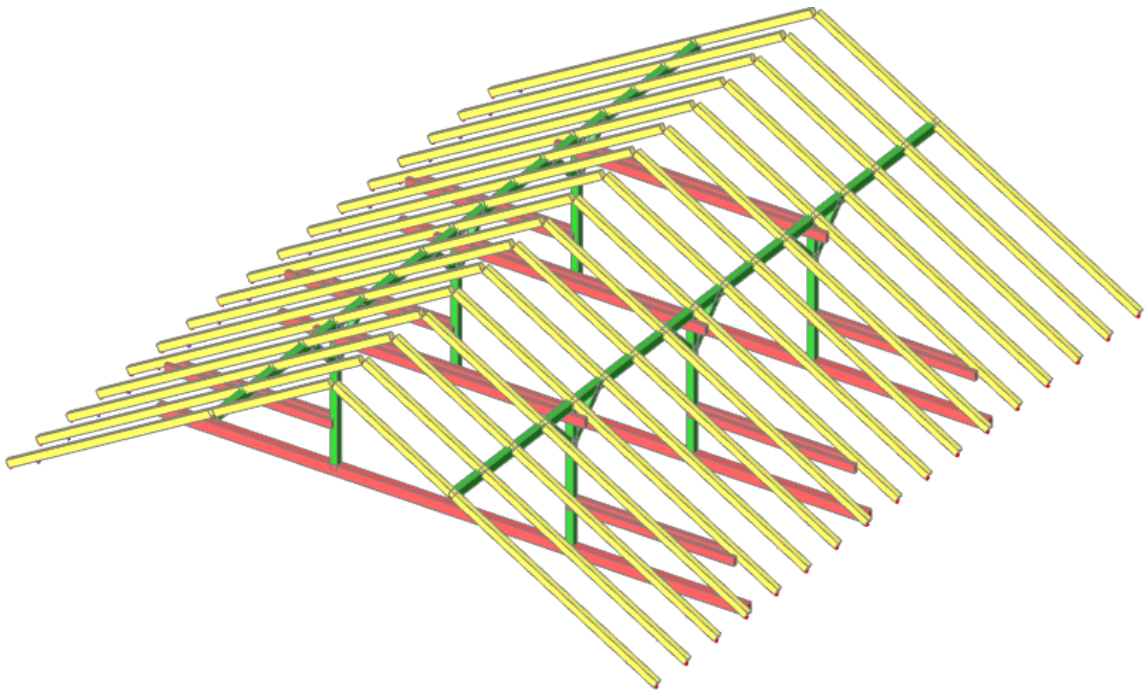


## 11. Zatěžovací stav - Vítr - příčný, sání/sání



## 6. 3D model

### Vizualizace 3D modelu:



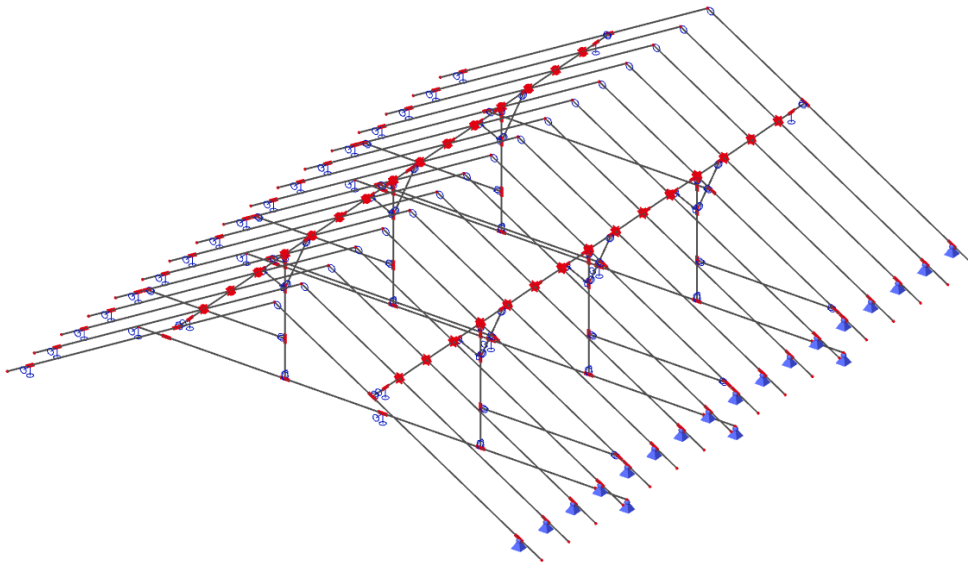
Obr. 14 Vizualizace modelu krovu

## 6.1. Vazby

V této podkapitole se zabývám čtyřmi modely klasického krovu vaznicové soustavy. Jednotlivé modely se liší s ohledem na zvoleném druhu podpor.

### První výpočetní model

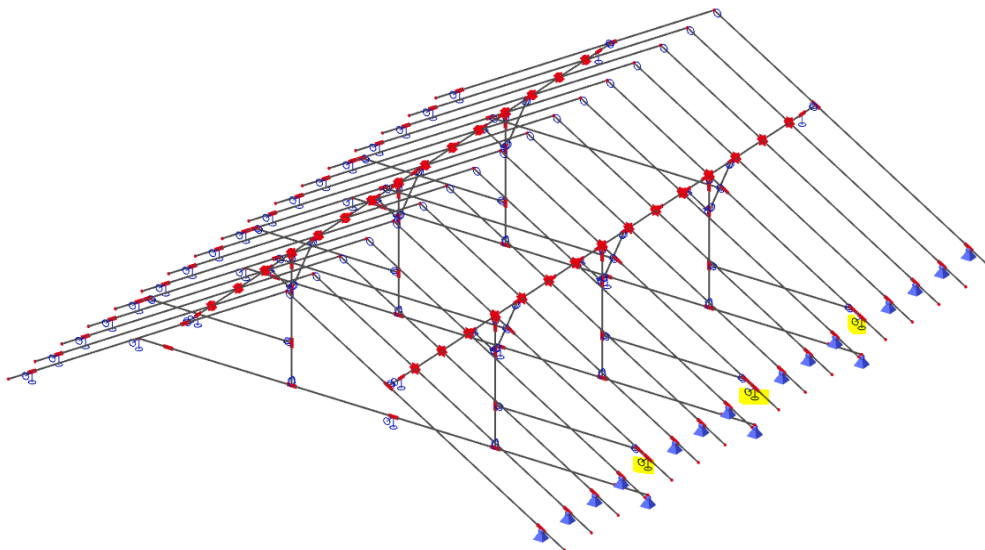
V první výpočtovém modelu uvažuji posuvný kloub ve směru X v místě pozednice v závětrné straně. Na straně návětrné potom kloub neposuvný v plné i jalové vazbě. Vazný trám je řešen jako prostý nosník, tj. kloub posuvný na jedné straně a kloub pevný na straně druhé, uprostřed rozpětí podepřený.



Obr. 15 První výpočetní model

### Druhý výpočetní model

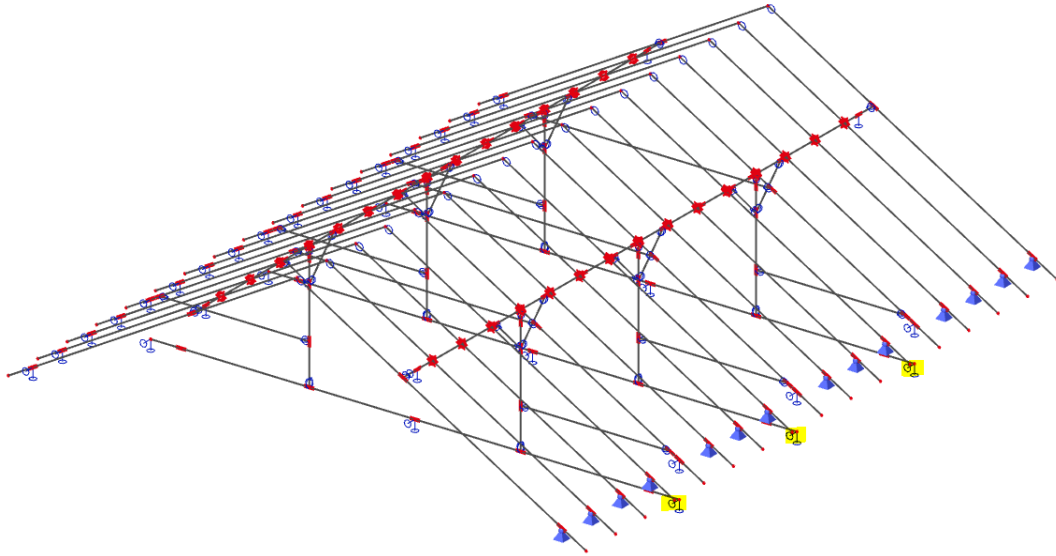
Druhý výpočetní model se od prvního liší změnou pevného kloubu v místě plné vazby na kloub posuvný ve směru X. Vazný trám je opět řešený jako prostý nosník, uprostřed rozpětí podepřený.



Obr. 16 Druhý výpočetní model

### **Třetí výpočetní model**

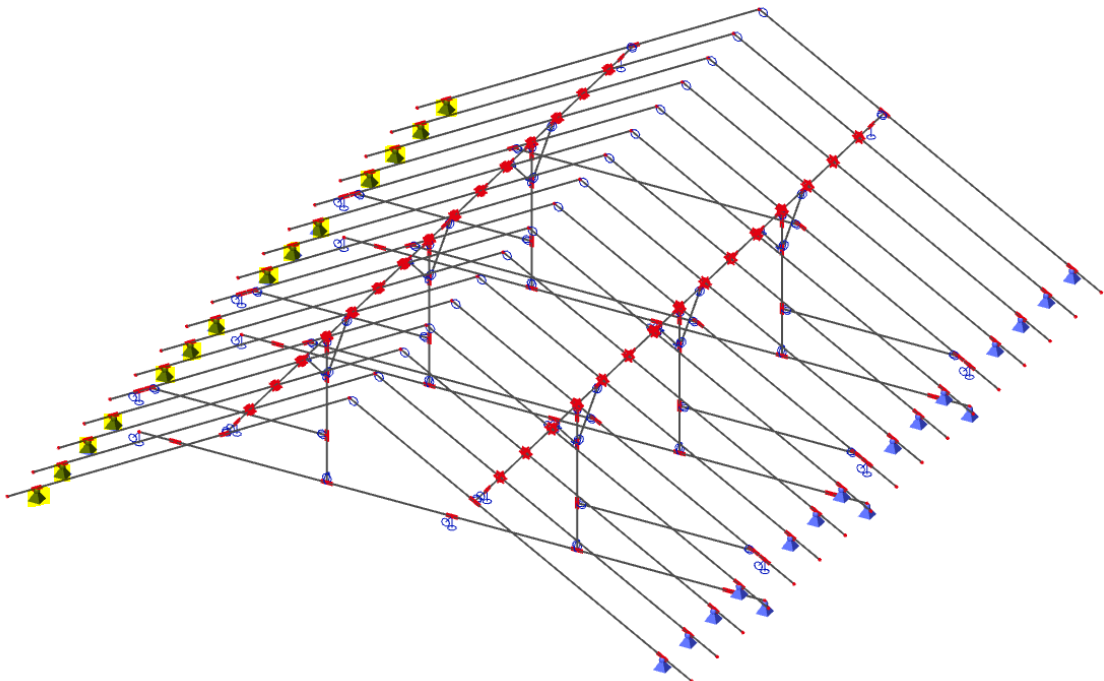
Třetí výpočetní model má podpory řešené stejně jako druhý výpočetní model, tj. na návětrné straně v místech jalových vazeb klouby neposuvné. V místech plných vazeb klouby posuvné ve směru X. Vazný trám zde není řešený jako prostý nosník. Obě podpory jsou klouby posuvné ve směru X.



*Obr. 17 Třetí výpočetní model*

### **Čtvrtý výpočetní model**

Čtvrtý výpočetní model má vazby na návětrné obdobné jako model třetí. Rozdíl mezi těmito modely spočívá ve změně podpor na straně závětrné. V plné vazbě zůstává podpora posuvná, ale v jalových vazbách jsou použity klouby neposuvné.



*Obr. 18 Čtvrtý výpočetní model*

## Vyhodnocení modelů

V následující tabulce jsou znázorněny vnitřní síly reprezentující jednotlivé prvky v různých modelech a maximální vodorovná síla působící v místech pozednice v plné a jalové vazbě.

		3D			
		1	2	3	4
Krokev - j. vazba	My [kNm]	-3,22	-3,21	-3,17	-2,88
		4,34	4,43	4,69	4,54
Krokev - p. vazba	My [kNm]	-4,14	-4,11	-4,08	-4,16
		4,8	4,62	4,76	3,55
Sloupek	N [kN]	-34,12	-34,1	-36,53	-16,6
Vazný trám	My [kNm]	-38,9	-39	-43,23	-18,64
		33,03	33,03	34,11	18,83
Dolní kleština	N [kN]	27,87	27,44	18,47	6,68
Vaznice	My [kNm]	-3,81	-3,79	-3,75	-2,45
		9,08	9,09	9,42	6,65
Horní kleština	N [kN]	10,43	10,12	11,56	7,07
		-9,26	-8,9	-5,64	-32,55
Pásek	N [kN]	-29,34	-29,31	-29,39	-10,49
max vodorovná reakce Rx [kN]		8,28	8,22	12,29	23,16

Tab. 7 Srovnání čtyř výpočetních modelů

První výpočetní model ve srovnání s druhým vykazuje na většině prutech větší vnitřní síly a větší hodnotu maximální vodorovné reakce v místě pozednice.

Ve třetím výpočetním modelu jsou vnitřní síly podobné druhému a prvnímu výpočetnímu modelu. Vodorovná reakce je tu oproti předchozím variantám o třetinu větší.

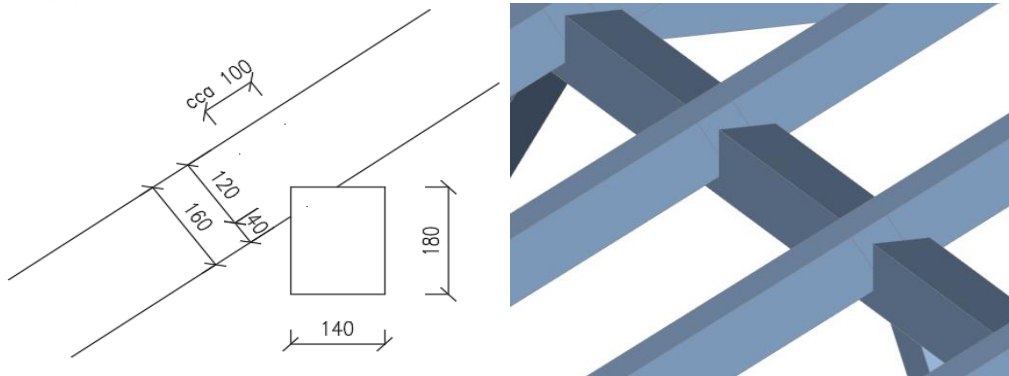
Čtvrtý výpočetní model vykazuje nejméně věrohodné výsledky. Vnitřní síly jsou tu řádově jiné. Vodorovná reakce je až trojnásobná oproti prvnímu a druhému modelu.

S ohledem na tyto skutečnosti se jeví první model jako nejvhodnější a nejmístičnější pro vaznicovou soustavu. Tento model bude dále porovnán s 2D modelem.

## 6.2. Připojení jednotlivých prutů

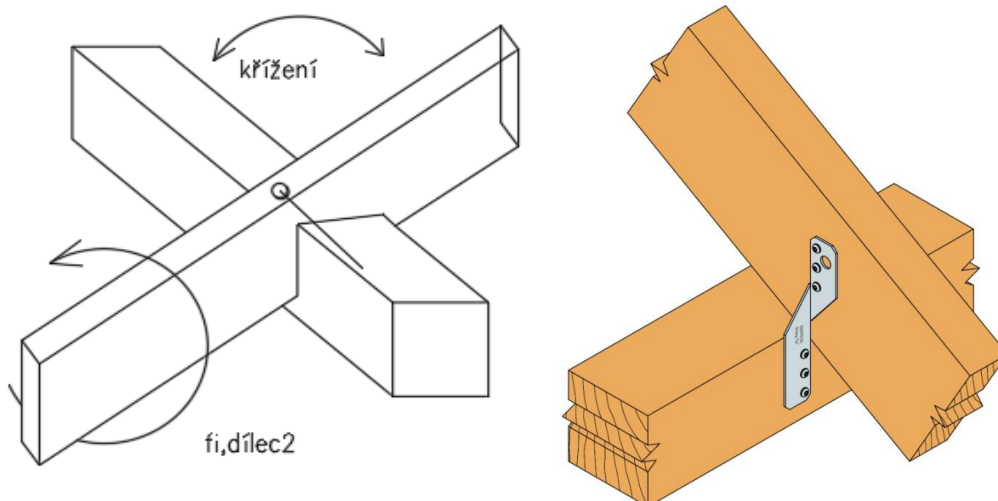
### Připojení krokve a vaznice – osedlání

- V místě osedlání je uvažováno zmenšení průřezu krokve po výšce o 40 mm v délce 100 mm.
- Proměnný průřez je zarovnaný při *horním povrchu*.
- Systémová osa krokvi je nastavená jako *spodní*



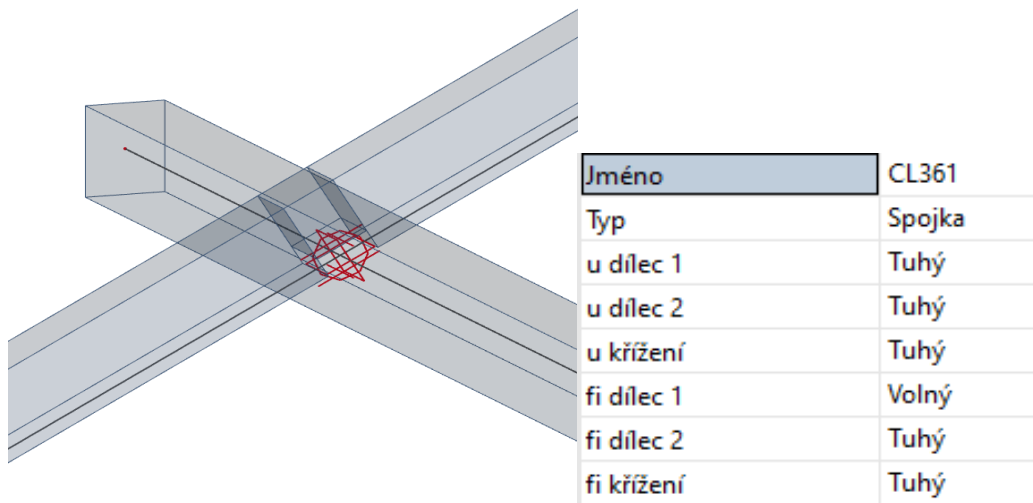
Obr. 19 Detail osedlání krokve

Spoj je řešený jako tuhá „spojka“, kloubová pouze ve směru příčné vazby. Žádné posunutí zde neuvažují. Otočení ve směru křížení uvažují jako tuhé. Ve skutečnosti tomuto otáčení bude zabráňovat laťování. Otáčení krokve (fi,dílec 2) kolem své osy uvažují opět tuhé. Kromě připojení těchto dvou prvků osedláním, jsou také spojeny hřebem nebo jiným kováním viz. obr., které tomuto otáčení bude zabráňovat.



Obr. 20 Detail osedlání krokve

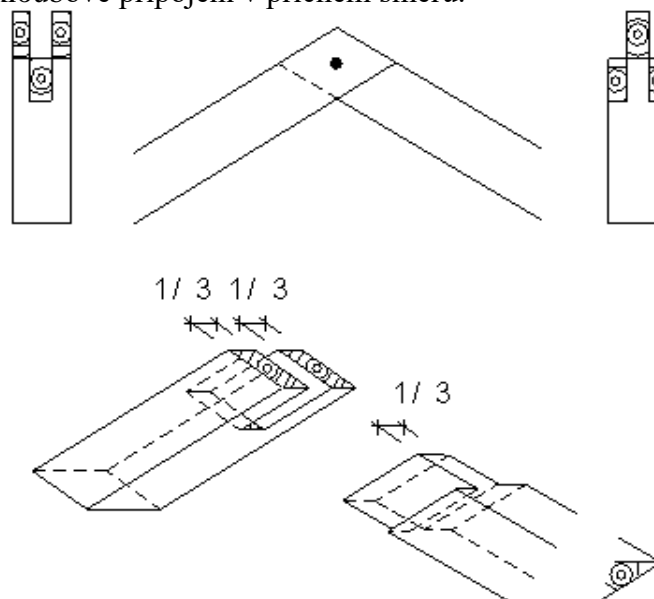
Výpočtový model:



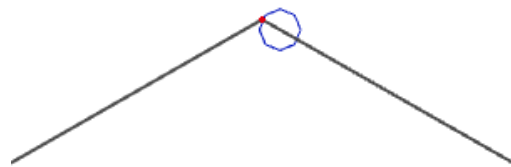
Obr. 21 Výpočetní model oszlání krokve

### Připojení krokví ve vrcholu

Spojení krokví ve vrcholu uvažují na ostřih, utažené pomocí závitové tyče. Ve výpočtovém modelu je použito kloubové připojení v příčném směru.



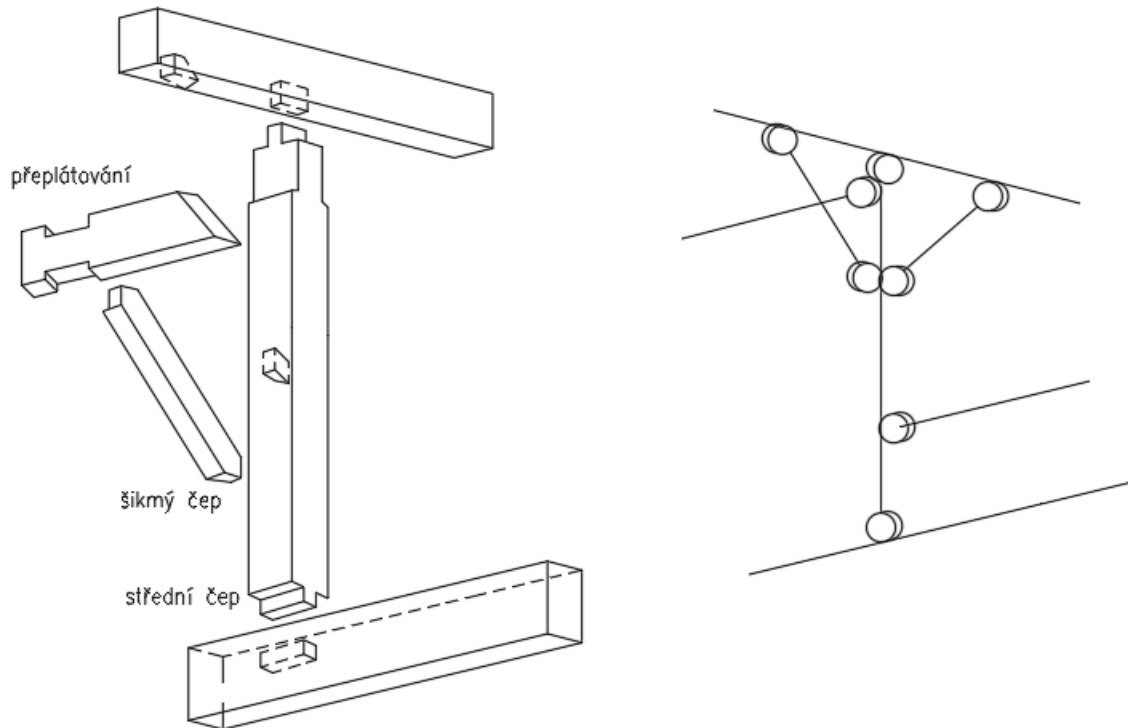
Obr. 22 Detail připojení krokví ve vrcholu (1)



Obr. 23 Výpočetní model připojení krokví ve vrcholu

Připojení sloupu, vazného trámu, pásku a kleštiny

Uvažuji, že tesařské spoje zamezují pootočení prvku pouze ve své vlastní ose. Ve zbylých dvou osách počítám s kloubovým připojením.



*Obr. 24 Připojení sloupu, vazného trámu, pásku a kleštiny*



### 6.3. Analýza vnitřních sil – 3D model

V následujících tabulkách bude provedeno posouzení jednotlivých prvků vaznicové soustavy dle ČSN EN 1995. Posouzení je vždy provedeno v kritickém, tedy nejvíce namáhaném místě.

#### Krokev – jalová vazba:

Krokev - oslabená		
průřez	120x120	mm
materiál	C24	

Klíč kombinace
MSU / 1,35*ZS1 + 1,35*ZS2 + 1,50*ZS5 + 0,9*ZS10

Základní data	
Dílčí součinitel spolehlivosti $\gamma_M$ pro rostlé dřevo	1,3

Údaje o materiálu		
Ohyb ( $f_{m,k}$ )	24,0	MPa
Tah ( $f_{t,0,k}$ )	14,5	MPa
Tah ( $f_{t,90,k}$ )	0,4	MPa
Tlak ( $f_{c,0,k}$ )	21,0	MPa
Tlak ( $f_{c,90,k}$ )	2,5	MPa
Smyk ( $f_{v,k}$ )	4,0	MPa
Typ dřeva	celistvý	

Kritický posudek je v místě 5,200 m.

Vnitřní síly		
$N_{ed}$	-5,91	kN
$V_{y,Ed}$	0,62	kN
$V_{z,Ed}$	3,85	kN
$T_{ed}$	0,05	kNm
$M_{y,Ed}$	-3,18	kNm
$M_{z,Ed}$	-1,81	kNm

Součinitel modifikace	
Třída vlhkosti	1
Doba trvání zatížení	Krátkodobé
Součinitel modifikace $k_{mod}$	0,9

## POSUDEK ŘEZ

### Tlak kolmo na vlákna

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.5 a rovnice (6.3)

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} * f_{c,90,d}$$

kde  $\sigma_{c,90,d}$  je návrhové napětí v tlaku kolmo k vláknům v dotykové ploše  
 $f_{c,90,d}$  je návrhová pevnost v tlaku kolmo vláknům  
 $k_{c,90}$  je součinitel zohledňující uspořádání zatížení, možnost rozštěpení

$F_{c,90,d}$	8,5	kN
b	120	mm
$A_{ef}$	19200	mm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,90,d}$	0,4	MPa
h	120	mm
$k_{c,90}$	1,5	-
$f_{c,90,d}$	1,7	MPa
Jedn. Posudek	<b>0,17</b>	-

### Ohyb

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,y,d}$  a  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám  
 $f_{m,y,d}$  a  $f_{m,z,d}$  jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu

$\sigma_{m,y,d}$	11,1	MPa
$k_{h,y}$	1,05	
$f_{m,y,d}$	17,4	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	6,3	MPa
$k_{h,z}$	1,05	
$f_{m,z,d}$	17,4	MPa
$k_m$	0,7	

Jednotkový posudek (6.11)= 0,64 + 0,25= **0,89**

Jednotkový posudek (6.12)= 0,45 + 0,36= **0,81**

### Smyk

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.7 a rovnice (6.13)

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

kde  $\tau_d$  je návrhové napětí ve smyku  
 $f_{v,d}$  je návrhová pevnost ve smyku pro příslušný případ

$k_{cr}$	0,67	
$\tau_{y,d}$	0,10	MPa
$\tau_{z,d}$	0,60	MPa
$f_{v,d}$	2,80	MPa
Jedn. Posudek $\tau_y$	<b>0,04</b>	-
Jedn. Posudek $\tau_z$	<b>0,22</b>	-
Jedn. Posudek interace	<b>0,05</b>	-

### Kroucení

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.8 a rovnice (6.14)

$$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} * f_{v,d}$$

kde  $\tau_{tor,d}$  je návrhové napětí ve smyku od kroucení  
 $f_{v,d}$  je návrhová pevnost ve smyku pro příslušný případ  
 $k_{shape}$  je součinitel závislý na tvaru průřezu

$\tau_{tor,d}$	0,2	MPa
$K_{tvar}$	1,05	
$f_{v,d}$	2,8	MPa
Jedn. Posudek	<b>0,05</b>	-
Jedn. Posudek interace	<b>0,1</b>	-

### Kombinovaný ohyb a osový tlak

Podle EN 1995-1-1 článku 6.2.4 a rovnice (6.19), (6.20)

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$f_{c,0,d}$	14,5	MPa
$f_{m,y,d}$	17,4	MPa
$f_{m,z,d}$	17,4	MPa
$k_m$	0,7	

Jednotkový posudek (6.19)=  $0,00 + 0,64 + 0,25 =$  **0,89**

Jednotkový posudek (6.20)=  $0,00 + 0,45 + 0,36 =$  **0,81**

## POSUDEK STABILITY

### Zatížení tlakem nebo kombinací tlaku a ohybu

Podle EN 1995-1-1 článku 6.3,2 a rovnice (6.23), (6.24)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

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

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

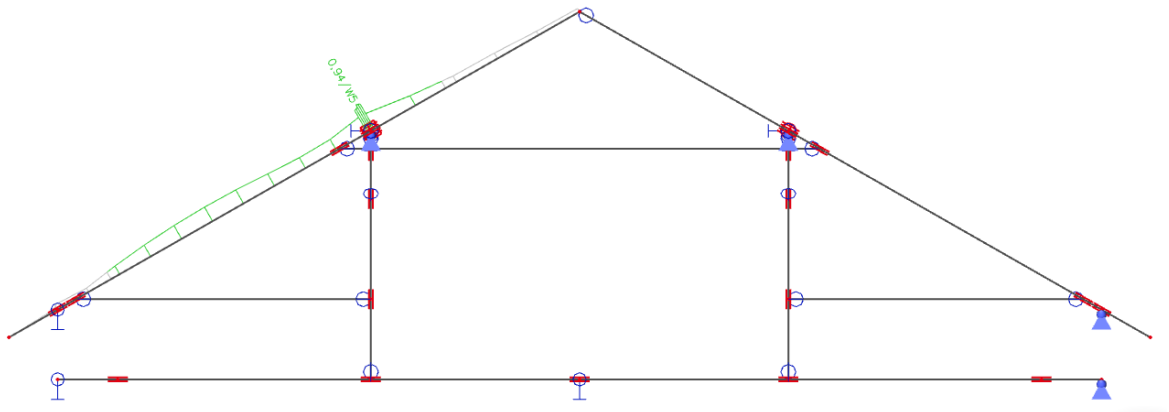
Parametry vzpěru	yy	zz	
Typ posuvných styčníků	neposuvné	neposuvné	
Systémová délka L	3,000	3,000	m
Součinitel vzpěru k	0,8	0,84	
Vzpěrná délka Lcr	2,393	2,527	m
Štíhlost $\lambda$	69,07	72,94	-
Poměrná štíhlost	1,17	1,24	-
Mezní štíhlost	0,3	0,3	-
Imperfekce $\beta_c$	0,2	0,2	-
redukční součinitel kc	0,56	0,52	-

Jednotkový posudek (6.23)=  $0,05 + 0,64 + 0,25 =$  **0,94**

Jednotkový posudek (6.24)=  $0,05 + 0,45 + 0,36 =$  **0,86**

Prvek je dimenzovaný na 94%.

Dle očekávání je prvek „krokv“ v jalové vazbě nejvíc namáhaný na kombinaci zatížení tlakem nebo kombinací tlaku a ohybu v místě podepření vaznicí. V tomto místě je prvek oslabený osedláním a je zde největší záporný moment.



## Krokev – plná vazba

Krokev - oslabená		
průřez	120x120	mm
materiál	C24	

Klíč kombinace
MSU / 1,35*ZS1 + 1,35*ZS2 + 1,50*ZS5 + 0,9*ZS6

Základní data	
Dílčí součinitel spolehlivosti $\gamma_M$ pro rostlé dřevo	1,3

Údaje o materiálu		
Ohyb ( $f_{m,k}$ )	24,0	MPa
Tah ( $f_{t,0,k}$ )	14,5	MPa
Tah ( $f_{t,90,k}$ )	0,4	MPa
Tlak ( $f_{c,0,k}$ )	21,0	MPa
Tlak ( $f_{c,90,k}$ )	2,5	MPa
Smyk ( $f_{v,k}$ )	4,0	MPa
Typ dřeva	celistvý	

Kritický posudek je v místě 5,200 m.

Vnitřní síly		
	-	
$N_{ed}$	28,27	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	-4,47	kN
$T_{ed}$	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	-3,95	kNm
$M_{z,Ed}$	-0,01	kNm

Součinitel modifikace	
Třída vlhkosti	1
Doba trvání zatížení	Krátkodobé
Součinitel modifikace $k_{mod}$	0,9

## POSUDEK ŘEZ

### Tlak rovnoběžně s vlákny

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.4 a rovnice (6.2)

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

kde  $\sigma_{c,0,d}$  je návrhové napětí v tlaku podél vláken  
 $f_{c,0,d}$  je návrhová pevnost v tlaku podél vláken

$\sigma_{c,0,d}$	2	MPa
$f_{c,0,d}$	14,5	MPa
Jedn. posudek	<b>0,14</b>	-

### Ohyb

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,y,d}$  a  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám  
 $f_{m,y,d}$  a  $f_{m,z,d}$  jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu

$\sigma_{m,y,d}$	13,7	MPa
$k_{h,y}$	1,05	
$f_{m,y,d}$	17,4	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0	MPa
$k_{h,z}$	1,05	
$f_{m,z,d}$	17,4	MPa
$k_m$	0,7	

Jednotkový posudek (6.11)= 0,79 + 0,00= **0,79**

Jednotkový posudek (6.12)= 0,55 + 0,00= **0,55**

### Smyk

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.7 a rovnice (6.13)

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

kde  $\tau_d$  je návrhové napětí ve smyku  
 $f_{v,d}$  je návrhová pevnost ve smyku pro příslušný případ

$k_{cr}$	0,67	
$\tau_{y,d}$	0,00	MPa
$\tau_{z,d}$	0,70	MPa
$f_{v,d}$	2,80	MPa
Jedn. Posudek $\tau_y$	<b>0,00</b>	-
Jedn. Posudek $\tau_z$	<b>0,25</b>	-
Jedn. Posudek interace	<b>0,06</b>	-

### Kroucení

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.8 a rovnice (6.14)

$$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} * f_{v,d}$$

kde  $\tau_{tor,d}$  je návrhové napětí ve smyku od kroucení  
 $f_{v,d}$  je návrhová pevnost ve smyku pro příslušný případ  
 $k_{shape}$  je součinitel závislý na tvaru průřezu

$\tau_{tor,d}$	0	MPa
$K_{tvar}$	1,05	
$f_{v,d}$	2,8	MPa
Jedn. Posudek	<b>0</b>	-
Jedn. Posudek interace	<b>0,06</b>	-

### Kombinovaný ohyb a osový tlak

Podle EN 1995-1-1 článku 6.2.4 a rovnice (6.19), (6.20)

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$



$f_{c,0,d}$	14,5	MPa
$f_{m,y,d}$	17,4	MPa
$f_{m,z,d}$	17,4	MPa
$k_m$	0,7	

$$\text{Jednotkový posudek (6.19)} = 0,02 + 0,79 + 0,00 = \mathbf{0,81}$$

$$\text{Jednotkový posudek (6.20)} = 0,02 + 0,55 + 0,00 = \mathbf{0,57}$$

## POSUDEK STABILITY

### Zatížení tlakem nebo kombinací tlaku a ohybu

Podle EN 1995-1-1 článku 6.3,2 a rovnice (6.23), (6.24)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

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

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

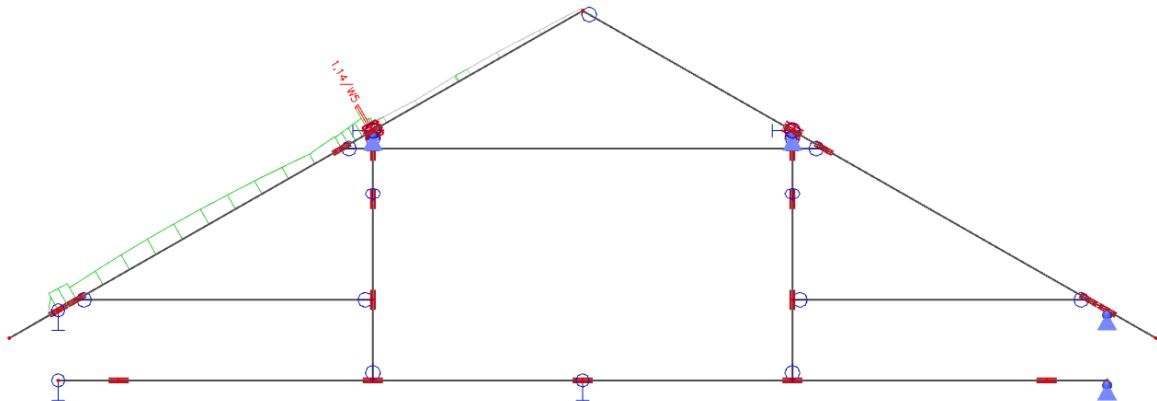
Parametry vzpěru	yy	zz	
Typ posuvných styčníků	neposuvné	neposuvné	
Systémová délka L	4,239	4,500	m
Součinitel vzpěru k	0,71	0,8	
Vzpěrná délka Lcr	3,018	3,606	m
Štíhlost $\lambda$	87,12	104,09	-
Poměrná štíhlost $\lambda$	1,48	1,77	-
Mezní štíhlost	0,3	0,3	-
Imperfekce $\beta_c$	0,2	0,2	-
redukční součinitel kc	0,39	0,28	-

$$\text{Jednotkový posudek (6.23)} = 0,35 + 0,79 + 0,00 = \mathbf{1,14}$$

$$\text{Jednotkový posudek (6.24)} = 0,48 + 0,55 + 0,00 = \mathbf{1,03}$$

Prvek je dimenzovaný na 114%.

Dle očekávání je prvek „krokv“ v plné vazbě nejvíc namáhaný na kombinaci zatížení tlakem nebo kombinací tlaku a ohybu v místě podepření vaznicí. V tomto místě je prvek oslabený osedláním a je zde největší záporný moment.



## Vaznice

průřez	140x180	mm
materiál	C24	

Klíč kombinace	
MSU / 1,35*ZS1 + 1,35*ZS2 + 1,50*ZS5 + 0,9*ZS10	

Základní data	
Dílčí součinitel spolehlivosti $\gamma_M$ pro rostlé dřevo	1,3

Údaje o materiálu		
Ohyb ( $f_{m,k}$ )	24,0	MPa
Tah ( $f_{t,0,k}$ )	14,5	MPa
Tah ( $f_{t,90,k}$ )	0,4	MPa
Tlak ( $f_{c,0,k}$ )	21,0	MPa
Tlak ( $f_{c,90,k}$ )	2,5	MPa
Smyk ( $f_{v,k}$ )	4,0	MPa
Typ dřeva	celistvý	

Kritický posudek je v místě 14,000 m.

Vnitřní síly		
$N_{ed}$	-0,11	kN
$V_{y,Ed}$	-3,93	kN
$V_{z,Ed}$	-5,36	kN
$T_{ed}$	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	9,11	kNm
$M_{z,Ed}$	2,66	kNm

Součinitel modifikace	
Třída vlhkosti	1
Doba trvání zatížení	Krátkodobé
Součinitel modifikace $k_{mod}$	0,9

## POSUDEK ŘEZ

### Tlak kolmo na vlákna

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.5 a rovnice (6.3)

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} * f_{c,90,d}$$

kde  $\sigma_{c,90,d}$  je návrhové napětí v tlaku kolmo k vláknům v dotykové ploše  
 $f_{c,90,d}$  je návrhová pevnost v tlaku kolmo vláknům  
 $k_{c,90}$  je součinitel zohledňující uspořádání zatížení, možnost rozštěpení

$F_{c,90,d}$	10,05	kN
b	140	mm
$A_{ef}$	22400	mm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,90,d}$	0,4	MPa
h	180	mm
$k_{c,90}$	1,5	-
$f_{c,90,d}$	1,7	MPa
Jedn. Posudek	<b>0,17</b>	-

### Ohyb

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,y,d}$  a  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám  
 $f_{m,y,d}$  a  $f_{m,z,d}$  jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu

$\sigma_{m,y,d}$	12	MPa
$k_{h,y}$	1	
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	4,5	MPa
$k_{h,z}$	1,01	
$f_{m,z,d}$	16,8	MPa
$k_m$	0,7	

Jednotkový posudek (6.11)= 0,73 + 0,19= **0,91**  
 Jednotkový posudek (6.12)= 0,51 + 0,27= **0,78**

### Smyk

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.7 a rovnice (6.13)

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

kde  $\tau_d$  je návrhové napětí ve smyku

$f_{v,d}$  je návrhová pevnost ve smyku pro příslušný případ

$k_{cr}$	0,67	
$\tau_{y,d}$	0,30	MPa
$\tau_{z,d}$	0,50	MPa
$f_{v,d}$	2,80	MPa
Jedn. Posudek $\tau_y$	<b>0,13</b>	-
Jedn. Posudek $\tau_z$	<b>0,17</b>	-
Jedn. Posudek interace	<b>0,05</b>	-

### Kombinovaný ohyb a osový tlak

Podle EN 1995-1-1 článku 6.2.4 a rovnice (6.19), (6.20)

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{t,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{t,0,d}}\right)^2 + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

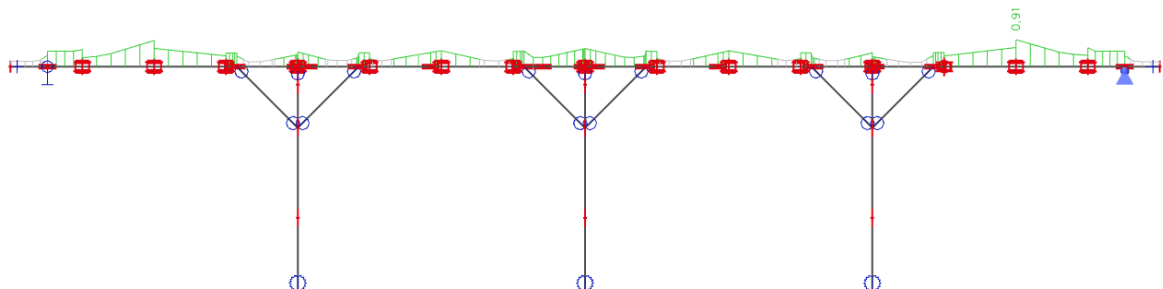
$f_{c,0,d}$	14,5	MPa
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa
$f_{m,z,d}$	16,8	MPa
$k_m$	0,7	

Jednotkový posudek (6.19)= 0,00 + 0,73 + 0,19= **0,91**

Jednotkový posudek (6.20)= 0,00 + 0,51 + 0,27= **0,78**

Prvek je dimenzovaný na 91%.

Vaznice je nejvíce namáhaná na kombinaci ohybu a osového tlaku v poli rozpětí. Zde je největší ohybový moment  $M_y$ .



## Horní kleština

průřez	100x200	mm
materiál	C24	

Klíč kombinace
MSU / 1,35*ZS1 + 1,35*ZS2 + 0,75*ZS5 + 1,5*ZS10

Základní data	
Dílčí součinitel spolehlivosti $\gamma_M$ pro rostlé dřevo	1,3

Údaje o materiálu		
Ohyb ( $f_{m,k}$ )	24,0	MPa
Tah ( $f_{t,0,k}$ )	14,5	MPa
Tah ( $f_{t,90,k}$ )	0,4	MPa
Tlak ( $f_{c,0,k}$ )	21,0	MPa
Tlak ( $f_{c,90,k}$ )	2,5	MPa
Smyk ( $f_{v,k}$ )	4,0	MPa
Typ dřeva	celistvý	

Kritický posudek je v místě 2,997 m.

Vnitřní síly		
	-	
$N_{ed}$	10,43	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	0,00	kN
$T_{ed}$	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	0,00	kNm
$M_{z,Ed}$	1,00	kNm

Součinitel modifikace	
Třída vlhkosti	1
Doba trvání zatížení	Krátkodobé
Součinitel modifikace $k_{mod}$	0,9

## POSUDEK ŘEZ

### Tlak rovnoběžně s vlákny

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.4 a rovnice (6.2)

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

kde  $\sigma_{c,0,d}$  je návrhové napětí v tlaku podél vláken  
 $f_{c,0,d}$  je návrhová pevnost v tlaku podél vláken

$\sigma_{c,0,d}$	0,3	MPa
$f_{c,0,d}$	14,5	MPa
Jedn. posudek	<b>0,02</b>	-

### Ohyb

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,y,d}$  a  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám  
 $f_{m,y,d}$  a  $f_{m,z,d}$  jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu

$\sigma_{m,z,d}$	0,7	MPa
$k_{h,z}$	1	
$f_{m,z,d}$	16,6	MPa
$k_m$	1	

Jednotkový posudek (6.11)= 0,00 + 0,05= **0,05**

Jednotkový posudek (6.12)= 0,00 + 0,05= **0,05**

### Zatížení tlakem nebo kombinací tlaku a ohybu

Podle EN 1995-1-1 článku 6.3,2 a rovnice (6.23), (6.24)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

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

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

Parametry vzpěru	yy	zz	
Typ posuvných styčníků	neposuvné	neposuvné	
Systémová délka L	5,994	5,994	m
Součinitel vzpěru k	1	1	
Vzpěrná délka Lcr	5,994	5,994	m
Štíhlost $\lambda$	52,7	103,81	-
Poměrná štíhlost	0,89	1,76	-
Mezní štíhlost	0,3	0,3	-
Imperfekce $\beta_c$	0,2	0,2	-
redukční součinitel kc	0,77	0,29	-

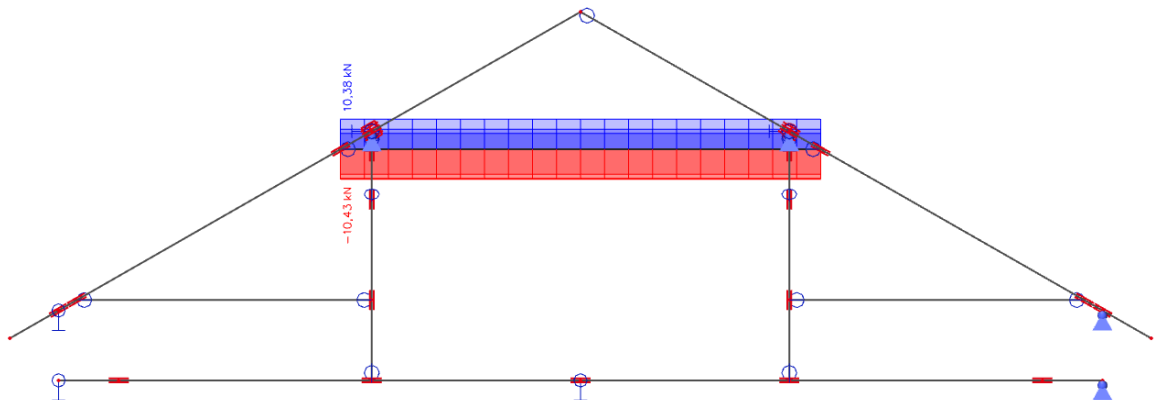
Jednotkový posudek (6.23)= 0,02 + 0,00 + 0,05= **0,07**

Jednotkový posudek (6.24)= 0,06 + 0,00 + 0,05= **0,11**

Prvek je dimenzovaný na 11%.

Kombinačním klíčem, tedy kombinace kdy je prvek nejvíce namáhaný, je zatěžovací stav ZS5 (100%/100% sníh) a ZS10 (vítr tlak/tlak). Pro posouzení prvku je rozhodující posouzení vzpěrného tlaku než prostého tahu.

Maximální tahové napětí v jiné kombinaci je 10,38 kN





## Sloupky:

průřez	150x150	mm
materiál	C24	

Klíč kombinace
MSU / 1,35*ZS1 + 1,35*ZS2 + 1,50*ZS3 + 0,9*ZS6

Základní data	
Dílčí součinitel spolehlivosti $\gamma_M$ pro rostlé dřevo	1,3

Údaje o materiálu		
Ohyb ( $f_{m,k}$ )	24,0	MPa
Tah ( $f_{t,0,k}$ )	14,5	MPa
Tah ( $f_{t,90,k}$ )	0,4	MPa
Tlak ( $f_{c,0,k}$ )	21,0	MPa
Tlak ( $f_{c,90,k}$ )	2,5	MPa
Smyk ( $f_{v,k}$ )	4,0	MPa
Typ dřeva	celistvý	

Kritický posudek je v místě 1,000 m.

Vnitřní síly		
$N_{ed}$	-32,62	kN
$V_{y,Ed}$	0,01	kN
$V_{z,Ed}$	-3,99	kN
$T_{ed}$	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	-3,99	kNm
$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

Součinitel modifikace	
Třída vlhkosti	1
Doba trvání zatížení	Krátkodobé
Součinitel modifikace $k_{mod}$	0,9

## POSUDEK ŘEZ

### Tlak rovnoběžně s vlákny

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.4 a rovnice (6.2)

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

kde  $\sigma_{c,0,d}$  je návrhové napětí v tlaku podél vláken  
 $f_{c,0,d}$  je návrhová pevnost v tlaku podél vláken

$\sigma_{c,0,d}$	1,4	MPa
$f_{c,0,d}$	14,5	MPa
Jedn. posudek	<b>0,1</b>	-

### Tlak kolmo na vlákna

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.5 a rovnice (6.3)

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} * f_{c,90,d}$$

kde  $\sigma_{c,90,d}$  je návrhové napětí v tlaku kolmo k vláknům v dotykové ploše  
 $f_{c,90,d}$  je návrhová pevnost v tlaku kolmo vláknům  
 $k_{c,90}$  je součinitel zohledňující uspořádání zatížení, možnost rozštěpení

$F_{c,90,d}$	5,9	kN
b	150	mm
$A_{ef}$	24000	mm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,90,d}$	1	MPa
h	150	mm
$k_{c,90}$	1,5	-
$f_{c,90,d}$	1,7	MPa
Jedn. Posudek	<b>0,09</b>	-

### Ohyb

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,y,d}$  a  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám  
 $f_{m,y,d}$  a  $f_{m,z,d}$  jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu

$\sigma_{m,y,d}$	7,1	MPa
$k_{h,y}$	1	
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0	MPa
$k_{h,z}$	1	
$f_{m,z,d}$	16,6	MPa
$k_m$	0,7	

Jednotkový posudek (6.11)=  $0,43 + 0,00 =$  **0,43**  
 Jednotkový posudek (6.12)=  $0,3 + 0,00 =$  **0,3**

### Smyk

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.7 a rovnice (6.13)

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

kde  $\tau_d$  je návrhové napětí ve smyku  
 $f_{v,d}$  je návrhová pevnost ve smyku pro příslušný případ

$k_{cr}$	0,67	
$\tau_{y,d}$	0,00	MPa
$\tau_{z,d}$	0,40	MPa
$f_{v,d}$	2,80	MPa
Jedn. Posudek $\tau_y$	<b>0,00</b>	-
Jedn. Posudek $\tau_z$	<b>0,14</b>	-
Jedn. Posudek interace	<b>0,02</b>	-

### Kroucení

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.8 a rovnice (6.14)

$$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} * f_{v,d}$$

kde  $\tau_{tor,d}$  je návrhové napětí ve smyku od kroucení  
 $f_{v,d}$  je návrhová pevnost ve smyku pro příslušný případ  
 $k_{shape}$  je součinitel závislý na tvaru průřezu

$\tau_{tor,d}$	0	MPa
$K_{tvar}$	1,05	
$f_{v,d}$	2,8	MPa
Jedn. Posudek	<b>0</b>	-
Jedn. Posudek interace	<b>0,02</b>	-

### Kombinovaný ohyb a osový tlak

Podle EN 1995-1-1 článku 6.2.4 a rovnice (6.19), (6.20)

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$f_{c,0,d}$	14,5	MPa
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa
$f_{m,z,d}$	16,6	MPa
$k_m$	0,7	

Jednotkový posudek (6.19)= 0,01 + 0,43 + 0,00= **0,44**

Jednotkový posudek (6.20)= 0,01 + 0,3 + 0,00= **0,31**

## POSUDEK STABILITY

### Zatížení tlakem nebo kombinací tlaku a ohybu

Podle EN 1995-1-1 článku 6.3,2 a rovnice (6.23), (6.24)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

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

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

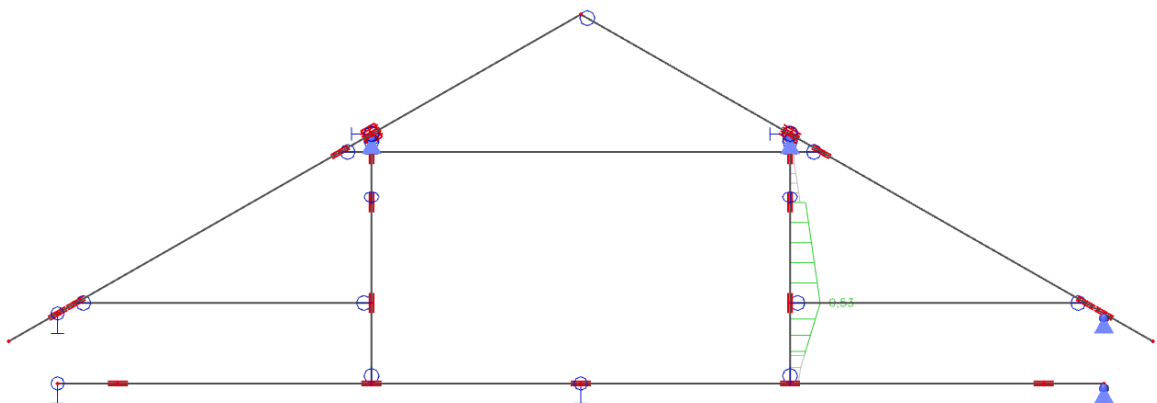
Parametry vzpěru	yy	zz	
Typ posuvných styčníků	neposuvné	neposuvné	
Systémová délka L	1,000	2,250	m
Součinitel vzpěru k	0,89	0,81	
Vzpěrná délka Lcr	0,89	1,832	m
Štíhlost $\lambda$	20,54	42,3	-
Poměrná štíhlost	0,35	0,72	-
Mezní štíhlost	0,3	0,3	-
Imperfekce $\beta_c$	0,2	0,2	-
redukční součinitel kc	0,99	0,87	-

Jednotkový posudek (6.23)= 0,1 + 0,43 + 0,00= **0,53**

Jednotkový posudek (6.24)= 0,1 + 0,3 + 0,00= **0,4**

Prvek je dimenzovaný na 53%.

Sloupek je nejvíce namáhaný na posudek stability, kombinaci tlaku a ohybu. Tento posudek nejvíce ovlivňují dolní kleštiny, které způsobují namáhání sloupku v ohybu.



## Dolní kleština:

průřez	90x180	mm
materiál	C24	

Klíč kombinace	
MSU / 1,35*ZS1 + 1,35*ZS2 + 1,5*ZS5 + 0,9*ZS10	

Základní data	
Dílčí součinitel spolehlivosti $\gamma_M$ pro rostlé dřevo	1,3

Údaje o materiálu		
Ohyb ( $f_{m,k}$ )	24,0	MPa
Tah ( $f_{t,0,k}$ )	14,5	MPa
Tah ( $f_{t,90,k}$ )	0,4	MPa
Tlak ( $f_{c,0,k}$ )	21,0	MPa
Tlak ( $f_{c,90,k}$ )	2,5	MPa
Smyk ( $f_{v,k}$ )	4,0	MPa
Typ dřeva	celistvý	

Kritický posudek je v místě 1,841 m.

Vnitřní síly		
$N_{ed}$	27,77	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	0,00	kN
$T_{ed}$	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	0,00	kNm
$M_{z,Ed}$	0,31	kNm

Součinitel modifikace	
Třída vlhkosti	1
Doba trvání zatížení	Krátkodobé
Součinitel modifikace $k_{mod}$	0,9

## POSUDEK ŘEZ

### Tah rovnoběžně s vlákny

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.2 a rovnice (6.1)

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

kde  $\sigma_{t,0,d}$  je návrhové napětí v tahu podél vláken  
 $f_{t,0,d}$  je návrhová pevnost v tahu podél vláken

$\sigma_{t,0,d}$	0,9	MPa
$f_{t,0,d}$	10	MPa
Jedn. posudek	<b>0,09</b>	-

### Ohyb

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,y,d}$  a  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám  
 $f_{m,y,d}$  a  $f_{m,z,d}$  jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu

$\sigma_{m,z,d}$	0,3	MPa
$k_{h,z}$	0	
$f_{m,z,d}$	16,6	MPa
$k_m$	1	

Jednotkový posudek (6.11)= 0,00 + 0,02= **0,02**

Jednotkový posudek (6.12)= 0,00 + 0,02= **0,02**

### Kombinovaný ohyb a osový tah

Podle EN 1995-1-1 článku 6.2.3 a rovnice (6.17), (6.18)

$$\left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}\right)^2 + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

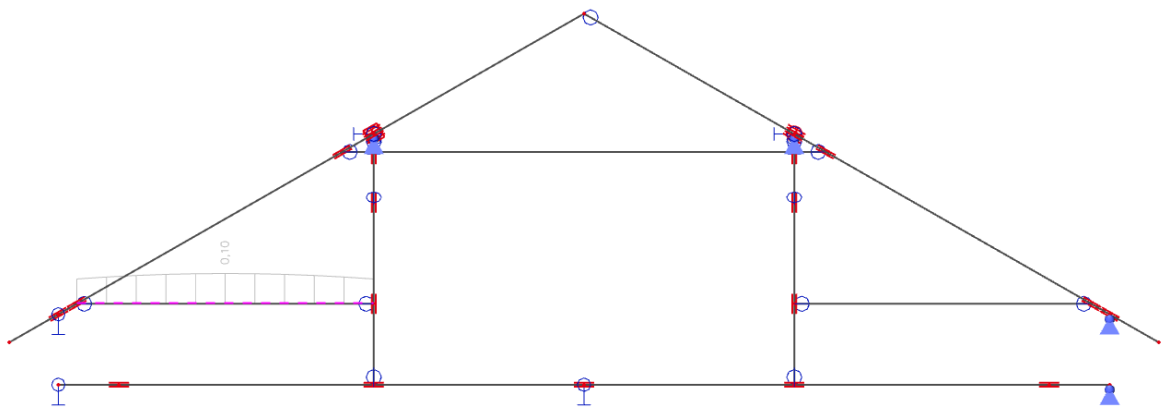
$f_{t,0,d}$	10	MPa
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa
$f_{m,z,d}$	16,6	MPa
$k_m$	1	

Jednotkový posudek (6.17)=  $0,09 + 0,00 + 0,02 =$  **0,11**

Jednotkový posudek (6.18)=  $0,09 + 0,00 + 0,02 =$  **0,11**

Prvek je dimenzovaný na 11%.

Dolní kleština je nejvíce namáhaná na posudek řezu, kombinaci tahu a ohybu.





## Pásek:

průřez	120x140	mm
materiál	C24	

Klíč kombinace	
MSU / 1,35*ZS1 + 1,35*ZS2 + 1,50*ZS4 + 0,9*ZS10	

Základní data	
Dílčí součinitel spolehlivosti $\gamma_M$ pro rostlé dřevo	1,3

Údaje o materiálu		
Ohyb ( $f_{m,k}$ )	24,0	MPa
Tah ( $f_{t,0,k}$ )	14,5	MPa
Tah ( $f_{t,90,k}$ )	0,4	MPa
Tlak ( $f_{c,0,k}$ )	21,0	MPa
Tlak ( $f_{c,90,k}$ )	2,5	MPa
Smyk ( $f_{v,k}$ )	4,0	MPa
Typ dřeva	celistvý	

Kritický posudek je v místě 0,000 m.

Vnitřní síly		
	-	
$N_{ed}$	17,91	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	0,04	kN
$T_{ed}$	-0,21	kNm
$M_{y,Ed}$	0,00	kNm
$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

Součinitel modifikace	
Třída vlhkosti	1
Doba trvání zatížení	Krátkodobé
Součinitel modifikace $k_{mod}$	0,9

## POSUDEK ŘEZ

### Tlak rovnoběžně s vlákny

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.4 a rovnice (6.2)

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

kde  $\sigma_{c,0,d}$  je návrhové napětí v tlaku podél vláken  
 $f_{c,0,d}$  je návrhová pevnost v tlaku podél vláken

$\sigma_{c,0,d}$	1,1	MPa
$f_{c,0,d}$	14,5	MPa
Jedn. posudek	<b>0,07</b>	-

## POSUDEK STABILITY

### Zatížení tlakem nebo kombinací tlaku a ohybu

Podle EN 1995-1-1 článku 6.3,2 a rovnice (6.23), (6.24)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

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

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

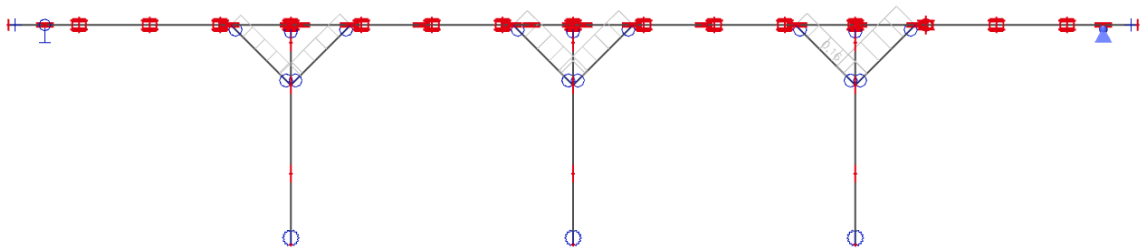
Parametry vzpěru	yy	zz	
Typ posuvných styčníků	neposuvné	neposuvné	
Systémová délka L	1,202	1,202	m
Součinitel vzpěru k	1	1	
Vzpěrná délka Lcr	1,202	1,202	m
Štíhlost $\lambda$	29,74	34,7	-
Poměrná štíhlost $\lambda$	0,5	0,59	-
Mezní štíhlost	0,3	0,3	-
Imperfekce $\beta_c$	0,2	0,2	-
redukční součinitel kc	0,95	0,92	-

$$\text{Jednotkový posudek (6.23)} = 0,08 + 0,00 + 0,00 = \mathbf{0,08}$$

$$\text{Jednotkový posudek (6.24)} = 0,08 + 0,00 + 0,00 = \mathbf{0,08}$$

Prvek je dimenzovaný na 8%.

Pásek je nejvíce namáhaný na posudek stability, kombinaci tlaku a ohybu.



### Vazný trám:

Vazný trám		
průřez	170x230	mm
materiál	C24	

Klíč kombinace
MSU / 1,35*ZS1 + 1,35*ZS2 + 1,5*ZS5 + 0,9*ZS10

Základní data	
Dílčí součinitel spolehlivosti $\gamma_M$ pro rostlé dřevo	1,3

Údaje o materiálu		
Ohyb ( $f_{m,k}$ )	24,0	MPa
Tah ( $f_{t,0,k}$ )	14,5	MPa
Tah ( $f_{t,90,k}$ )	0,4	MPa
Tlak ( $f_{c,0,k}$ )	21,0	MPa
Tlak ( $f_{c,90,k}$ )	2,5	MPa
Smyk ( $f_{v,k}$ )	4,0	MPa
Typ dřeva	celistvý	

Kritický posudek je v místě 6,515 m.

Vnitřní síly		
$N_{Ed}$	18,80	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	-24,10	kN
$T_{Ed}$	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	-38,63	kNm
$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

Součinitel modifikace	
Třída vlhkosti	1
Doba trvání zatížení	Krátkodobé
Součinitel modifikace $k_{mod}$	0,9

## POSUDEK ŘEZ

### Tah rovnoběžně s vlákny

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.2 a rovnice (6.1)

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

kde  $\sigma_{t,0,d}$  je návrhové napětí v tahu podél vláken  
 $f_{t,0,d}$  je návrhová pevnost v tahu podél vláken

$\sigma_{t,0,d}$	0,5	MPa
$f_{t,0,d}$	10	MPa
Jedn. posudek	<b>0,05</b>	-

### Tlak kolmo na vlákna

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.5 a rovnice (6.3)

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} * f_{c,90,d}$$

kde  $\sigma_{c,90,d}$  je návrhové napětí v tlaku kolmo k vláknům v dotykové ploše  
 $f_{c,90,d}$  je návrhová pevnost v tlaku kolmo vláknům  
 $k_{c,90}$  je součinitel zohledňující uspořádání zatížení, možnost rozštěpení

$F_{c,90,d}$	49,44	kN
b	170	mm
$A_{ef}$	27200	mm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,90,d}$	1,8	MPa
h	230	mm
$k_{c,90}$	1,5	-
$f_{c,90,d}$	1,7	MPa
Jedn. Posudek	<b>0,7</b>	-

### Ohyb

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,y,d}$  a  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám  
 $f_{m,y,d}$  a  $f_{m,z,d}$  jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu

$\sigma_{m,y,d}$	25,8	MPa
$k_{h,y}$	1	
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0	MPa
$k_{h,z}$	1	
$f_{m,z,d}$	16,6	MPa
$k_m$	0,7	

$$\begin{aligned} \text{Jednotkový posudek (6.11)} &= 1,55 + 0,00 = & \mathbf{1,55} \\ \text{Jednotkový posudek (6.12)} &= 1,09 + 0,00 = & \mathbf{1,09} \end{aligned}$$

### Smyk

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.7 a rovnice (6.13)

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

kde  $\tau_d$  je návrhové napětí ve smyku  
 $f_{v,d}$  je návrhová pevnost ve smyku pro příslušný případ

$k_{cr}$	0,67	
$\tau_{y,d}$	0,00	MPa
$\tau_{z,d}$	1,40	MPa
$f_{v,d}$	2,80	MPa
Jedn. Posudek $\tau_z$	<b>0,50</b>	-
Jedn. Posudek interace	<b>0,25</b>	-

### Kombinovaný ohyb a osový tah

Podle EN 1995-1-1 článku 6.2.3 a rovnice (6.17), (6.18)

$$\begin{aligned} \left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &\leq 1 \\ \left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}\right)^2 + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &\leq 1 \end{aligned}$$

$f_{t,0,d}$	10	MPa
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa
$f_{m,z,d}$	16,8	MPa
$k_m$	0,7	

$$\begin{aligned} \text{Jednotkový posudek (6.19)} &= 0,05 + 1,55 + 0,00 = & \mathbf{1,6} \\ \text{Jednotkový posudek (6.20)} &= 0,05 + 1,09 + 0,00 = & \mathbf{1,13} \end{aligned}$$

## POSUDEK STABILITY

### Zatížení ohybem nebo kombinací tlaku a ohybu

Podle EN 1995-1-1 článku 6.3.3 a rovnice (6.33), (6.35)

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,d}$  je návrhové napětí v ohybu

$\sigma_{c,d}$  je návrhové napětí v tlaku

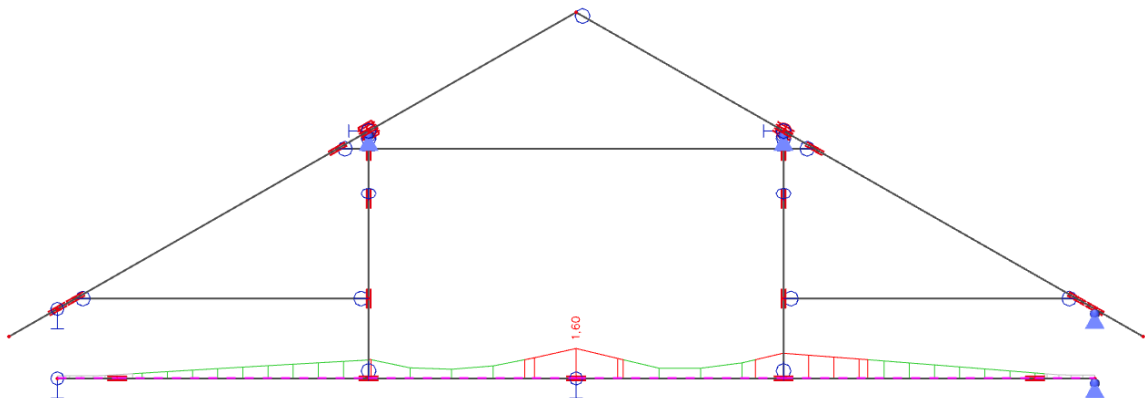
$f_{c,0,d}$  je návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny

Parametry klopení		
Pružný kritický moment $M_{y,krit}$	155,18	kNm
Kritické ohybové napětí $\sigma_{m,krit}$	103,500	MPa
Poměrná štíhlost $\lambda_{rel,m}$	0,48	-
redukční součinitel $k_{krit}$	1	-

Jednotkový posudek (6.33)= **1,55**

Prvek je dimenzovaný na 160%.

Dle očekávání konstrukce je nejvíce namáhaná na kombinaci ohybu a osového tahu. Prvek je nejvíce namáhaný uprostřed rozpětí nad podporou, kde je největší záporný ohybový moment.



## Souhrn:

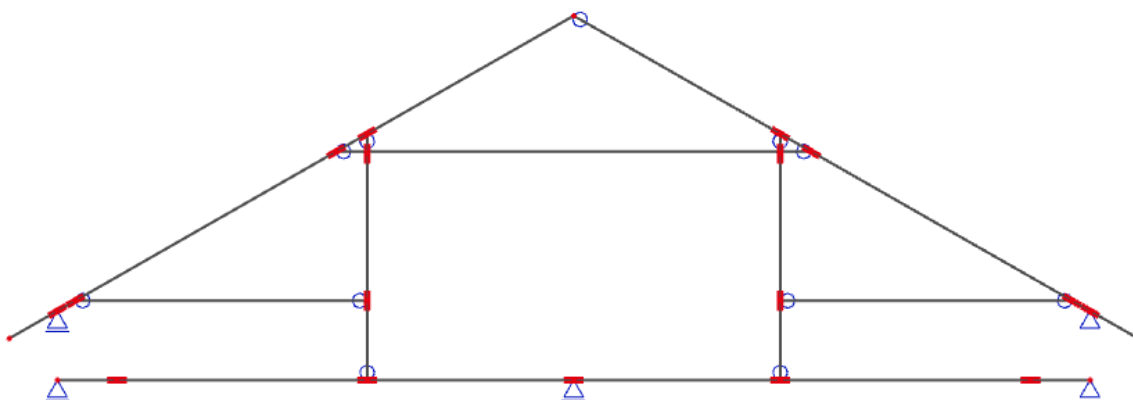
Prvek	Využití	Posudek	
Krokev - jalová vazba	94%	Stability	Zatížení tlakem nebo kombinací tlaku a <b>ohybu</b>
Krokev - plná vazba	114%	Stability	Zatížení tlakem nebo kombinací tlaku a <b>ohybu</b>
Vaznice	91%	Řezu	Kombinace <b>ohybu</b> a osového tahu
Horní kleština	11%	Stability	Zatížení tlakem nebo kombinací <b>tlaku</b> a ohybu
Sloupky	53%	Stability	Zatížení tlakem nebo kombinací tlaku a <b>ohybu</b>
Dolní kleština	11%	Řezu	Kombinace ohybu a osového <b>tahu</b>
Pásek	8%	Stability	Zatížení tlakem nebo kombinací <b>tlaku</b> a ohybu
Vazný trám	160%	Řezu	Kombinace <b>ohybu</b> a osového tahu

## 7. 2D model

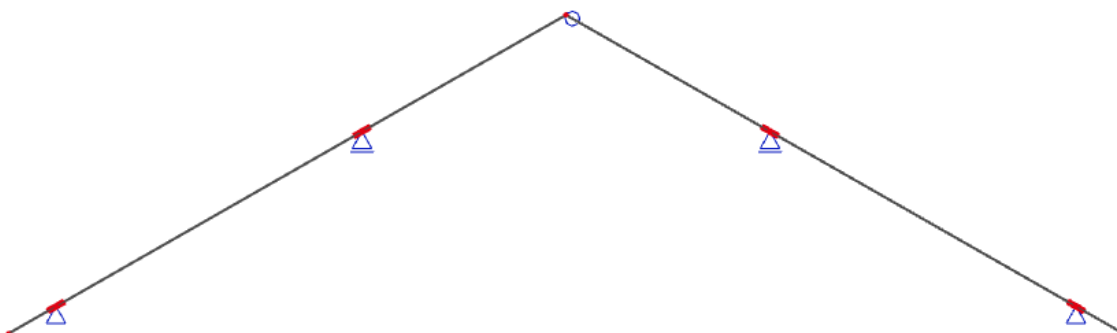
Všechny vstupní hodnoty, tj. geometrie konstrukce, zatížení, kombinace zatížení, průřezy, kloubové ukončení prutů a vzpěrné délky, jsou totožné jako pro druhý výpočtový 3D model.

Pevný kloub v místě pozednice se nachází na návětrné straně. Na závětrné straně v místě pozednice je umístěn kloub posuvný. Vazný trám je řešený jako prostý nosník.

### Výpočetní model

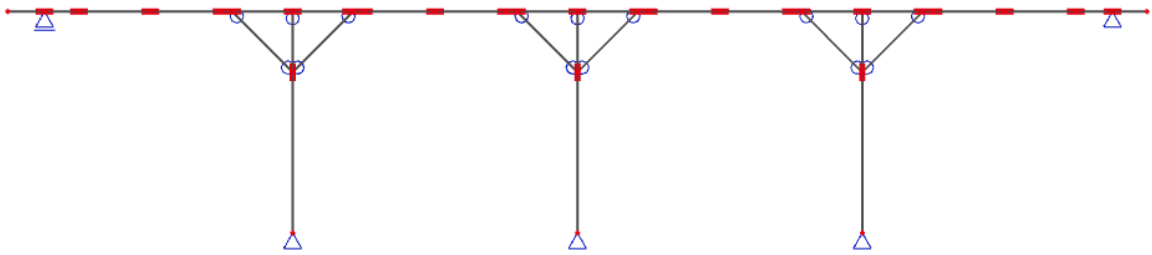


Obr. 25 Výpočtový model – plná vazba

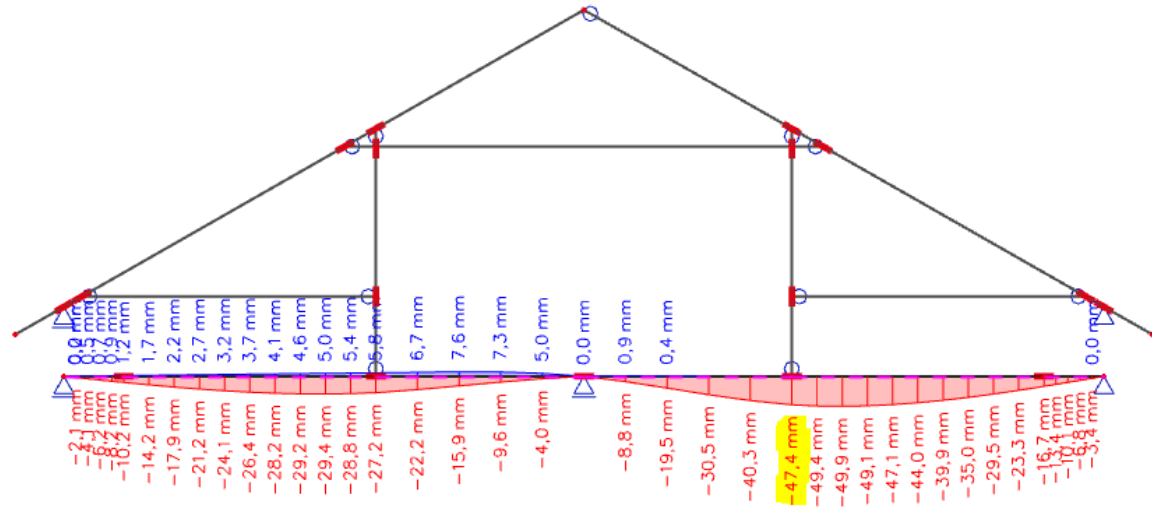


Obr. 26 Výpočtový model – jalová vazba

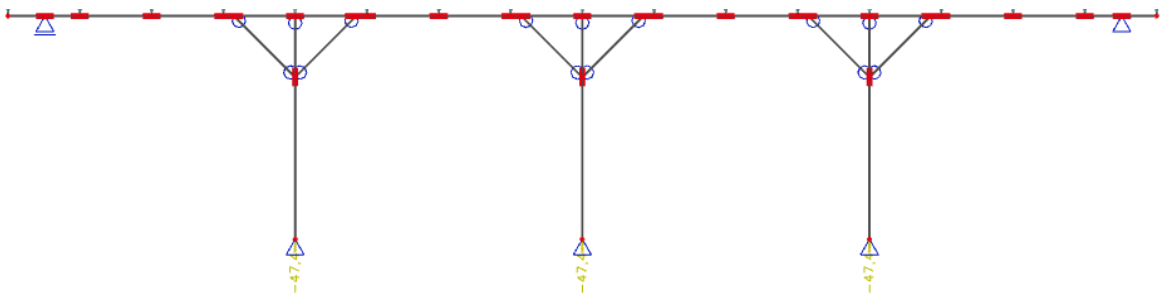




Obr. 27 Výpočetní model - podélný řez



Obr. 28 Deformace vazného trámu



Obr. 29 Popuštění sloupu

## 8. Srovnání 2D a 3D modelu

### Krokov – jalová vazba

3D model			2D model		
Vnitřní síly			Vnitřní síly		
N <sub>ed</sub>	-5,91	kN	N <sub>ed</sub>	-5,31	kN
V <sub>y,Ed</sub>	0,62	kN	V <sub>y,Ed</sub>	0,00	kN
V <sub>z,Ed</sub>	3,85	kN	V <sub>z,Ed</sub>	3,61	kN
T <sub>ed</sub>	0,05	kNm	T <sub>ed</sub>	0,00	kNm
M <sub>y,Ed</sub>	-3,18	kNm	M <sub>y,Ed</sub>	-3,09	kNm
M <sub>z,Ed</sub>	-1,81	kNm	M <sub>z,Ed</sub>	0,00	kNm

Kritický posudek je v místě  
5,200 m.

Kritický posudek je v místě  
5,200 m.

### POSUDEK ŘEZ

#### Ohyb

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,y,d}$  a  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám

$f_{m,y,d}$  a  $f_{m,z,d}$  jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu

3D model			2D model		
$\sigma_{m,y,d}$	11,1	MPa	$\sigma_{m,y,d}$	10,7	MPa
$k_{h,y}$	1,05		$k_{h,y}$	1,05	
$f_{m,y,d}$	17,4	MPa	$f_{m,y,d}$	17,4	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	6,3	MPa	$k_m$	0,7	
$k_{h,z}$	1,05				
$f_{m,z,d}$	17,4	MPa			
$k_m$	0,7				

3D model		2D model	
Jednotkový posudek		Jednotkový posudek	
podle 6.11	0,89	podle 6.11	0,62
podle 6.12	0,81	podle 6.12	0,43

## Krokev – plná vazba

3D model			2D model		
Vnitřní síly			Vnitřní síly		
N <sub>Ed</sub>	-28,27	kN	N <sub>Ed</sub>	-22,26	kN
V <sub>y,Ed</sub>	0,00	kN	V <sub>y,Ed</sub>	0,00	kN
V <sub>z,Ed</sub>	-4,47	kN	V <sub>z,Ed</sub>	3,56	kN
T <sub>Ed</sub>	0,00	kNm	T <sub>Ed</sub>	0,00	kNm
M <sub>y,Ed</sub>	-3,95	kNm	M <sub>y,Ed</sub>	-2,97	kNm
M <sub>z,Ed</sub>	-0,01	kNm	M <sub>z,Ed</sub>	0,00	kNm

Kritický posudek je v místě  
5,200 m.

Kritický posudek je v místě  
5,200 m.

## POSUDEK ŘEZ

### Ohyb

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,y,d}$  a  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám

$f_{m,y,d}$  a  $f_{m,z,d}$  jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu

3D model			2D model		
$\sigma_{m,y,d}$	13,7	MPa	$\sigma_{m,y,d}$	10,3	MPa
$k_{h,y}$	1,05		$k_{h,y}$	1,05	
$f_{m,y,d}$	17,4	MPa	$f_{m,y,d}$	17,4	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0	MPa	$k_m$	0,7	
$k_{h,z}$	1,05				
$f_{m,z,d}$	17,4	MPa			
$k_m$	0,7				

3D model		2D model	
Jednotkový posudek		Jednotkový posudek	
podle 6.11	0,79	podle 6.11	0,59
podle 6.12	0,55	podle 6.12	0,42

## POSUDEK STABILITY

### Zatížení tlakem nebo kombinací tlaku a ohybu

Podle EN 1995-1-1 článku 6.3,2 a rovnice (6.23), (6.24)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

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

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

3D model			
Parametry vzpěru	yy	zz	
Typ posuvných styčnicků	neposuvné	neposuvné	
Systémová délka L	4,239	4,500	m
Součinitel vzpěru k	0,71	0,8	
Vzpěrná délka Lcr	3,018	3,606	m
Štíhlost $\lambda$	87,12	104,09	-
Poměrná štíhlost $\lambda$	1,48	1,77	-
redukční součinitel kc	0,39	0,28	-

$\sigma_{c,0,d}$	2,0	MPa
------------------	-----	-----

### 2D model

Parametry vzpěru	yy
Typ posuvných styčníků	neposuvné
Systémová délka L	3,000
Součinitel vzpěru k	0,74
Vzpěrná délka Lcr	2,21
Štíhlost $\lambda$	63,81
Poměrná štíhlost $\lambda$	1,08
redukční součinitel kc	0,63

$\sigma_{c,0,d}$	1,6	MPa
------------------	-----	-----

### 3D model

Jednotkový posudek	
podle 6.23	1,14
podle 6.24	1,03

### 2D model

Jednotkový posudek	
podle 6.23	0,77
podle 6.24	0,6

## Vaznice

### 3D model

Vnitřní síly		
$N_{ed}$	-0,11	kN
$V_{y,Ed}$	-3,93	kN
$V_{z,Ed}$	-5,36	kN
$T_{ed}$	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	9,11	kNm
$M_{z,Ed}$	2,66	kNm

### 2D model

Vnitřní síly		
$N_{ed}$	-0,10	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	5,88	kN
$T_{ed}$	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	11,28	kNm
$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

Kritický posudek je v místě  
14,000 m.

Kritický posudek je v místě  
14,000 m.

## POSUDEK ŘEZ

### Ohyb

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,y,d}$  a  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám  
 $f_{m,y,d}$  a  $f_{m,z,d}$  jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu

3D model			2D model		
$\sigma_{m,y,d}$	12	MPa	$\sigma_{m,y,d}$	14,9	MPa
$k_{h,y}$	1		$k_{h,y}$	1	
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa	$f_{m,y,d}$	16,6	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	4,5	MPa	$k_m$	0,7	
$k_{h,z}$	1,01				
$f_{m,z,d}$	16,8	MPa			
$k_m$	0,7				

3D model		2D model	
Jednotkový posudek		Jednotkový posudek	
podle 6.11	0,91	podle 6.11	0,9
podle 6.12	0,78	podle 6.12	0,63

## Horní kleština

3D model			2D model		
Vnitřní síly			Vnitřní síly		
$N_{ed}$	-10,43	kN	$N_{ed}$	-11,37	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN	$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	0,00	kN	$V_{z,Ed}$	0,00	kN
$T_{ed}$	0,00	kNm	$T_{ed}$	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	0,00	kNm	$M_{y,Ed}$	0,00	kNm
$M_{z,Ed}$	1,00	kNm	$M_{z,Ed}$	1,00	kNm

Kritický posudek je v místě  
2,997 m.

Kritický posudek je v místě  
2,997 m.

## **POSUDEK ŘEZ**

Tlak rovnoběžně s vlákny

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.4 a rovnice (6.2)

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

kde  $\sigma_{c,0,d}$  je návrhové napětí v tlaku podél vláken  
 $f_{c,0,d}$  je návrhová pevnost v tlaku podél vláken

3D model			2D model		
$\sigma_{c,0,d}$	0,3	MPa	$\sigma_{c,0,d}$	0,3	MPa
$f_{c,0,d}$	14,5	MPa	$f_{c,0,d}$	14,5	MPa

3D model		2D model	
Jednotkový posudek		Jednotkový posudek	
podle 6.2	0,02	podle 6.11	0,02

## POSUDEK STABILITY

### Zatížení tlakem nebo kombinací tlaku a ohybu

Podle EN 1995-1-1 článku 6.3,2 a rovnice (6.23), (6.24)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

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

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

### 3D model

Parametry vzpěru	yy	zz	
Typ posuvných styčníků	neposuvné	neposuvné	
Systémová délka L	5,994	5,994	m
Součinitel vzpěru k	1	1	
Vzpěrná délka Lcr	5,994	5,994	m
Štíhlost $\lambda$	52,7	103,81	-
Poměrná štíhlost $\lambda$	0,89	1,76	-
redukční součinitel kc	0,77	0,29	-

$\sigma_{c,0,d}$	0,2	MPa
$\sigma_{m,y,d}$	0,0	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0,0	MPa

### 2D model

Parametry vzpěru	yy	
Typ posuvných styčníků	neposuvné	
Systémová délka L	5,994	m
Součinitel vzpěru k	1	
Vzpěrná délka Lcr	5,994	m
Štíhlost $\lambda$	52,7	-
Poměrná štíhlost $\lambda$	0,89	-
redukční součinitel kc	0,77	-

$\sigma_{c,0,d}$	0,3	MPa
$\sigma_{m,y,d}$	0,0	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0,7	MPa

### 3D model

Jednotkový posudek	
podle 6.23	0,07
podle 6.24	0,11

### 2D model

Jednotkový posudek	
podle 6.23	0,07
podle 6.24	0,11



## Sloupek

3D model			2D model		
Vnitřní síly			Vnitřní síly		
N <sub>ed</sub>	-32,62	kN	N <sub>ed</sub>	-35,57	kN
V <sub>y,Ed</sub>	0,01	kN	V <sub>y,Ed</sub>	0,00	kN
V <sub>z,Ed</sub>	-3,99	kN	V <sub>z,Ed</sub>	2,04	kN
T <sub>ed</sub>	0,00	kNm	T <sub>ed</sub>	0,00	kNm
M <sub>y,Ed</sub>	-3,99	kNm	M <sub>y,Ed</sub>	2,04	kNm
M <sub>z,Ed</sub>	0,00	kNm	M <sub>z,Ed</sub>	0,00	kNm

Kritický posudek je v místě  
1,000 m.

Kritický posudek je v místě  
1,000 m.

## **POSUDEK ŘEZ**

### Tlak rovnoběžně s vlákny

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.4 a rovnice (6.2)

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

kde  $\sigma_{c,0,d}$  je návrhové napětí v tlaku podél vláken  
 $f_{c,0,d}$  je návrhová pevnost v tlaku podél vláken

3D model			2D model		
$\sigma_{c,0,d}$	1,4	MPa	$\sigma_{c,0,d}$	1,6	MPa
$f_{c,0,d}$	14,5	MPa	$f_{c,0,d}$	14,5	MPa

3D model		2D model	
Jednotkový posudek		Jednotkový posudek	
podle 6.2	0,1	podle 6.11	0,11

### Ohyb

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,y,d}$  a  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám  
 $f_{m,y,d}$  a  $f_{m,z,d}$  jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu

3D model			2D model		
$\sigma_{m,y,d}$	7,1	MPa	$\sigma_{m,y,d}$	3,6	MPa
$k_{h,y}$	1		$k_{h,y}$	1	
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa	$f_{m,y,d}$	16,6	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0	MPa	$k_m$	0,7	
$k_{h,z}$	1				
$f_{m,z,d}$	16,6	MPa			
$k_m$	0,7				

3D model		2D model	
Jednotkový posudek		Jednotkový posudek	
podle 6.11	0,43	podle 6.11	0,22
podle 6.12	0,3	podle 6.12	0,15

## POSUDEK STABILITY

### Zatížení tlakem nebo kombinací tlaku a ohybu

Podle EN 1995-1-1 článku 6.3,2 a rovnice (6.23), (6.24)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

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

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

### 3D model

Parametry vzpěru	yy	zz	
Typ posuvných styčníků	neposuvné	neposuvné	
Systémová délka L	1,000	2,250	m
Součinitel vzpěru k	0,89	0,81	
Vzpěrná délka Lcr	0,89	1,832	m
Štíhlost $\lambda$	20,54	42,3	-
Poměrná štíhlost $\lambda$	0,35	0,72	-
redukční součinitel kc	0,99	0,87	-

$\sigma_{c,0,d}$	1,4	MPa
$\sigma_{m,y,d}$	7,1	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0,0	MPa

### 2D model

Parametry vzpěru	yy	
Typ posuvných styčníků	neposuvné	
Systémová délka L	1,000	m
Součinitel vzpěru k	0,88	
Vzpěrná délka Lcr	0,88	m
Štíhlost $\lambda$	20,32	-
Poměrná štíhlost $\lambda$	0,34	-
redukční součinitel kc	0,99	-

$\sigma_{c,0,d}$	1,6	MPa
$\sigma_{m,y,d}$	3,6	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0,0	MPa

### 3D model

Jednotkový posudek	
podle 6.23	0,53
podle 6.24	0,4

### 2D model

Jednotkový posudek	
podle 6.23	0,33
podle 6.24	0,36

## Dolní kleština

3D model			2D model		
Vnitřní síly			Vnitřní síly		
N <sub>ed</sub>	27,77	kN	N <sub>ed</sub>	26,66	kN
V <sub>y,Ed</sub>	0,00	kN	V <sub>y,Ed</sub>	0,00	kN
V <sub>z,Ed</sub>	0,00	kN	V <sub>z,Ed</sub>	0,00	kN
T <sub>ed</sub>	0,00	kNm	T <sub>ed</sub>	0,00	kNm
M <sub>y,Ed</sub>	0,00	kNm	M <sub>y,Ed</sub>	0,00	kNm
M <sub>z,Ed</sub>	0,31	kNm	M <sub>z,Ed</sub>	0,31	kNm

Kritický posudek je v místě  
1,841 m.

Kritický posudek je v místě  
1,841 m.

## **POSUDEK ŘEZ**

### Tah rovnoběžně s vlákny

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.2 a rovnice (6.1)

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

kde  $\sigma_{t,0,d}$  je návrhové napětí v tahu  
 $f_{t,0,d}$  je návrhová pevnost v tahu

3D model			2D model		
$\sigma_{t,0,d}$	0,9	MPa	$\sigma_{t,0,d}$	0,8	MPa
$f_{t,0,d}$	10	MPa	$f_{t,0,d}$	10	MPa

3D model		2D model	
Jednotkový posudek		Jednotkový posudek	
podle 6.1	0,09	podle 6.1	0,08

### Ohyb

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,y,d}$  a  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám  
 $f_{m,y,d}$  a  $f_{m,z,d}$  jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu

3D model			2D model		
$\sigma_{m,y,d}$	0	MPa	$\sigma_{m,z,d}$	0,3	MPa
$k_{h,y}$	1		$k_{h,z}$	1	
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa	$f_{m,z,d}$	16,6	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0,3	MPa	$k_m$	1	
$k_{h,z}$	0				
$f_{m,z,d}$	16,6	MPa			
$k_m$	1				

3D model		2D model	
Jednotkový posudek		Jednotkový posudek	
podle 6.11	0,02	podle 6.11	0,02
podle 6.12	0,02	podle 6.12	0,02

#### Kombinovaný ohyb a osový tah

Podle EN 1995-1-1 článku 6.2.3 a rovnice (6.17), (6.18)

$$\left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}\right)^2 + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

3D model			2D model		
$f_{t,0,d}$	10	MPa	$f_{t,0,d}$	10	MPa
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa	$f_{m,z,d}$	16,6	MPa
$f_{m,z,d}$	16,6	MPa	$k_m$	1	
$k_m$	1				

3D model		2D model	
Jednotkový posudek		Jednotkový posudek	
podle 6.17	0,11	podle 6.17	0,11
podle 6.18	0,11	podle 6.18	0,11

## Pásek

3D model			2D model		
Vnitřní síly			Vnitřní síly		
N <sub>ed</sub>	-17,91	kN	N <sub>ed</sub>	-28,21	kN
V <sub>y,Ed</sub>	0,00	kN	V <sub>y,Ed</sub>	0,00	kN
V <sub>z,Ed</sub>	0,04	kN	V <sub>z,Ed</sub>	0,01	kN
T <sub>ed</sub>	-0,21	kNm	T <sub>ed</sub>	0,00	kNm
M <sub>y,Ed</sub>	0,00	kNm	M <sub>y,Ed</sub>	0,01	kNm
M <sub>z,Ed</sub>	0,00	kNm	M <sub>z,Ed</sub>	0,00	kNm

Kritický posudek je v místě  
0,481 m.

Kritický posudek je v místě  
0,481 m.

## **POSUDEK ŘEZ**

### Tlak rovnoběžně s vlákny

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.4 a rovnice (6.2)

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

kde  $\sigma_{c,0,d}$  je návrhové napětí v tlaku podél vláken

$f_{c,0,d}$  je návrhová pevnost v tlaku podél vláken

3D model			2D model		
$\sigma_{c,0,d}$	1,1	MPa	$\sigma_{c,0,d}$	1,7	MPa
$f_{c,0,d}$	14,5	MPa	$f_{c,0,d}$	14,5	MPa

3D model		2D model	
Jednotkový posudek		Jednotkový posudek	
podle 6.2	0,07	podle 6.11	0,12

## Vazný trám

3D model		
Vnitřní síly		
N <sub>ed</sub>	18,80	kN
V <sub>y,Ed</sub>	0,00	kN
V <sub>z,Ed</sub>	-24,10	kN
T <sub>ed</sub>	0,00	kNm
M <sub>y,Ed</sub>	-38,63	kNm
M <sub>z,Ed</sub>	0,00	kNm

Kritický posudek je v místě  
6,515 m.

2D model		
Vnitřní síly		
N <sub>ed</sub>	18,06	kN
V <sub>y,Ed</sub>	0,00	kN
V <sub>z,Ed</sub>	-24,37	kN
T <sub>ed</sub>	0,00	kNm
M <sub>y,Ed</sub>	-39,38	kNm
M <sub>z,Ed</sub>	0,00	kNm

Kritický posudek je v místě  
6,515 m.

## **POSUDEK ŘEZ**

### Tlak kolmo na vlákna

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.5 a rovnice (6.3)

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} * f_{c,90,d}$$

kde  $\sigma_{c,90,d}$  je návrhové napětí v tlaku kolmo k vláknům v dotykové ploše  
 $f_{c,90,d}$  je návrhová pevnost v tlaku kolmo vláknům  
 $k_{c,90}$  je součinitel zohledňující uspořádání zatížení, možnost rozštěpení

3D model		
F <sub>c,90,d</sub>	49,44	kN
b	170	mm
A <sub>ef</sub>	27200	mm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,90,d}$	1,8	MPa
h	230	mm
k <sub>c,90</sub>	1,5	-
f <sub>c,90,d</sub>	1,7	MPa

2D model		
F <sub>c,90,d</sub>	50,41	kN
b	170	mm
A <sub>ef</sub>	27200	mm <sup>2</sup>
$\sigma_{c,90,d}$	1,9	MPa
h	230	mm
k <sub>c,90</sub>	1,5	-
f <sub>c,90,d</sub>	1,7	MPa

3D model	
Jednotkový posudek	
podle 6.3	0,7

2D model	
Jednotkový posudek	
podle 6.3	0,71

### Ohyb

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,y,d}$  a  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám

$f_{m,y,d}$  a  $f_{m,z,d}$  jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu

3D model

$\sigma_{m,y,d}$	25,8	MPa
$k_{h,y}$	1	
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0	MPa
$k_{h,z}$	1	
$f_{m,z,d}$	16,6	MPa
$k_m$	0,7	

2D model

$\sigma_{m,y,d}$	26,3	MPa
$k_{h,y}$	1	
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa
$k_m$	0,7	

3D model

Jednotkový posudek	
podle 6.11	1,55
podle 6.12	1,09

2D model

Jednotkový posudek	
podle 6.11	1,58
podle 6.12	1,11

### Kombinovaný ohyb a osový tah

Podle EN 1995-1-1 článku 6.2.3 a rovnice (6.17), (6.18)

$$\left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}\right)^2 + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

3D model

$f_{t,0,d}$	10	MPa
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa
$f_{m,z,d}$	16,8	MPa
$k_m$	0,7	

2D model

$f_{t,0,d}$	10	MPa
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa
$k_m$	0,7	

3D model

Jednotkový posudek	
podle 6.19	1,6
podle 6.20	1,13

2D model

Jednotkový posudek	
podle 6.19	1,63
podle 6.20	1,15



## Zhodnocení:

Prvek	Vnitřní síly						Využití		
	3D model			2D model				3D model	2D model
Krokev - jalová vazba	$M_{y,ed}$	-3,18	kNm	$M_{y,ed}$	-3,09	kNm	Ohyb	89%	62%
	$M_{z,ed}$	-1,81	kNm	$M_{z,ed}$	0,00	kNm			
Krokev - plná vazba	$M_{y,ed}$	-3,95	kNm	$M_{y,ed}$	-2,97	kNm	Ohyb	114%	77%
Vaznice	$M_{y,ed}$	9,11	kNm	$M_{y,ed}$	11,28	kNm	Ohyb	91%	90%
	$M_{z,ed}$	2,66	kNm	$M_{z,ed}$	0,00	kNm			
Horní kleština	$N_{ed}$	-10,43	kN	$N_{ed}$	-11,37	kN	Vzpěrný tlak	11%	11%
Sloupky	$M_{y,ed}$	-3,99	kNm	$M_{y,ed}$	2,04	kNm	Kombinace tlaku a ohybu	53%	36%
	$N_{ed}$	-32,62	kN	$N_{ed}$	-35,57	kN			
Dolní kleština	$N_{ed}$	27,77	kN	$N_{ed}$	26,66	kN	Osový tah	11%	11%
Pásek	$N_{ed}$	-17,91	kN	$N_{ed}$	-28,21	kN	Tlak	8%	12%
Vazný trám	$M_{y,ed}$	-38,63	kNm	$M_{y,ed}$	-39,38	kNm	Ohyb	160%	163%

Oba modely byly analyzovány a porovnány.

Posouzení horní a dolní kleštiny a vazného trámu v obou modelech je totožné. Ve 2D modelu je pouze pásek více namáhán než ve 3D modelu. Normálová síla je zde větší a tím větší využití prvků na tlak. Rozdíl je 5%.

Normálová síla ve 2D modelu na sloupku je o cca 3 kN větší. Naopak moment, který způsobují dolní kleštiny je zde menší. Tento moment se ukazuje být rozhodující, a tedy i využití sloupku ve 2D modelu je menší.

Využití vaznice ve 3D modelu je vyšší, přestože ohybový moment je zde menší. Rozdíl ve využití způsobuje posouzení napětí ve více směrech.

Vaznice ve 3D je posuzovaná na šikmý ohyb,

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

zatímco vaznice ve 2D je posuzovaná na prostý ohyb:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

Totéž platí pro krokve v jalové vazbě.

Výpočtem vaznicové soustavy krovu ve 3D modelu jsem nedostal lepších výsledků než výpočtem ve 2D modelu, ovšem s ohledem na posouzení prvků ve více směrech se zdají být věrohodnější.

## 9. Optimalizace průřezu

Jednotlivé prvky v přechozích úlohách byly dimenzovány dle empirických vzorců a posuzovány podle ČSN EN 1995. Byla provedena optimalizace a navrženy nové průřezy:

Prvek	Původní průřez		Využití průřezu	Nový průřez		Využití průřezu
	b	h		b	h	
krokve	120	160	114%	120	180	82%
vaznice	140	180	91%	140	180	77%
sloupek	150	150	53%	140	140	33%
vazný trám	170	230	160%	200	280	86%
horní kleština	100	200	11%	60	160	14%
dolní kleština	90	180	11%	60	160	8%
pásek	120	140	8%	100	120	18%

Tab. 8 Optimalizace průřezu

Zvětšením průřezu vazného trámu a snížením jeho průhybu se zmenšili vnitřní síly na některých prvcích. Zejména se zmenšil ohybový moment vaznice z původních 9,11 kNm na 7,86 kNm bez zvětšení průřezu vaznice. Jednotková hmotnost – 420 kg/m<sup>3</sup>

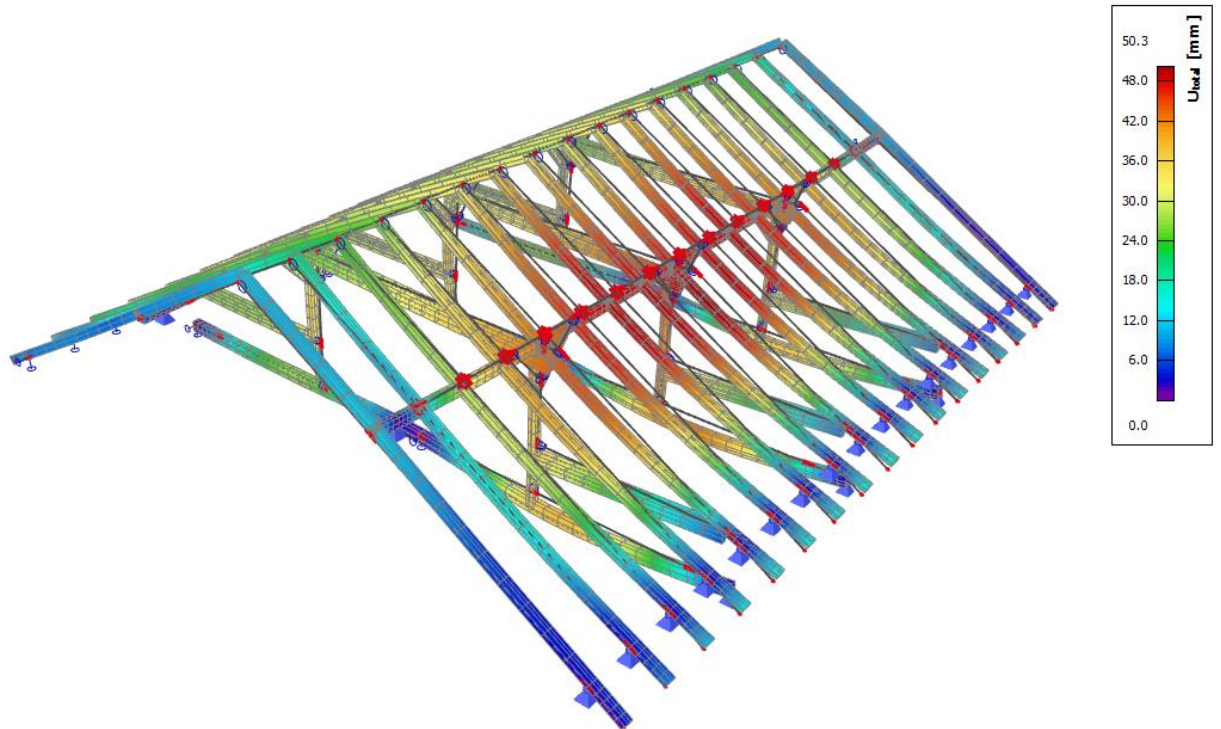
Před optimalizací	Průřez	Jednotková hmotnost	Hmota	Objem
	[mm]	[kg/m]	[kg]	[m <sup>3</sup> ]
Krokve	120x160	8,1	2241,4	5,337
Vaznice	140x180	10,6	338,7	0,806
Horní kleštiny	100x200	16,8	302,1	0,719
Sloupky	150x150	9,4	175,8	0,419
Pásek	120x140	7,1	101,8	0,242
Dolní kleštiny	90x180	13,6	300,6	0,716
Vazný trám	170x230	16,4	641,9	1,528
Celkem			4102,2	9,767

Po optimalizaci	Průřez	Jednotková hmotnost	Hmota	Objem
	[mm]	[kg/m]	[kg]	[m <sup>3</sup> ]
Krokve	120x180	9,1	2522,4	6,006
Vaznice	140x180	10,6	338,7	0,806
Horní kleštiny	60x160	8,1	145,0	0,345
Sloupky	140x140	8,2	153,1	0,365
Pásek	100x120	5,0	72,7	0,173
Dolní kleštiny	60x160	8,1	178,2	0,424
Vazný trám	200x280	23,5	919,4	2,189
Celkem			4329,4	10,308
Rozdíl celkem			227,2	0,541

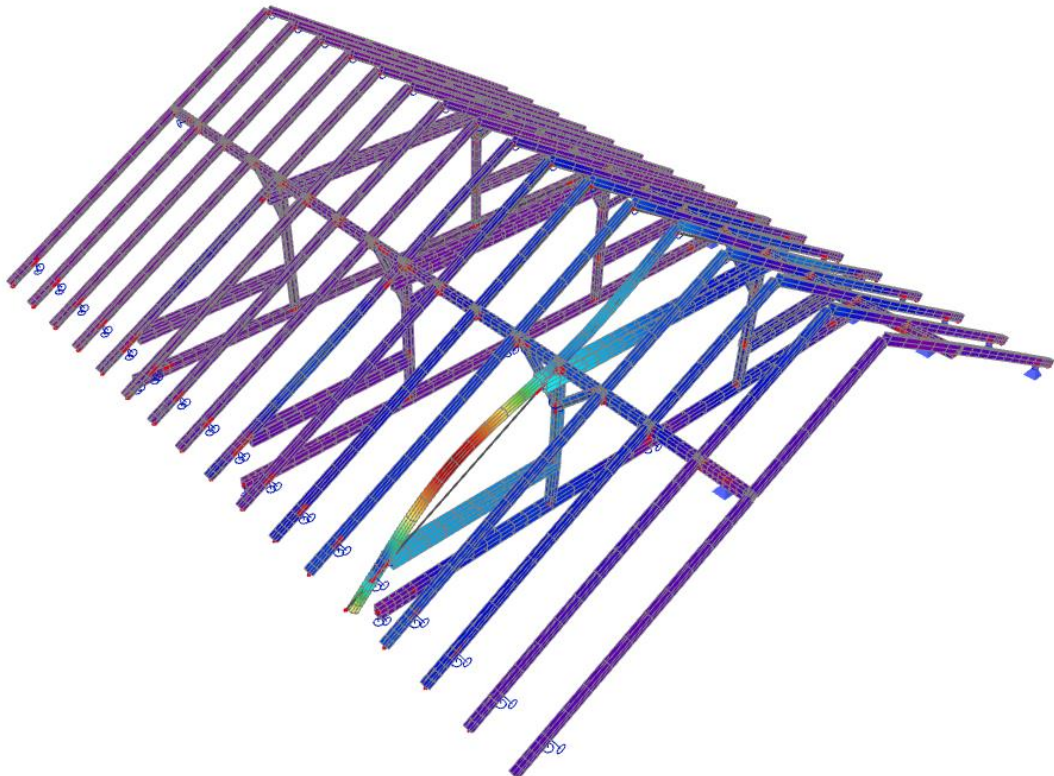
Tab. 9 Srovnání objemu dřeva před a po optimalizaci

Původní průřezy před optimalizací vykazují o 0,541 m<sup>3</sup> dřeva méně.

**Výpočtový model před optimalizací:**



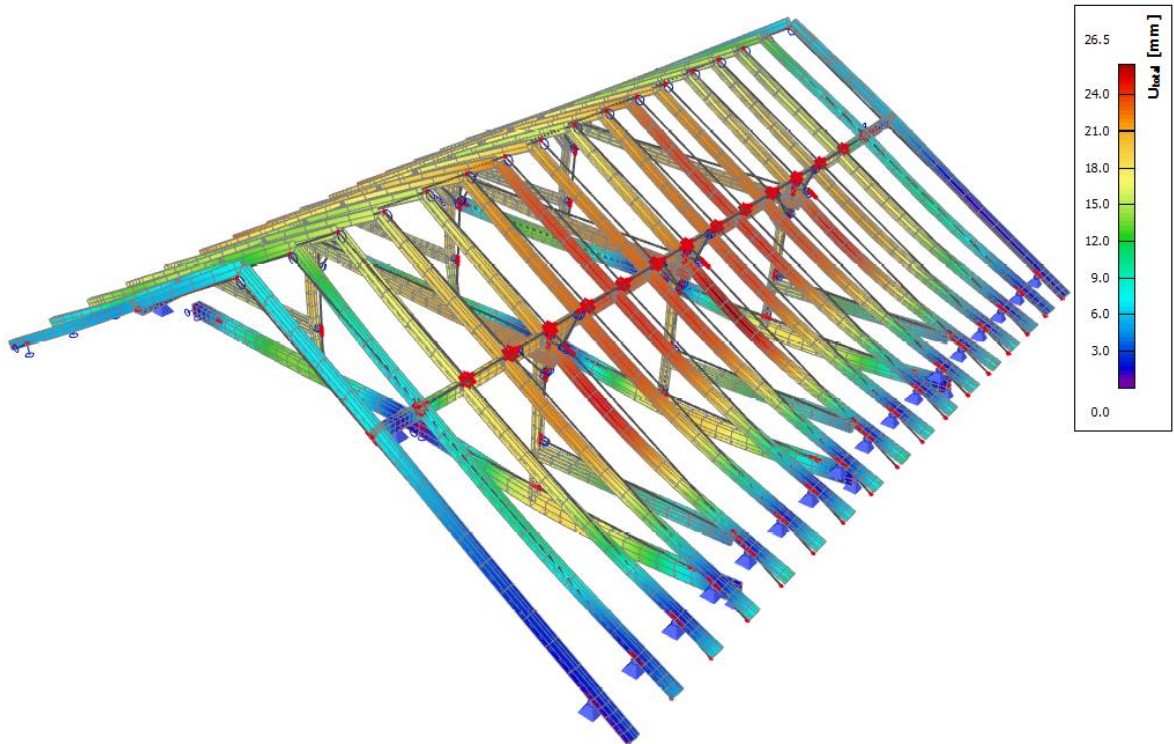
Obr. 30 Deformace prutů - max. 50,3 mm



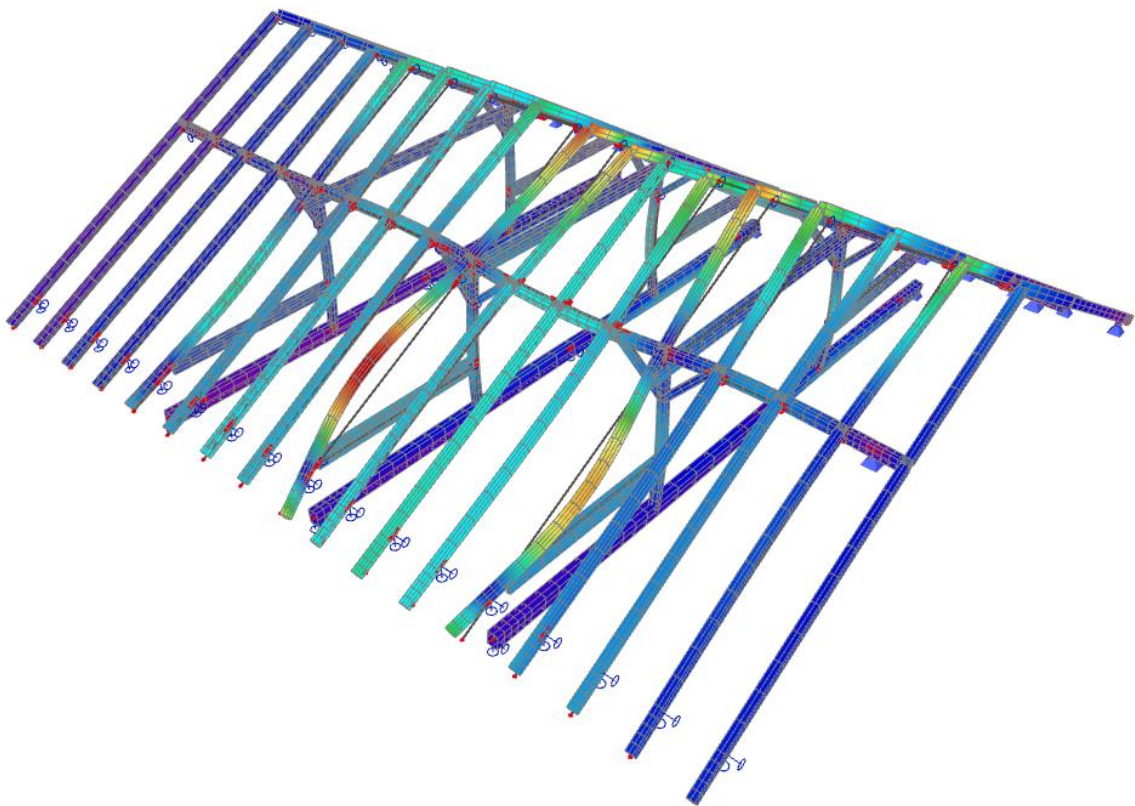
Obr. 31 Lineární stabilita - součinitel kritického zatížení - 7,67



**Optimalizovaný výpočtový model:**



Obr. 32 Deformace prutů - max. 26,5 mm



Obr. 33 Lineární stabilita - součinitel kritického zatížení - 11,23

Zvětšením průřezů došlo ke snížení celkové deformace konstrukce. Průhyb vazného trámu má za následek deformaci sloupku, vaznice a krokve, resp. celé soustavy. Zvětšením tuhosti a zmenšením průhybu dosáhneme poloviční celkové deformace z 50,3mm na 26,5 mm.

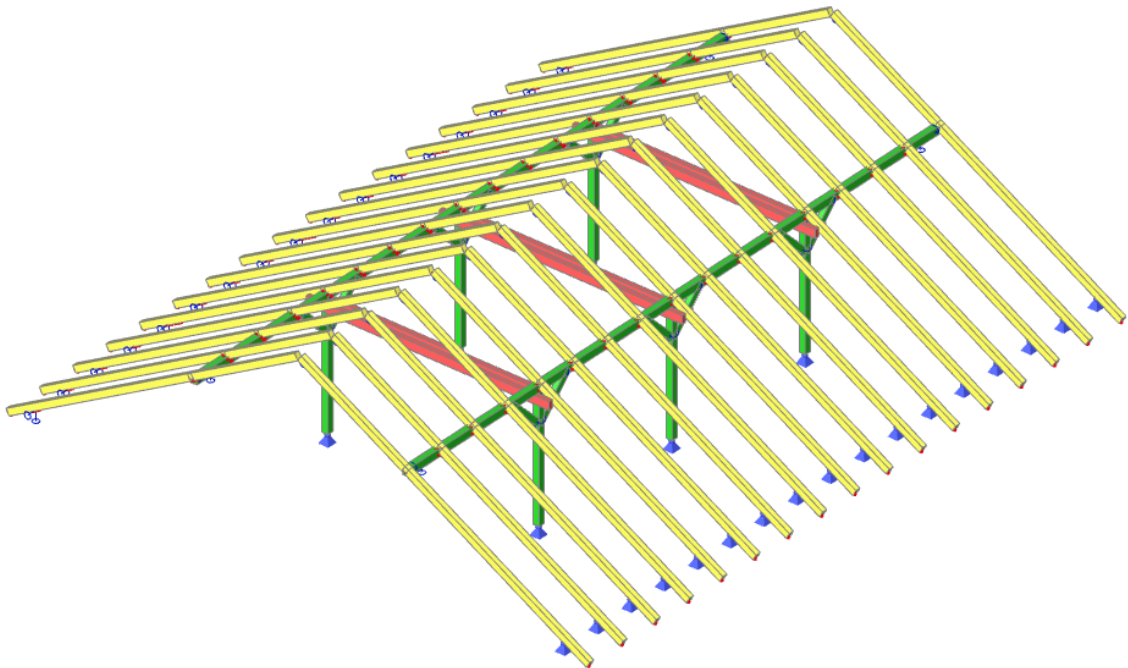
Zvýšením tuhosti jednotlivých prvků dosáhneme také vyšší lineární stability. Součinitel kritického zatížení se zlepšil z původních 7,67 na 11,23. První vlastní tvar a ztráta stability dochází vybočením krokve v plné vazbě.

## **10. Odstranění prvků vaznicové soustavy**

Přestože krovy jsou staletými osvědčenou konstrukcí, rekonstruované krovy často trpí závažnými problémy. Jedním s problémem je změna využití podkroví. Vestavěním obytného podkroví může vést ke spoustě problémům.

Staré krovy jsou obvykle tvořeny spousty složitými soustavami stolic, kleštín, pásků a dalších prvků. Při vytváření podkroví tyto prvky často překáží plánované dispozici. Odstranění těchto prvků krovů potom logicky ovlivňuje tuhost a stabilitu celé konstrukce. Odstranění prvků je provedeno po optimalizaci průřezu.

### **10.1. Odstranění dolních kleštín a vazného trámu**



Obr. 34 Vizualizace modelu bez dolních kleštín a vazného trámu

## Krokev – jalová vazba

Původní model			Nový model		
Vnitřní síly			Vnitřní síly		
N <sub>ed</sub>	-5,91	kN	N <sub>ed</sub>	-4,01	kN
V <sub>y,Ed</sub>	0,47	kN	V <sub>y,Ed</sub>	0,10	kN
V <sub>z,Ed</sub>	3,89	kN	V <sub>z,Ed</sub>	4,05	kN
T <sub>ed</sub>	0,04	kNm	T <sub>ed</sub>	-0,01	kNm
M <sub>y,Ed</sub>	-3,24	kNm	M <sub>y,Ed</sub>	-4,33	kNm
M <sub>z,Ed</sub>	-1,38	kNm	M <sub>z,Ed</sub>	-0,25	kNm

Kritický posudek je v místě  
5,200 m.

Kritický posudek je v místě  
5,200 m.

## POSUDEK ŘEZ

### Ohyb

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,y,d}$  a  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám

$f_{m,y,d}$  a  $f_{m,z,d}$  jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu

Původní model			Nový model		
$\sigma_{m,y,d}$	8,3	MPa	$\sigma_{m,y,d}$	11	MPa
$k_{h,y}$	1,01		$k_{h,y}$	1,01	
$f_{m,y,d}$	16,8	MPa	$f_{m,y,d}$	16,8	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	4,1	MPa	$\sigma_{m,z,d}$	0,7	MPa
$k_{h,z}$	1,05		$k_{h,z}$	1,05	
$f_{m,z,d}$	17,4	MPa	$f_{m,z,d}$	17,4	MPa
$k_m$	0,7		$k_m$	0,7	

3D model		2D model	
Jednotkový posudek		Jednotkový posudek	
podle 6.11	0,66	podle 6.11	0,69
podle 6.12	0,58	podle 6.12	0,5

## Krokev – plná vazba

Původní model			Nový model		
Vnitřní síly			Vnitřní síly		
N <sub>ed</sub>	-15,70	kN	N <sub>ed</sub>	-3,38	kN
V <sub>y,Ed</sub>	-0,09	kN	V <sub>y,Ed</sub>	0,00	kN
V <sub>z,Ed</sub>	-6,45	kN	V <sub>z,Ed</sub>	4,52	kN
T <sub>ed</sub>	0,00	kNm	T <sub>ed</sub>	0,00	kNm
M <sub>y,Ed</sub>	-3,78	kNm	M <sub>y,Ed</sub>	-5,75	kNm
M <sub>z,Ed</sub>	-0,40	kNm	M <sub>z,Ed</sub>	0,00	kNm

Kritický posudek je v místě  
5,200 m.

Kritický posudek je v místě  
5,200 m.

### POSUDEK ŘEZ

#### Ohyb

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,y,d}$  a  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám

$f_{m,y,d}$  a  $f_{m,z,d}$  jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu

Původní model			Nový model		
$\sigma_{m,y,d}$	9,6	MPa	$\sigma_{m,y,d}$	14,7	MPa
$k_{h,y}$	1,01		$k_{h,y}$	1,01	
$f_{m,y,d}$	16,8	MPa	$f_{m,y,d}$	16,8	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	1,2	MPa	$\sigma_{m,z,d}$	0	MPa
$k_{h,z}$	1,05		$k_{h,z}$	1,05	
$f_{m,z,d}$	17,4	MPa	$f_{m,z,d}$	17,4	MPa
$k_m$	0,7		$k_m$	0,7	

Původní model		Nový model	
Jednotkový posudek		Jednotkový posudek	
podle 6.11	0,62	podle 6.11	0,87
podle 6.12	0,47	podle 6.12	0,61

## POSUDEK STABILITY

### Zatížení tlakem nebo kombinací tlaku a ohybu

Podle EN 1995-1-1 článku 6.3,2 a rovnice (6.23), (6.24)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$        $\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$

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

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

### Původní model

Parametry vzpěru	yy	zz	
Typ posuvných styčníků	neposuvné	neposuvné	
Systémová délka L	0,450	4,500	m
Součinitel vzpěru k	0,84	0,87	
Vzpěrná délka Lcr	0,376	3,928	m
Štíhlost $\lambda$	9,3	113,39	-
Poměrná štíhlost $\lambda$	0,16	1,92	-
redukční součinitel kc	1	0,24	-

$\sigma_{c,0,d}$	0,9	MPa
$\sigma_{m,y,d}$	9,6	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	1,2	MPa



### Nový model

Parametry vzpěru	yy	zz	
Typ posuvných styčníků	neposuvné	neposuvné	
Systémová délka L	4,500	4,500	m
Součinitel vzpěru k	0,84	0,87	
Vzpěrná délka Lcr	3,879	3,928	m
Štíhlost $\lambda$	110	113,39	-
Poměrná štíhlost $\lambda$	0,16	1,92	-
redukční součinitel kc	0,23	0,24	-

$\sigma_{c,0,d}$	0,5	MPa
$\sigma_{m,y,d}$	11,1	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0,2	MPa

### Původní model

Jednotkový posudek	
podle 6.23	0,68
podle 6.24	0,73

### Nový model

Jednotkový posudek	
podle 6.23	0,89
podle 6.24	0,63

## Vaznice

### Původní model

Vnitřní síly		
$N_{ed}$	-0,10	kN
$V_{y,Ed}$	-2,98	kN
$V_{z,Ed}$	-4,20	kN
$T_{ed}$	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	7,86	kNm
$M_{z,Ed}$	2,07	kNm

### Nový model

Vnitřní síly		
$N_{ed}$	-0,05	kN
$V_{y,Ed}$	-1,85	kN
$V_{z,Ed}$	-2,68	kN
$T_{ed}$	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	6,41	kNm
$M_{z,Ed}$	2,04	kNm

Kritický posudek je v místě  
14,000 m.

Kritický posudek je v místě  
14,000 m.

## POSUDEK ŘEZ

### Ohyb

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,y,d}$  a  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám  
 $f_{m,y,d}$  a  $f_{m,z,d}$  jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu

Původní model			Nový model		
$\sigma_{m,y,d}$	10,4	MPa	$\sigma_{m,y,d}$	7,5	MPa
$k_{h,y}$	1		$k_{h,y}$	1	
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa	$f_{m,y,d}$	16,6	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	3,5	MPa	$\sigma_{m,z,d}$	3,5	MPa
$k_{h,z}$	1,01		$k_{h,z}$	1,01	
$f_{m,z,d}$	16,8	MPa	$f_{m,z,d}$	16,8	MPa
$k_m$	0,7		$k_m$	0,7	

Původní model		Nový model	
Jednotkový posudek		Jednotkový posudek	
podle 6.11	0,77	podle 6.11	0,59
podle 6.12	0,65	podle 6.12	0,52

## Horní kleština

Původní model			Nový model		
Vnitřní síly			Vnitřní síly		
$N_{ed}$	-4,49	kN	$N_{ed}$	13,36	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN	$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	0,00	kN	$V_{z,Ed}$	0,00	kN
$T_{ed}$	0,00	kNm	$T_{ed}$	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	0,00	kNm	$M_{y,Ed}$	0,00	kNm
$M_{z,Ed}$	1,00	kNm	$M_{z,Ed}$	0,48	kNm

Kritický posudek je v místě  
2,997 m.

Kritický posudek je v místě  
2,997 m.

## POSUDEK ŘEZ

Tah/tlak rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

Původní model			Nový model		
$\sigma_{c,0,d}$	0,2	MPa	$\sigma_{t,0,d}$	0,7	MPa
$f_{c,0,d}$	14,5	MPa	$f_{t,0,d}$	10	MPa

Původní model		Nový model	
Jednotkový posudek		Jednotkový posudek	
podle 6.2	0,06	podle 6.1	0,07

### Kombinovaný ohyb a osový tah

Podle EN 1995-1-1 článku 6.2.3 a rovnice (6.17), (6.18)

$$\left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}\right)^2 + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

### Nový model

$f_{t,0,d}$	10	MPa
$f_{m,z,d}$	16,6	MPa
$k_m$	0,7	

Jednotkový posudek (6.19)= 0,07 + 0,00 + 0,06= 0,13

Jednotkový posudek (6.20)= 0,07 + 0,00 + 0,06= 0,13

## POSUDEK STABILITY

### Zatížení tlakem nebo kombinací tlaku a ohybu

Podle EN 1995-1-1 článku 6.3,2 a rovnice (6.23), (6.24)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

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

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

### Původní model

Parametry vzpěru	yy	zz	
Typ posuvných styčnicků	neposuvné	neposuvné	
Systémová délka L	5,994	5,994	m
Součinitel vzpěru k	1	1	
Vzpěrná délka Lcr	5,994	5,994	m
Štíhlost $\lambda$	65,39	129,76	-
Poměrná štíhlost $\lambda$	1,11	2,2	-
redukční součinitel kc	0,61	0,19	-

$\sigma_{c,0,d}$	0,2	MPa
$\sigma_{m,y,d}$	0,0	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0,9	MPa

### Původní model

Jednotkový posudek	
podle 6.23	0,08
podle 6.24	0,14

## Sloupek

### Původní model

Vnitřní síly		
$N_{ed}$	-37,54	kN
$V_{y,Ed}$	0,31	kN
$V_{z,Ed}$	-1,22	kN
$T_{ed}$	0,01	kNm
$M_{y,Ed}$	-1,22	kNm
$M_{z,Ed}$	0,26	kNm

Kritický posudek je v místě  
1,000 m.

### Nový model

Vnitřní síly		
$N_{ed}$	-50,57	kN
$V_{y,Ed}$	0,22	kN
$V_{z,Ed}$	0,00	kN
$T_{ed}$	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	0,00	kNm
$M_{z,Ed}$	0,49	kNm

Kritický posudek je v místě  
2,250 m.

## **POSUDEK ŘEZ**

### Tlak rovnoběžně s vlákny

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.4 a rovnice (6.2)

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

kde  $\sigma_{c,0,d}$  je návrhové napětí v tlaku podél vláken  
 $f_{c,0,d}$  je návrhová pevnost v tlaku podél vláken

Původní model			Nový model		
$\sigma_{c,0,d}$	1,9	MPa	$\sigma_{c,0,d}$	2,6	MPa
$f_{c,0,d}$	14,5	MPa	$f_{c,0,d}$	14,5	MPa

3D model		2D model	
Jednotkový posudek		Jednotkový posudek	
podle 6.2	0,13	podle 6.11	0,18

### Ohyb

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde  $\sigma_{m,y,d}$  a  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám

$f_{m,y,d}$  a  $f_{m,z,d}$  jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu

Původní model			Nový model		
$\sigma_{m,y,d}$	2,7	MPa	$\sigma_{m,y,d}$	0	MPa
$k_{h,y}$	1,01		$k_{h,y}$	1	
$f_{m,y,d}$	16,8	MPa	$f_{m,y,d}$	16,8	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0,6	MPa	$\sigma_{m,z,d}$	1,1	MPa
$k_{h,z}$	1,01		$k_{h,z}$	1,01	
$f_{m,z,d}$	16,8	MPa	$f_{m,z,d}$	16,8	MPa
$k_m$	0,7		$k_m$	0,7	

Původní model		Nový model	
Jednotkový posudek		Jednotkový posudek	
podle 6.11	0,18	podle 6.11	0,04
podle 6.12	0,15	podle 6.12	0,06

## POSUDEK STABILITY

Zatížení tlakem nebo kombinací tlaku a ohybu

Podle EN 1995-1-1 článku 6.3,2 a rovnice (6.23), (6.24)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

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

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

#### Původní model

Parametry vzpěru	yy	zz	
Typ posuvných styčnicků	neposuvné	neposuvné	
Systémová délka L	2,100	2,250	m
Součinitel vzpěru k	0,83	0,8	
Vzpěrná délka Lcr	1,739	1,798	m
Štíhlost $\lambda$	43,03	44,49	-
Poměrná štíhlost $\lambda$	0,73	0,75	-
redukční součinitel kc	0,86	0,85	-

$\sigma_{c,0,d}$	1,9	MPa
$\sigma_{m,y,d}$	2,7	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0,6	MPa

#### Nový model

Parametry vzpěru	yy	zz	
Typ posuvných styčnicků	neposuvné	neposuvné	
Systémová délka L	3,100	2,250	m
Součinitel vzpěru k	1	0,85	
Vzpěrná délka Lcr	3,1	1,905	m
Štíhlost $\lambda$	76,7	47,14	-
Poměrná štíhlost $\lambda$	1,3	0,8	-
redukční součinitel kc	0,48	0,83	-

$\sigma_{c,0,d}$	2,6	MPa
$\sigma_{m,y,d}$	0,0	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	1,1	MPa

Původní model

Jednotkový posudek	
podle 6.23	0,33
podle 6.24	0,3

Nový model

Jednotkový posudek	
podle 6.23	0,41
podle 6.24	0,28

## Pásek

3D model

Vnitřní síly		
$N_{ed}$	-27,03	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	-0,01	kN
$T_{ed}$	0,03	kNm
$M_{y,Ed}$	0,01	kNm
$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

2D model

Vnitřní síly		
$N_{ed}$	-31,91	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	0,01	kN
$T_{ed}$	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	0,01	kNm
$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

Kritický posudek je v místě  
0,721 m.

Kritický posudek je v místě  
0,481 m.

## **POSUDEK ŘEZ**

Tlak rovnoběžně s vlákny

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.4 a rovnice (6.2)

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

kde  $\sigma_{c,0,d}$  je návrhové napětí v tlaku podél vláken  
 $f_{c,0,d}$  je návrhová pevnost v tlaku podél vláken

3D model

$\sigma_{c,0,d}$	2,3	MPa
$f_{c,0,d}$	14,5	MPa

2D model

$\sigma_{c,0,d}$	2,7	MPa
$f_{c,0,d}$	14,5	MPa

3D model

Jednotkový posudek	
podle 6.2	0,15

2D model

Jednotkový posudek	
podle 6.11	0,18

## POSUDEK STABILITY

### Zatížení tlakem nebo kombinací tlaku a ohybu

Podle EN 1995-1-1 článku 6.3,2 a rovnice (6.23), (6.24)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

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

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

### Původní model

Parametry vzpěru	yy	zz	
Typ posuvných styčníků	neposuvné	neposuvné	
Systémová délka L	1,202	1,202	m
Součinitel vzpěru k	1	1	
Vzpěrná délka Lcr	1,202	1,202	m
Štíhlost $\lambda$	34,7	41,64	-
Poměrná štíhlost $\lambda$	0,59	0,71	-
redukční součinitel kc	0,92	0,87	-

$\sigma_{c,0,d}$	2,3	MPa
$\sigma_{m,y,d}$	0,0	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0,0	MPa



Nový model

Parametry vzpěru	yy	zz	
Typ posuvných styčnicků	neposuvné	neposuvné	
Systémová délka L	1,202	1,202	m
Součinitel vzpěru k	1	1	
Vzpěrná délka Lcr	1,202	1,202	m
Štíhlost $\lambda$	34,7	41,64	-
Poměrná štíhlost $\lambda$	0,59	0,71	-
redukční součinitel kc	0,92	0,87	-

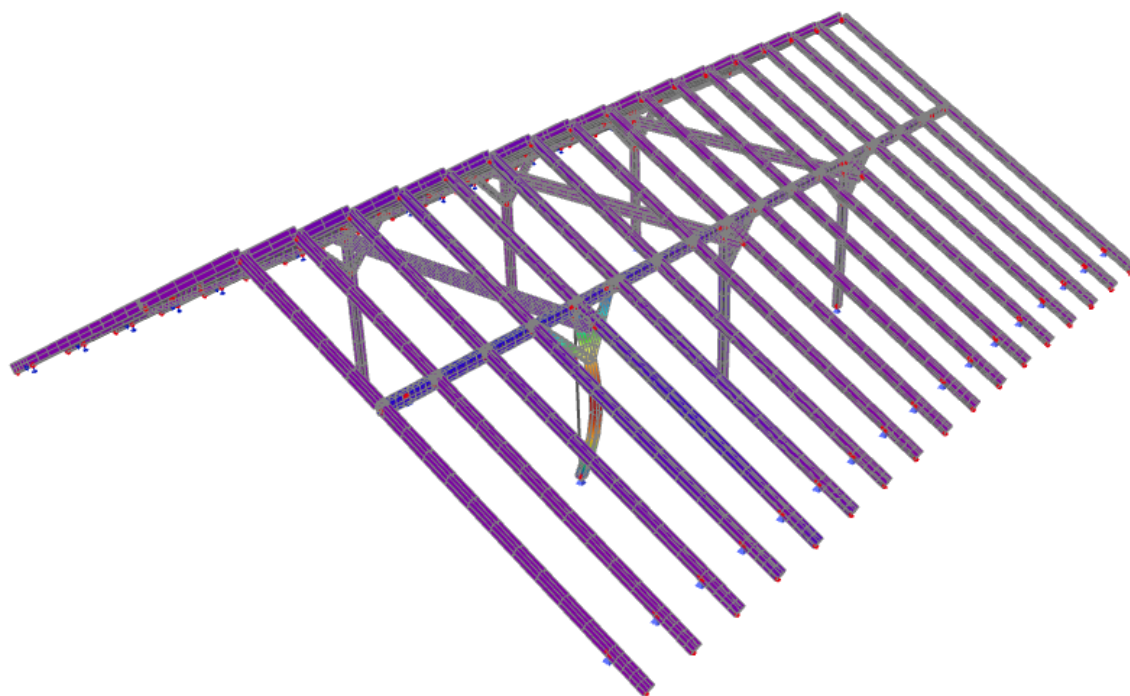
$\sigma_{c,0,d}$	2,7	MPa
$\sigma_{m,y,d}$	0,0	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	0,0	MPa

Původní model

Jednotkový posudek	
podle 6.23	0,17
podle 6.24	0,18

Nový model

Jednotkový posudek	
podle 6.23	0,2
podle 6.24	0,21



Obr. 35 Lineární stabilita - součinitel kritického zatížení – 4,03

## **Souhrn:**

Odstranění dolních kleštín a vazného trámu má vliv na krokev v plné vazbě i jalové vazbě. Bylo zjištěno zvětšení momentu v místě podepření vaznici z původních -3,78 kNm na -5,75 kNm u krokve v plné vazbě a z -3,24 na -4,33 u krokve v jalové vazbě.

Odstranění dolních kleštín ovlivňuje dle výpočetního modelu chování horních kleštín. Ty jsou oproti předchozímu modelu nyní namáhány na tah. Pro celkové posouzení kleštín to ovšem nemá zásadní vliv.

Dále se zvýšilo normálové napětí ve sloupku a zvětšila se vzpěrná délka. Na druhou stranu sloupek nyní není namáhán ohybem, který způsobovaly dolní kleštiny.

Maximální ohybový moment působící v poli vaznice se zmenšil. Po odstranění vazného trámu nedochází k jeho průhybu, posunutí sloupku a tím k průhybu samotné vaznice, což mělo za následek další napětí ve vaznici.

Maximální reakce v místě pozednice se také zvětšila.

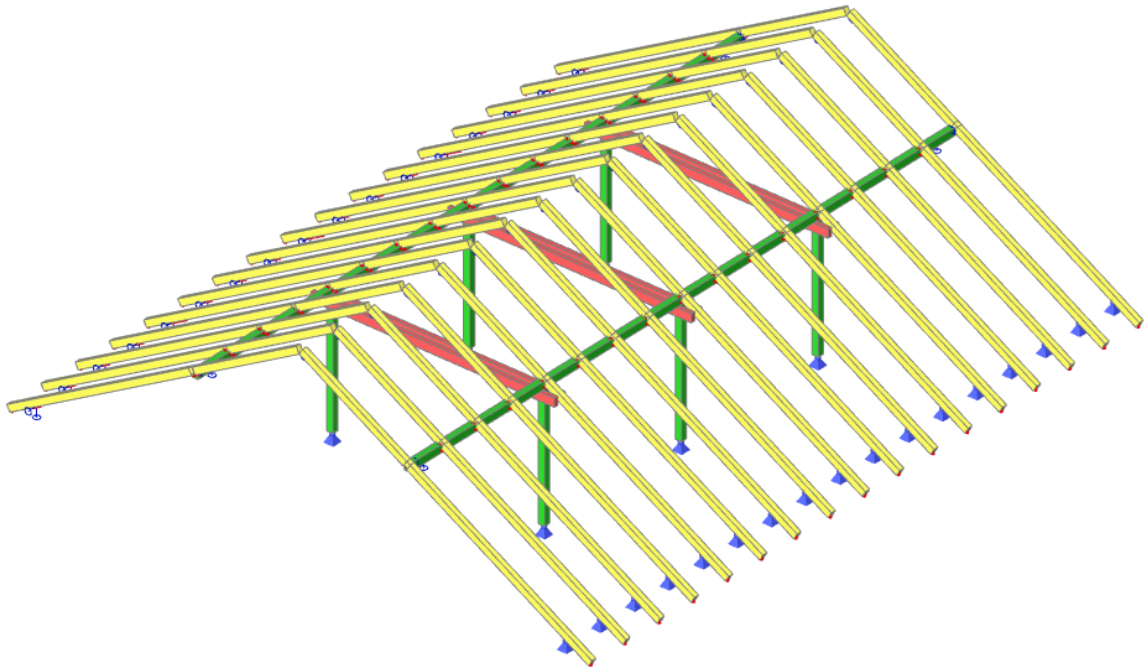
Původní model	Nový model
$R_x = 9,09 \text{ kN}$	$R_x = 11,00 \text{ kN}$

Dále je nutno přenést bodové zatížení od sloupků. To bylo přenášeno přes vazný trám do nosných svislých konstrukcí. Ve starších zástavbách často stropní konstrukci tvoří dřevěný trámový strop, který není na takové bodové zatížení dimenzovaný.

Svislé bodové zatížení od sloupků
$R_z = 50,81 \text{ kN}$

Lineární stabilita celé konstrukce se zhoršila z původních 11,23 na 4,03. Ztráta stability celé konstrukce dochází vybočením sloupku.

## 10.2. Odstranění pásků

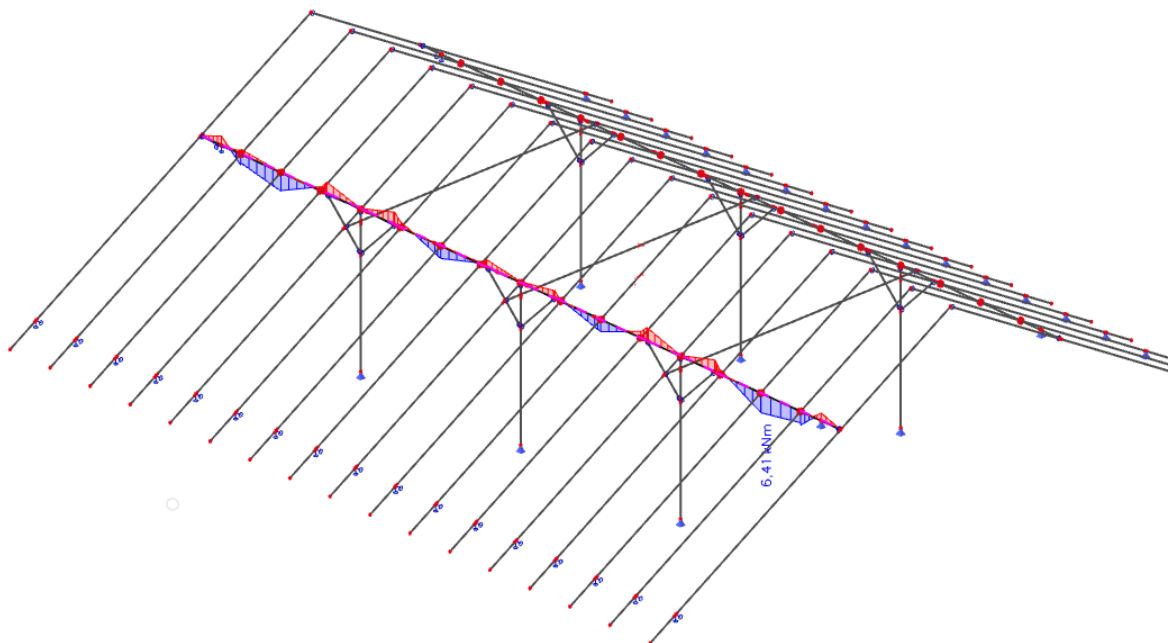


Obr. 36 Vizualizace modelu bez dolních kleštín, vazného trámu a pásků

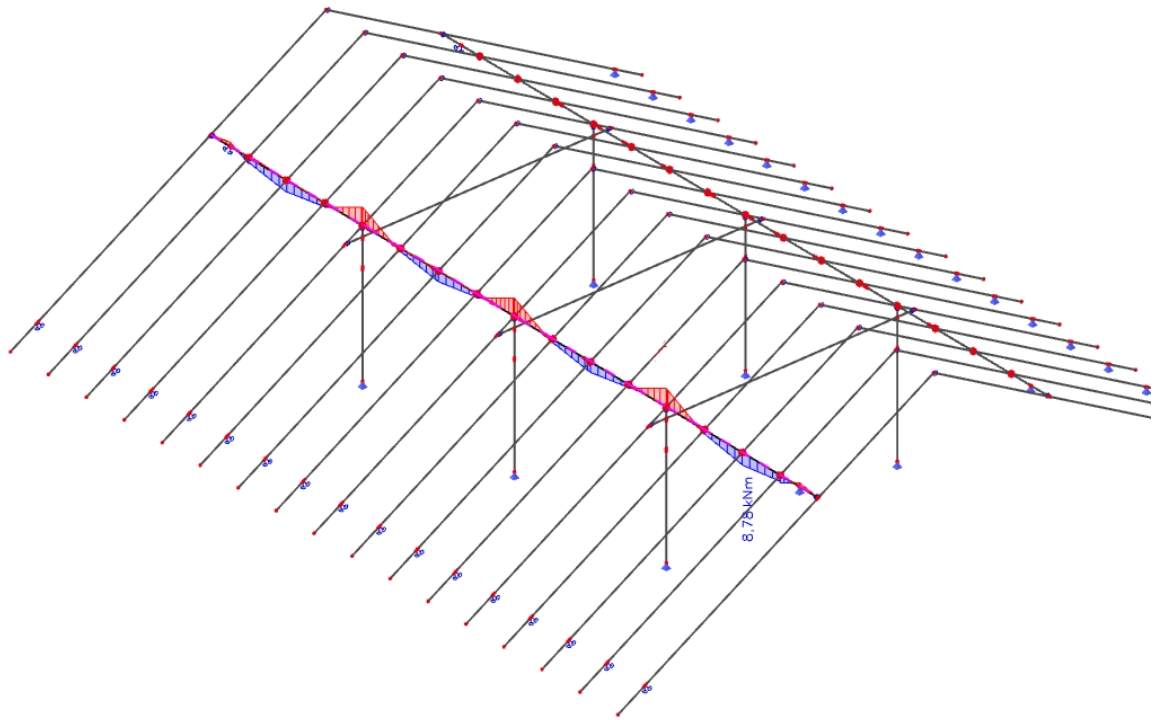
Pásky ztužují konstrukci v podélném směru a zároveň zkracují rozpětí vaznice. Po odstranění pásky dojde ke zvýšení kladného momentu v poli.

Původní model	Nový model
$M_y = 6,41 \text{ kNm}$	$M_y = 8,78 \text{ kNm}$

Posouzení



Obr. 37 Model s pásky - ohybový moment v poli vaznice 6,41 kNm



Obr. 38 Model bez pásků - ohybový moment v poli vaznice 8,78 kNm

### Ohybové namáhání

Podle EN 1995-1-1 článku 6.1.6 a rovnice (6.11), (6.12)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

S pásky

$\sigma_{m,y,d}$	9,04	MPa
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	2,74	MPa
$f_{m,z,d}$	16,6	MPa
$k_m$	0,7	

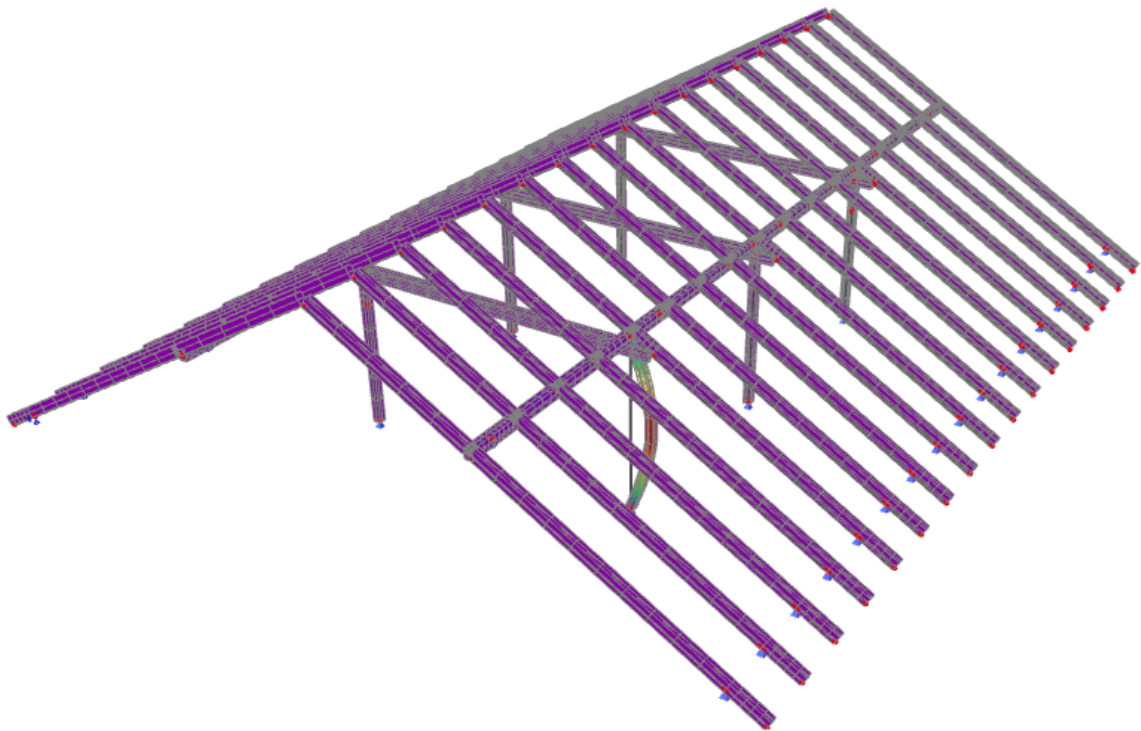
Bez pásků

$\sigma_{m,y,d}$	12,4	MPa
$f_{m,y,d}$	16,6	MPa
$\sigma_{m,z,d}$	2,9	MPa
$f_{m,z,d}$	16,6	MPa
$k_m$	0,7	

Jednotkový posudek	
podle 6.11	0,71
podle 6.12	0,64

Jednotkový posudek	
podle 6.11	0,91
podle 6.12	0,79

Odstraněním pásky dochází o 20% většímu využití vaznice.



Obr. 39 Lineární stabilita - součinitel kritického zatížení – 4,27

Součinitel kritického zatížení je v tomto případě vyšší než v konstrukci s pásky. Ztráta stability dochází ve stejném místě a ve stejném směru. Pásky tento směr vybočení neovlivňují. Součinitel je vyšší z důvodu menší normálové síly působící ve sloupku.

## 11. Vliv sněhových oblastí na dimenzi prvků

Sníh má, zejména v horských oblastech, zásadní vliv na dimenzování krovu. Přesto, že sníh vypadá jako peří, může nabývat velkých hmotností. Zatímco čerstvý sníh se skládá jen asi ze 3 procent ze sněhových vloček, může slehlý a zejména umrzlý sníh dosahovat až poloviny váhy vody. Jak velká vrstva sněhu se na střeše udrží závisí na typu střešní krytiny a sklonu střechy.

Nejvíce jsou ohrožené střechy rovně a také přechody mezi hlavní budovou se sedlovou střechou a pultovým přístavkem. Pokud sníh roztaje a opět zmrzne, jeho hmotnost se zvyšuje až na cca 400kg/m<sup>2</sup>.

V předchozích úlohách byly prvky dimenzovány pro II. sněhovou oblast. V této úloze budu demonstrovat zvyšující se zatížení a vnitřní síly pro jednotlivé prvky ve sněhových oblastech III-VII a porovnávat s II. sněhovou oblastí.

Sněhová oblast	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Charakteristická hodnota sněhu na zemi (kPa)	0,7	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	>4,0

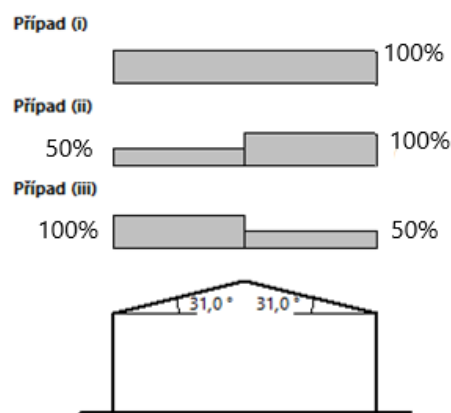
Charakteristická hodnota pro VIII. sněhovou oblast určuje příslušná pobočka Českého hydrometeorologického ústavu, v této práci ji neuvažuji.

$$S = \mu_i * C_e * C_t * S_k$$

Typ krajiny	$C_e$
otevřená	0,8
normální	1,0
chráněná	1,2

Tvarový součinitele zatížení sněhem			
Úhel sklonu střechy	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_i$	0,8	$0,8 * (60 - \alpha) / 30$	0

$\mu_i$ -tvarový součinitel	$0,8 * (60 - 31) / 30 =$	0,77
-----------------------------	--------------------------	------



Obr. 40 Kombinace zatížení sněhem

### III. sněhová oblast

$S_k$ - char. hodnota zatížení sněhem na zemi	1,50
$C_t$ - tepelný součinitel	1,00
$C_e$ - součinitel expozice	1,00
$\mu_i$ -tvarový součinitel	0,77

$$S = 1,16 \text{ kPa}$$

### IV. sněhová oblast

$S_k$ - char. hodnota zatížení sněhem na zemi	2,00
$C_t$ - tepelný součinitel	1,00
$C_e$ - součinitel expozice	1,00
$\mu_i$ -tvarový součinitel	0,77

$$S = 1,54 \text{ kPa}$$

### V. sněhová oblast

$S_k$ - char. hodnota zatížení sněhem na zemi	2,50
$C_t$ - tepelný součinitel	1,00
$C_e$ - součinitel expozice	1,00
$\mu_i$ - tvarový součinitel	0,77

$$S = 1,93 \text{ kPa}$$

### VI. sněhová oblast

$S_k$ - char. hodnota zatížení sněhem na zemi	3,00
$C_t$ - tepelný součinitel	1,00
$C_e$ - součinitel expozice	1,00
$\mu_i$ - tvarový součinitel	0,77

$$S = 2,31 \text{ kPa}$$

### VII. sněhová oblast

$S_k$ - char. hodnota zatížení sněhem na zemi	4,00
$C_t$ - tepelný součinitel	1,00
$C_e$ - součinitel expozice	1,00
$\mu_i$ - tvarový součinitel	0,77

$$S = 3,08 \text{ kPa}$$

Tab. 10 Výpočty hodnoty zatížení sněhem pro různé sněhové oblasti

## Souhrn:

Prvek	Vnitřní síly		Sněhové oblasti					
			II	III	IV	V	VI	VII
Krokev	$M_{y,ed}$	kNm	-4,32	-5,33	-6,32	-7,33	-8,32	-10,31
	$M_{y,ed}$	kNm	4,66	5,69	6,70	7,73	8,74	10,78
Vaznice	$M_{y,ed}$	kNm	7,86	9,89	11,87	13,90	15,88	19,89
	$N_{ed}$	kN	11,55	12,09	12,61	13,30	14,82	17,92
Horní kleština	$N_{ed}$	kN	-4,48	-4,48	-4,48	-4,48	-4,48	-4,48
	$N_{ed}$	kN	-41,16	-50,99	-60,61	-70,47	-80,08	-99,56
Sloupky	$N_{ed}$	kN	11,65	14,67	17,63	20,67	23,63	29,64
	$N_{ed}$	kN	-27,05	-34,24	-41,25	-48,44	-55,45	-69,65
Pásek	$M_{y,ed}$	kNm	-47,54	-59,51	-71,16	-83,13	-94,79	-118,41
	$M_{y,ed}$	kNm	39,75	48,68	57,37	66,26	74,94	92,55

Tab. 11 Vnitřní síly na prutech pro jednotlivé sněhové oblasti



Prvek - využití	Sněhové oblasti					
	II	III	IV	V	VI	VII
Krokev	82%	102%	129%	164%	208%	306%
Vaznice	77%	99%	158%	142%	163%	251%
Horní kleština	14%	14%	14%	14%	14%	15%
Sloupky	33%	39%	46%	53%	60%	74%
Dolní kleština	8%	10%	11%	13%	14%	18%
Pásek	18%	23%	29%	32%	36%	46%
Vazný trám	86%	107%	128%	150%	171%	213%

Tab. 12 Využití prutů pro jednotlivé sněhové oblasti

Prvek BxH	Sněhové oblasti			
	II	III	IV	V
krokve	120x180	120x180	140x200	140x220
vaznice	140x180	140x180	160x200	180x240
sloupek	140x140	140x140	140x140	140x140
vazný trám	200x280	220x300	240x320	260x340
horní kleština	60x160	60x160	60x160	60x160
dolní kleština	60x160	60x160	60x160	60x160
pásek	100x120	100x120	100x120	100x120
Celkový objem [m <sup>3</sup> ]	10,31	10,7	13,22	14,71

Tab. 13 Návrh průřezů pro jednotlivé sněhové oblasti

Vnitřní síly na konstrukci byly porovnány pro jednotlivé sněhové oblasti. Pro II. sněhovou oblast je konstrukce vyhovující. Pro III. sněhovou oblast je nutné zvýšit průřez vazného trámu. Zbylé prvky jsou stále vyhovující.

Konstrukce se zdá být pro IV a větší sněhovou oblast jako nevyhovující, průřezy krokve, vaznice a vazného trámu je nutno zvětšit. Při zvětšení průřezu celkový objem dřeva potom naroste o 20%.

Při návrhu konstrukce v V. a vyšší sněhové oblasti je nutno výrazně zvětšit průřezy prutů. Konstrukce je pro takto sněhově zatížené oblasti nevhodná. Pro horské oblasti je doporučeno navrhovat vyšší sklon střešních rovin. Dále by bylo vhodné zmenšit zatěžovací šířky, rozpětí krovu, popřípadě přidat další nosné prvky.

*Pozn. Prvky jsou dimenzovány na maximální využití 85%.*



## **Závěr**

Hlavním předmětem této diplomové práce bylo najít vhodný výpočtový model, analyzovat vnitřní síly a posoudit prvky vaznicové soustavy dřevěného krovu na 3D a 2D modelu dle empirické tabulky. Tyto dva modely byly mezi sebou porovnány.

Dále byla provedena optimalizace prutů a vyhodnocení konstrukce s novými průřezy. Bylo porovnáno využití nových průřezů, deformace celé konstrukce, lineární stabilita a celkový objem dřeva.

V další úloze byla provedena demonstrace rekonstrukce vaznicové soustavy, kdy došlo k odstranění některých prvků a posouzení vlivu na chování celé konstrukce. Dále konstrukce byla posouzena v 6 sněhových oblastí. Na závěr bylo provedeno posouzení 2D modelu pomocí pravděpodobnostní metody SBRA.

Modelováním 3D modelu nebylo oproti 2D modelu zjištěno výrazně lepších výsledků, ovšem s ohledem na posouzení prvků ve více směrech se zdají být věrohodnější.

Při odstranění některých prvků vaznicové soustavy byl zjištěn nárůst vnitřních sil na zbývajících prvcích a zvýšení vodorovné reakce v místě pozednice. Takové zásahy jsou při rekonstrukcích často zanedbávány a může docházet k nežádoucím deformacím, které se mohou projevit na vnitřních povrchových úpravách nebo na stabilitě celého krovu.

## Seznam příloh

A - Výstup SCIA Engineer – statický výpočet 3D

B – Výstup SCIA Engineer – statický výpočet 2D

## Seznam výkresů

## Seznam použitých norem a literatury

ČSN EN 1990	Zásady navrhování konstrukcí
ČSN EN 1991-1-1:	Zatížení konstrukcí – část 1-1: Obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
ČSN EN 1991-1-3:	Zatížení konstrukcí – část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
ČSN EN 1991-1-4:	Zatížení konstrukcí – část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
ČSN EN 1995-1-1:	Navrhování dřevěných konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla – společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

[1] Lubomír Jelínek, Petr Červený. *Tesařské konstrukce*. Praha : Informační centrum ČKAIT, 2012.

[2] Wikipedia.org. [Online] [Citace: 12. 11 2019.]  
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Vik%C3%BD%C5%99>.

[3] J.Babánková, Ing. *Prezentace pro pozemní stavby*. 15. 4 2007.

## Seznam použitého softwaru

AutoCAD 2018

Microsoft Excel 2007

Microsoft Word 2007

SCIA Engineer. 19.1

## Seznam obrázku

Obr. 1 Tvary střech .....	8
Obr. 2 Návosloví střechy (1).....	9
Obr. 3 Prvky klasického krovu na stojaté stolici .....	10
Obr. 4 Schéma pro návrh krovu vaznicové soustavy v závislosti na šířce budovy (3) .....	10
Obr. 5 Kotvení pozednice pomocí páskové oceli .....	11
Obr. 6 Kotvení do železobetonového věnce .....	11
Obr. 7 Uložení vazného trámu (1) .....	11
Obr. 8 Spojení kleštin, sloupku, vaznice, krokve a vzpěry (1).....	12
Obr. 9 Vzpěry (1).....	12
Obr. 10 Prostorová skladba klasického krovu (1).....	13
Obr. 11 Půdorys krovu + řez.....	15
Obr. 12 Mapa sněhových oblastí .....	17
Obr. 13 Mapa větrných oblastí .....	18
Obr. 14 Vizualizace modelu krovu .....	26
Obr. 15 První výpočetní model.....	27
Obr. 16 Druhý výpočetní model .....	27
Obr. 17 Třetí výpočetní model.....	28
Obr. 18 Čtvrtý výpočetní model .....	28
Obr. 19 Detail osedlání krokve .....	30
Obr. 20 Detail osedlání krokve .....	30
Obr. 21 Výpočetní model osedlání krokve .....	31
Obr. 22 Detail připojení krokví ve vrcholu (1).....	31
Obr. 23 Výpočetní model připojení krokví ve vrcholu.....	31
Obr. 24 Připojení sloupu, vazného trámu, pásku a kleštiny .....	32
Obr. 25 Výpočtový model – plná vazba .....	64
Obr. 26 Výpočtový model – jalová vazba .....	64
Obr. 27 Výpočetní model - podélný řez .....	65
Obr. 28 Deformace vazného trámu.....	65
Obr. 29 Popuštění sloupu.....	65
Obr. 30 Deformace prutů - max. 50,3 mm.....	83
Obr. 31 Lineární stabilita - součinitel kritického zatížení - 7,67 .....	83
Obr. 32 Deformace prutů - max. 26,5 mm.....	84
Obr. 33 Lineární stabilita - součinitel kritického zatížení - 11,23 .....	84
Obr. 34 Vizualizace modelu bez dolních kleštin a vazného trámu.....	85
Obr. 35 Lineární stabilita - součinitel kritického zatížení – 4,03 .....	97
Obr. 36 Vizualizace modelu bez dolních kleštin, vazného trámu a pásků .....	99
Obr. 37 Model s pásky - ohybový moment v poli vaznice 6,41 kNm.....	99
Obr. 38 Model bez pásků - ohybový moment v poli vaznice 8,78 kNm.....	100
Obr. 39 Lineární stabilita - součinitel kritického zatížení – 4,27 .....	101
Obr. 40 Kombinace zatížení sněhem .....	102

## **Seznam tabulek**

Tab. 1 Empirická tabulka pro dimenzi prvků, kde a je délka prvků od podpory k podpoře v metrech.....	13
Tab. 2 Empirická tabulka pro dimenzi prvků .....	14
Tab. 3 Tabulka materiálu .....	14
Tab. 4 Tabulka zatěžovacích stavů .....	21
Tab. 5 Tabulka skupin zatížení .....	21
Tab. 6 Tabulka kombinace zatížení .....	26
Tab. 7 Srovnání čtyř vypočetních modelů .....	29
Tab. 8 Optimalizace průřezu.....	82
Tab. 9 Srovnání objemu dřeva před a po optimalizaci .....	82
Tab. 10 Výpočty hodnoty zatížení sněhem pro různé sněhové oblasti.....	103
Tab. 11 Vnitřní síly na prutech pro jednotlivé sněhové oblasti .....	103
Tab. 12 Využití prutů pro jednotlivé sněhové oblasti.....	104
Tab. 13 Návrh průřezů pro jednotlivé sněhové oblasti.....	104