



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

STATICKÁ ANALÝZA ZASTŘEŠENÍ KONSTRUKCE

STATIC ANALYSIS OF THE ROOF STRUCTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Sabina Meissnerová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ZBYNĚK VLK, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608R001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav stavební mechaniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Sabina Meissnerová
Název	Statická analýza zastřešení konstrukce
Vedoucí práce	Ing. Zbyněk Vlk, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Norma : ČSN EN 1991-1 - Eurokód 1

Bittnar Z., Šejnoha J. - Numerické metody mechaniky 1,2

Kadlčák J., Kytýr J. : Statika stavebních konstrukcí I a II

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je statická analýza zastřešení mateřské školky. Bude proveden prostorový výpočtový model vybrané konstrukce, použité zatížení bude odpovídat platným normám. Modelování konstrukce a statická analýza bude provedena ve vybraném programovém systému. Získané výsledky budou kontrolovány zjednodušeným ručním výpočtem.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Zbyněk Vlček, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá statickou analýzou zastřešení mateřské školy a porovnáním více výpočtových modelů. Model byl vytvořen podle poskytnutých podkladů v programu Dlubal RFEM 6.01. Zatížení konstrukce bylo provedeno dle platných norem. Vytvořené modely byly posouzeny na mezní stav únosnosti, u kterého byly výsledky porovnány s ručním výpočtem, a na mezní stav použitelnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dřevěná konstrukce, model, střecha, krov, zatížení, kombinace, analýza

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with analysis of roof of a nursery school and comparing few calculation models. Model was created according to provided foundations in program Dlubal RFEM 6.01. The load of the construction was created due to valid norms. Created models were evaluate to limit state of load capacity, where the results were compared with manual calculation and on limit state of usability.

KEYWORDS

Timber structure, model, roof, roof truss, load, combinations, analysis

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Sabina Meissnerová *Statická analýza zastřešení konstrukce*. Brno, 2022. 74 s., 15 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce Ing. Zbyněk Vlček, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Statická analýza zastřešení konstrukce* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27. 5. 2022

Sabina Meissnerová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Zbyňku Vlčkovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, odbornou pomoc, cenné rady a ochotu. Dále pak panu Zdeňku Fuxovi z architektonického ateliéru A800 za poskytnutí podkladů k vypracování a mé mámě za podporu a trpělivost po celou dobu studia.

Obsah

1.	Úvod	10
2.	Konstrukce.....	11
2.1.	Popis konstrukce	11
2.2.	Použité materiály a průřezy.....	12
3.	Zatěžovací stavy	13
3.1.	Stálé zatížení	13
3.1.1.	Vlastní tíha	13
3.1.2.	Ostatní stálé zatížení.....	13
3.2.	Klimatické zatížení.....	14
3.2.1.	Zatížení sněhem.....	14
3.2.2.	Zatížení větrem.....	18
3.3.	Užitné zatížení.....	25
4.	Kombinace.....	26
5.	Modely.....	28
5.1.	Osedlání krokve	28
5.2.	Model č. 1-1	29
5.3.	Model č. 1-2	31
5.4.	Model č. 2-1	32
5.5.	Model č. 2-2	34
5.6.	Model č. 3.....	36
5.7.	Porovnání	38
6.	Mezní stav únosnosti	39
6.1.	Druhy namáhání dřevěných prvků	39
6.2.	Materiálové charakteristiky.....	40
6.3.	Průřezové charakteristiky.....	41

6.4.	Posouzení	42
6.4.1.	První vazba	42
6.4.2.	Druhá vazba.....	52
7.	Mezní stav použitelnosti.....	58
7.1.	První vazba.....	58
7.2.	Druhá vazba	63
8.	Závěr.....	67
9.	Seznam použitých zdrojů	68
10.	Seznam obrázků.....	69
11.	Seznam tabulek.....	73
12.	Seznam příloh	74

1. Úvod

V mé bakalářské práci se zabývám statickou analýzou dřevěné střešní konstrukce mateřské školy. Posuzovaná mateřská škola V Zátíší se nachází v obci Dobříň. Výpočtové modely zpracuji ve studentské verzi programu Dlubal RFEM 6.01.

Zastřešení konstrukce má velmi atypický tvar, kdy se celá střecha natáčí a v druhé části se snižuje hřeben. Proto se v první části mé bakalářské práce budu zabývat konstrukčním uspořádáním zastřešení, použitým materiálem a průřezy prvků. Bude následovat výpočet jednotlivých zatížení, které mají vliv na samotnou konstrukci. Jedná se o zatížení vlastní tíhou, ostatním zatížením, sněhem, větrem a užitným zatížením. Jednotlivé výpočty budou provedeny v souladu s normou ČSN EN 1991-1. Kvůli atypickému tvaru se budou zatížení lišit v každé vazbě.

V další části se zaměřím na výpočtové modely, které budou sloužit k pochopení chování konstrukce jako celku a k porovnání řešení způsobů sedláni krokve na vaznici. Modelovány budou jak prostorové, tak i rovinné konstrukce.

Provedu posouzení na mezní stav únosnosti, kde se zaměřím na dříve vybrané vazby krovu a provedu ruční výpočty pro všechny tři varianty, které budou kontrolovány s výpočtovým programem. Nakonec provedu posouzení na mezní stav použitelnosti, kde budu posuzovat okamžitý i konečný průhyb, který souvisí s dotvarováním konstrukce a dlouhodobým působením zatížení.

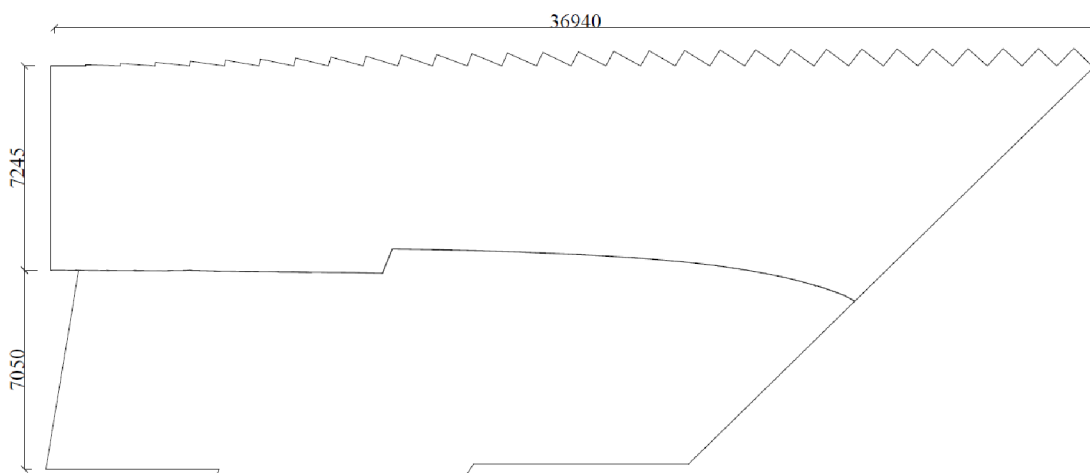
2. Konstrukce

2.1. Popis konstrukce

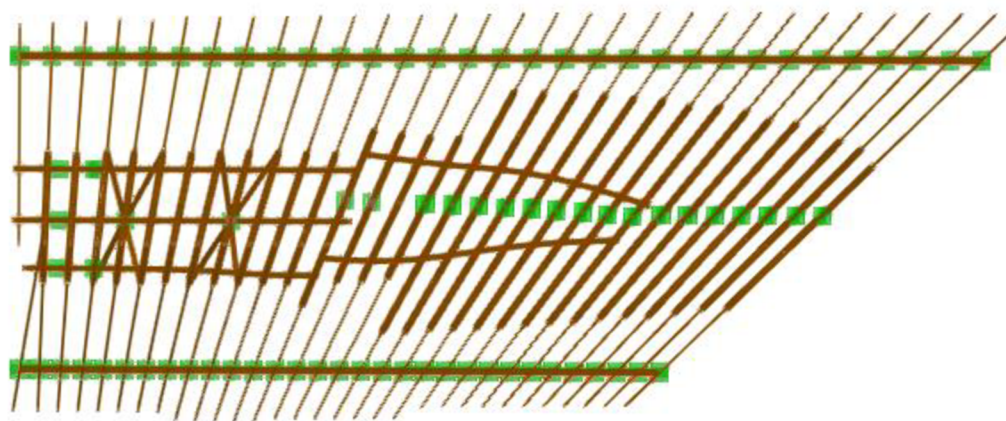
Řešeným objektem je mateřská škola V Zátiší, která se nachází v obci Dobříň v Ústeckém kraji. Z umístění stavby vyplývá, že se stavba nachází v I. sněhové oblasti a II. větrové oblasti.

Jedná se o jednopodlažní objekt s obdélníkovým půdorysem. Stavba je navržena jako zděná z keramických tvárnic Porotherm P10, na jejíž horní hraně je proveden železobetonový věnec výšky 350 mm, na který je přes lepenku kotven pozední trám. V druhé polovině budovy je střední nosná zeď, též se železobetonovým věncem, která slouží jako podpora dřevěného krovu a svými zalomeními odpovídá měnícímu se tvaru hřebene.

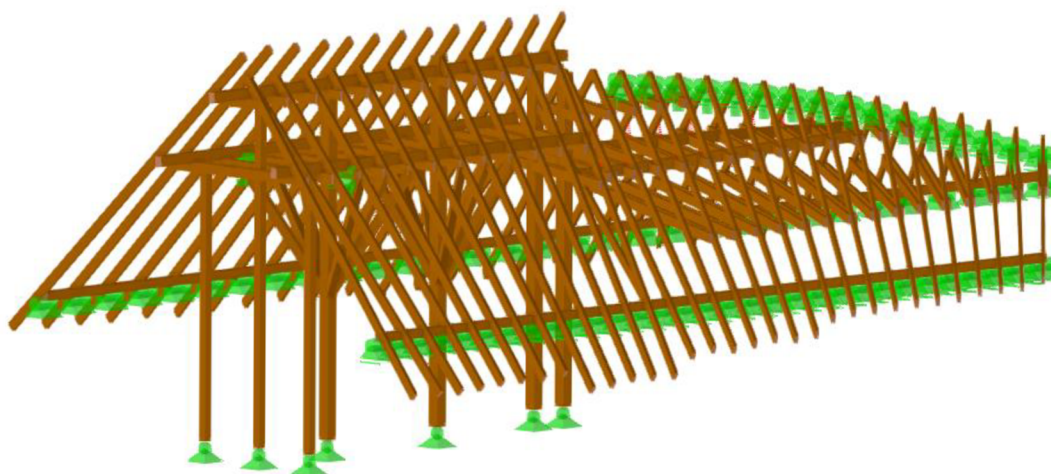
Zastřešení stavby je z většiny tvořeno atypickým dřevěným krovem a ve zbývajících částech je provedena plochá střecha tvořená dřevěnými trámy. U mnou posuzované sedlové střechy dochází po celé délce k postupnému natáčení krovu a ve druhé části i ke klesání vrcholu. Klesající část je navržena jako hambálkový krov, který je podepřen nosnou stěnou a v přední části jsou vloženy vaznice. V přední části krovu se nachází vaznicový krov s vrcholovou vaznicí, která je podepřena sloupky se vzpěrami.



Obr. 2.1 Půdorys střechy



Obr. 2.2 Model krovu, pohled shora



Obr. 2.3 Model krovu

2.2. Použité materiály a průřezy

Pro prvky konstrukce bylo použito dřevo pevnostní třídy C35.

Prvky krovu:	krokve	80/220
	kleštiny	2x60/220
	vaznice	180/240
	pozednice	200/240
	sloupky	300/300 a 180/180
	šikmé vzpěry	160/200

3. Zatěžovací stavy

Na konstrukci působí následující zatížení:

- 1) Vlastní tíha
- 2) Ostatní stálé zatížení
- 3) Zatížení sněhem
- 4) Zatížení větrem
- 5) Užitné zatížení

Osová vzdálenost krokví se po celé délce i šířce střechy mění, proto u každého zatěžovacího stavu uvedu pouze schéma na vybraných vazbách, u první vazby jsou zatěžovací stavy stejné, proto zatížení budu demonstrovat pouze na jedné variantě. Výpočty pro jednotlivé krokve budou uvedeny v příloze č. 1.

3.1. Stálé zatížení

3.1.1. Vlastní tíha

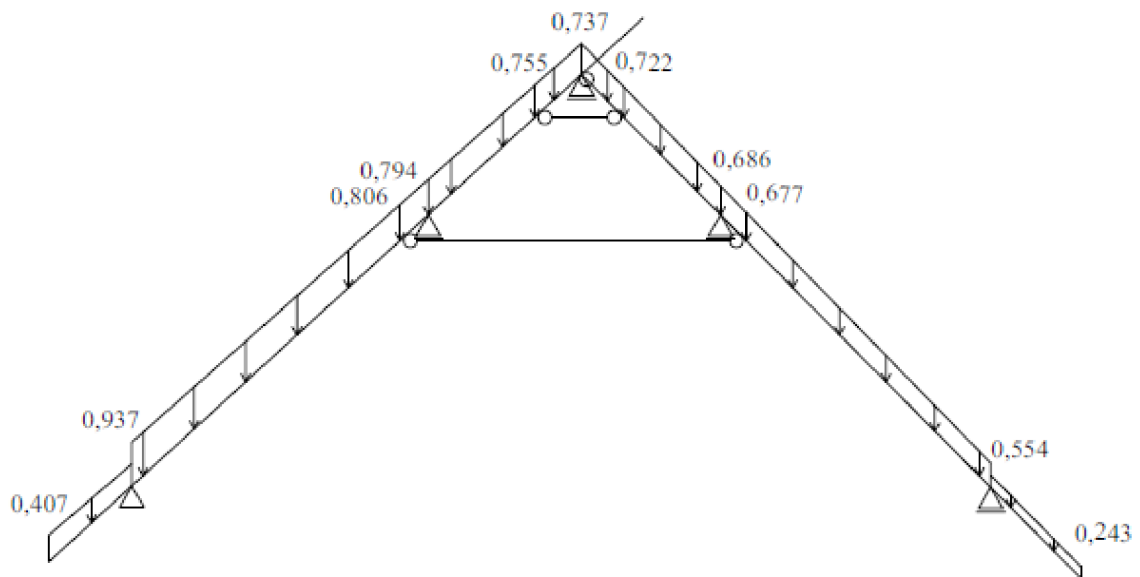
Vlastní tíha byla vygenerována automaticky programem RFEM podle modelu konstrukce.

3.1.2. Ostatní stálé zatížení

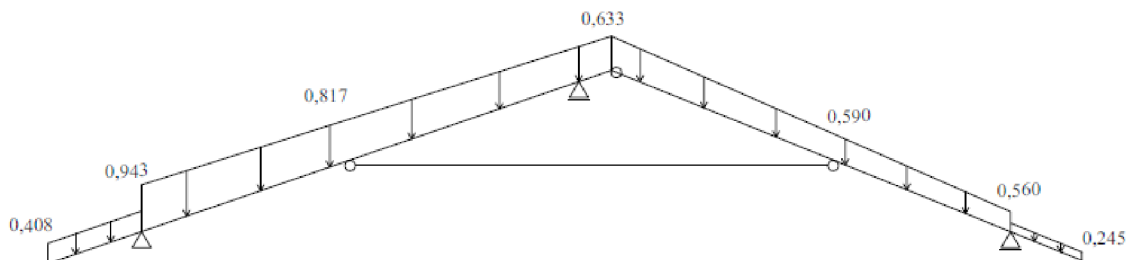
Obsahuje zatížení od nenosných částí konstrukce, která jsem brala z podkladů poskytnutých od statika.

Název	Zatížení [kN/m ²]
Laťování + krytina	0,326
Zateplení	0,2
Podhled	0,24

Laťování, krytinu a podhled jsem násobila celou zatěžovací šířkou a u tepelné izolace, která je umístěna mezi krokve, jsem ji zmenšila o šířku krokví. Na převislých koncích krokví jsem počítala pouze s laťováním a krytinou. Jednotlivé dílčí výpočty jsou rozebrány v příloze č.1



Obr. 3.1 Vazba č.1: Schéma zatížení ostatním stálým zatížením



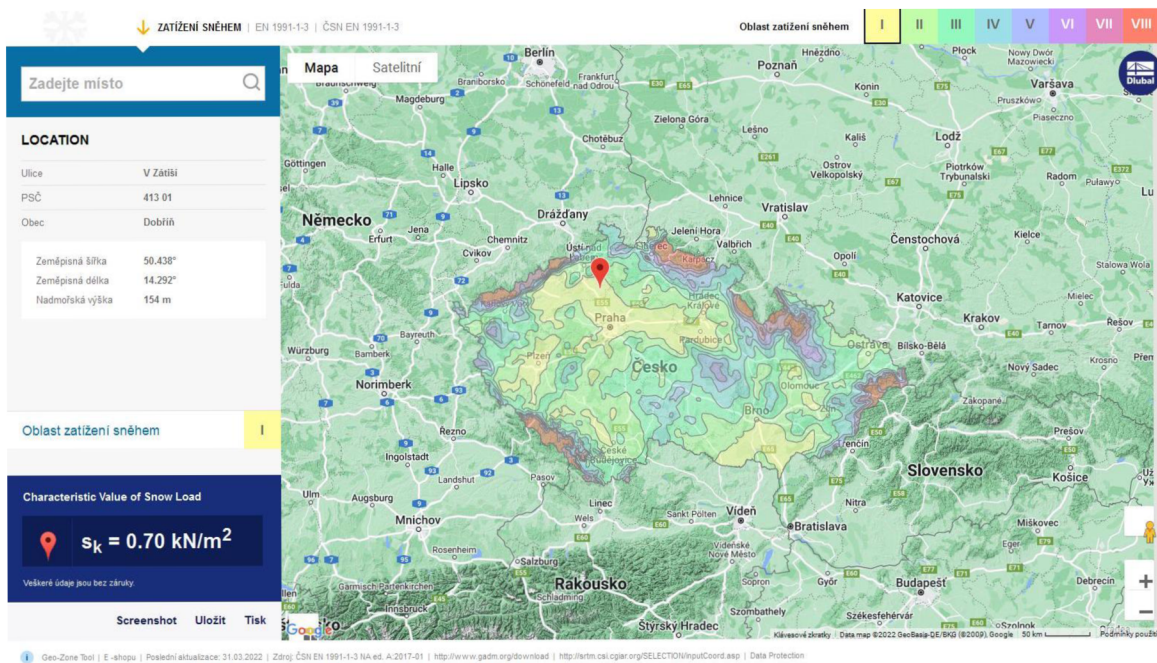
Obr. 3.2 Vazba č.2: Schéma zatížení ostatním stálým zatížením

3.2. Klimatické zatížení

3.2.1. Zatížení sněhem

Zatížení sněhem je proměnným klimatickým zatížením, tudíž závisí na umístění stavby. Posuzovaný objekt se nachází v první sněhové oblasti a krajinu uvažují jako normální. Charakteristická hodnota zatížení s_k je rovna $0,7 \text{ kN/m}^2$. Zatížení je vypracováno podle normy [1]. U zatížení sněhem uvažujeme dva druhy uspořádání:

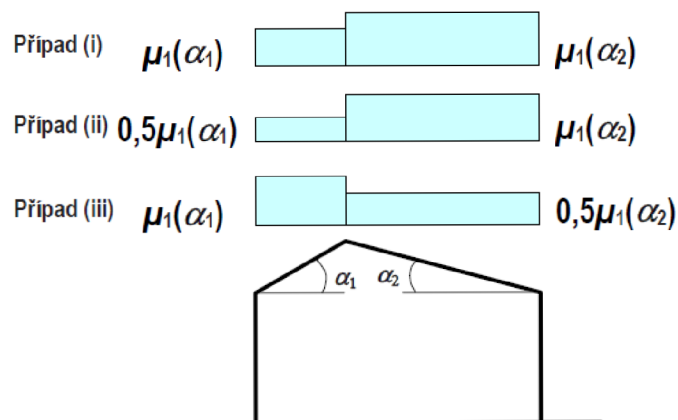
- 1) Zatížení nenavátým sněhem – plný sníh, kdy zatížení uvažujeme rovnoměrně po celé konstrukci.
- 2) Zatížení navátým sněhem – vítr přenese část sněhu z jedné části konstrukce na druhou, proto uvažujeme nerovnoměrné zatížení.



Obr. 3.3 Mapa sněhových oblastí. Zdroj: <https://www.dlupal.com/cs/reseni/online-sluzby/oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim>

Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi	$s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$
Součinitel expozice	$C_e = 1,0$
Tepelný součinitel	$C_t = 1,0$
Tvarový součinitel zatížení sněhem: $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$\mu_1 = 0,8$
$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\mu_1 = 0,8(60-\alpha)/30$
Zatížení sněhem	$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \text{ [kN/m}^2\text{]}$

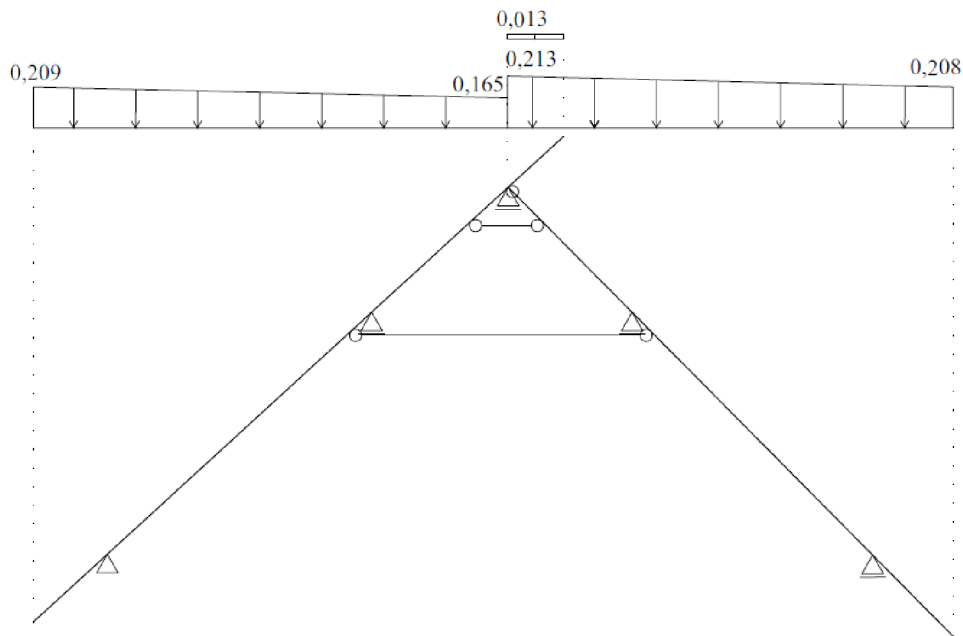
Zatížení navátým sněhem uvažují podle obrázku 3.4.



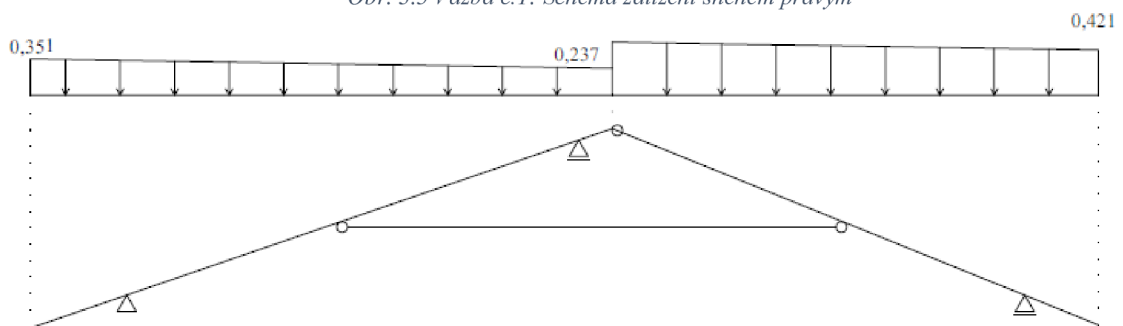
Obr. 3.4 Tvarové součinitele zatížení sněhem [1]

Z důvodu proměnného sklonu střechy a přesahu krokví je nutné vypočítat zatížení sněhem pro každou část zvlášť. Pro ukázkou uvádím zatížení pro vybrané vazby a dílčí výpočty pro jednotlivé krokve jsem shrnula do tabulky v příloze č.1.

Sníh pravý

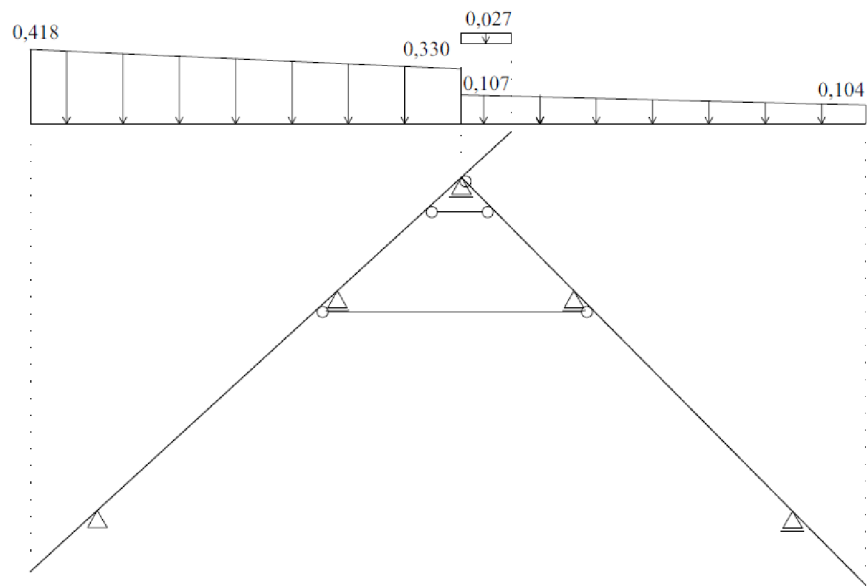


Obr. 3.5 Vazba č.1: Schéma zatížení sněhem pravým

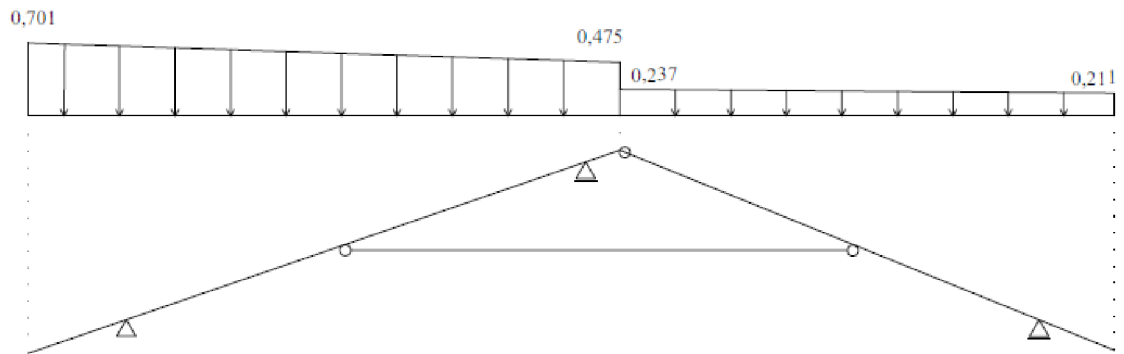


Obr. 3.6 Vazba č.2: Schéma zatížení sněhem pravým

Sníh levý

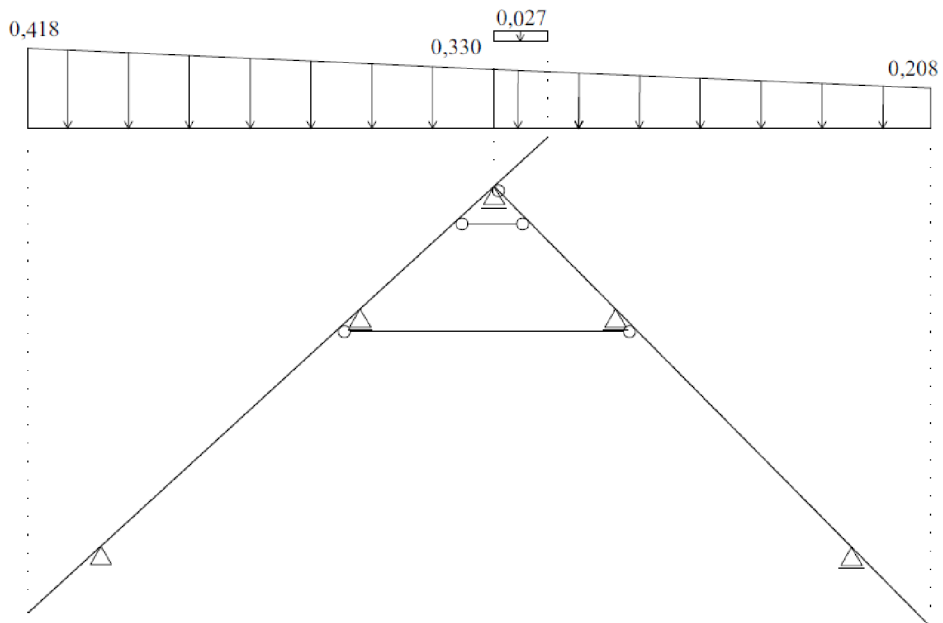


Obr. 3.7 Vazba č.1: Schéma zatížení sněhem levým

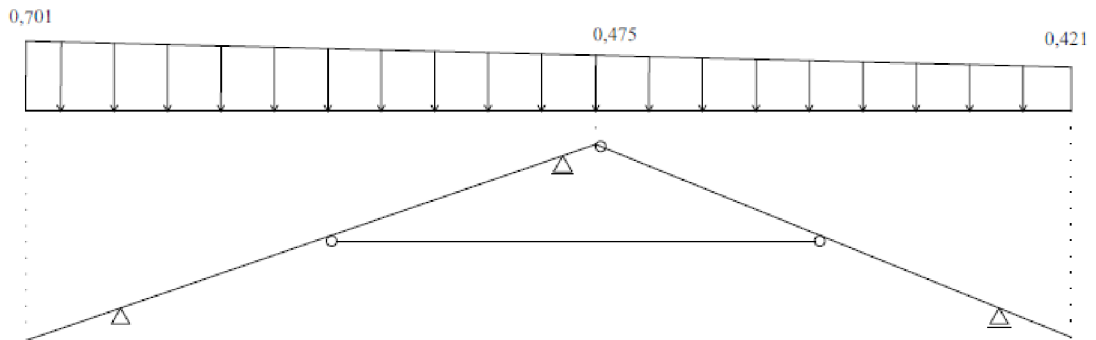


Obr. 3.8 Vazba č.2: Schéma zatížení sněhem levým

Sníh plný



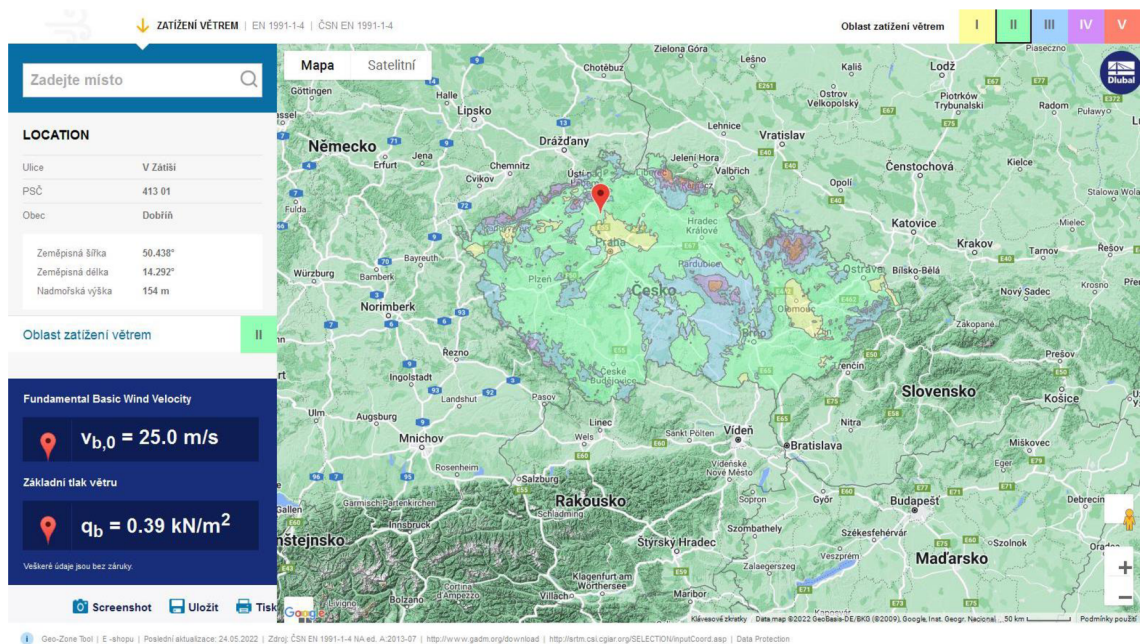
Obr. 3.9 Vazba č.1: Schéma zatížení sněhem plným



Obr. 3.10 Vazba č.2: Schéma zatížení sněhem plným

3.2.2. Zatížení větrem

Zatížení větrem patří také proměnné klimatické zatížení, které působí kolmo na konstrukci ze všech čtyř stran. Pro příčné působení uvažují u každého dva zatěžovací stavy – sání a sání + tlak. Stavba se nachází ve druhé větrné oblasti. Zatížení je vypracováno dle normy [2].



Obr. 3.11 Mapa větrných oblastí. Zdroj: <https://www.dlupal.com/cs/reseni/online-sluzby/oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim>

Výchozí základní rychlost větru

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

Součinitel směru větru

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

Součinitel ročního období

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

Parametr drsnosti terénu	$z_0 = 0,3 \text{ m}$
Minimální výška	$z_{\min} = 5 \text{ m}$
Parametr drsnosti terénu (kategorie terénu II)	$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$
Výška stavby	$z = 10,6 \text{ m}$
Součinitel ortografie	$c_0(z) = 1,0$
Měrná hmotnost vzduchu	$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
Součinitel turbulence	$k_1 = 1,0$
Základní rychlost větru	

$$v_b = c_{\text{dir}} \cdot c_{\text{season}} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

Součinitel terénu

$$k_r = 0,19 (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 (0,3/0,05)^{0,07} = 0,215$$

Součinitel drsnosti terénu

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0,215 \cdot \ln(10,6/0,3) = 0,766$$

Charakteristická střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,766 \cdot 1,0 \cdot 25 = 19,161 \text{ m/s}$$

Intenzita turbulence

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0 \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{10,6}{0,3}\right)} = 0,281$$

Maximální dynamický tlak

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 \cdot 0,281] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 19,161^2 = 0,681 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Výpočet rozměrů pro zatížení větrem pro $\theta = 0^\circ$:

$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{37,1; 2 \cdot 10,6\} = \min\{37,1; 21,2\} = 21,2 \text{ m}$$

$$e/4 = 21,2/4 = 5,3 \text{ m}$$

$$e/10 = 21,2/10 = 2,12 \text{ m}$$

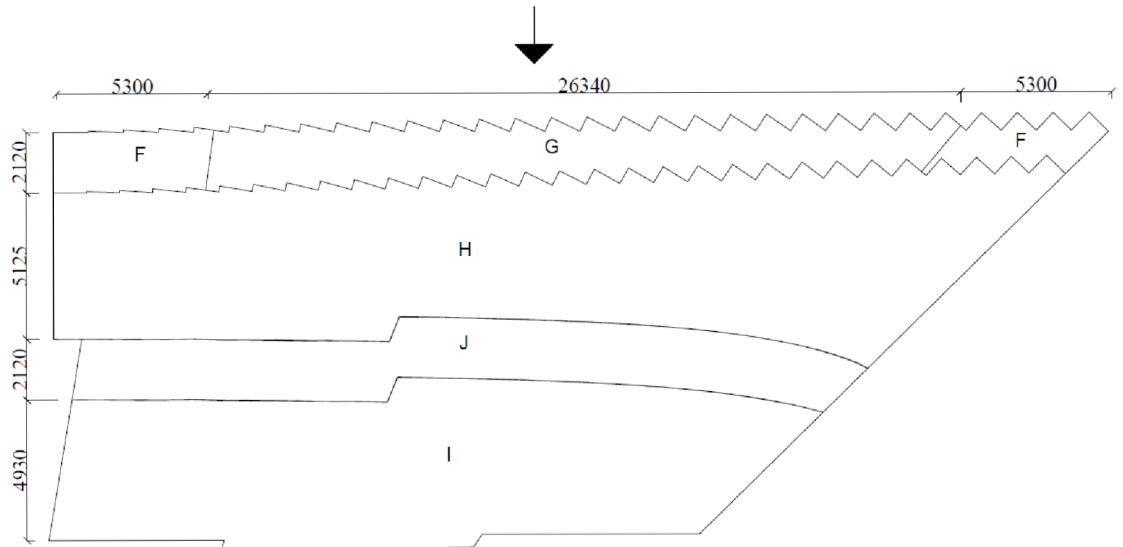
Výpočet rozměrů pro zatížení větrem pro $\theta = 90^\circ$:

$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{15,3; 2 \cdot 10,6\} = \min\{15,3; 21,2\} = 15,3 \text{ m}$$

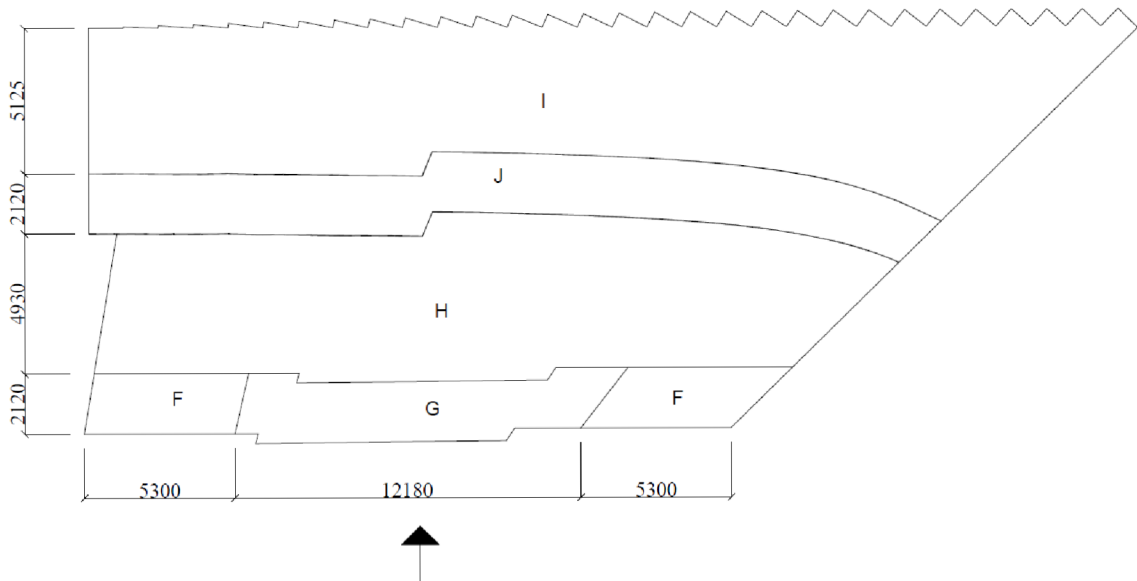
$$e/2 = 15,3/2 = 7,65 \text{ m}$$

$$e/4 = 15,3/4 = 3,825 \text{ m}$$

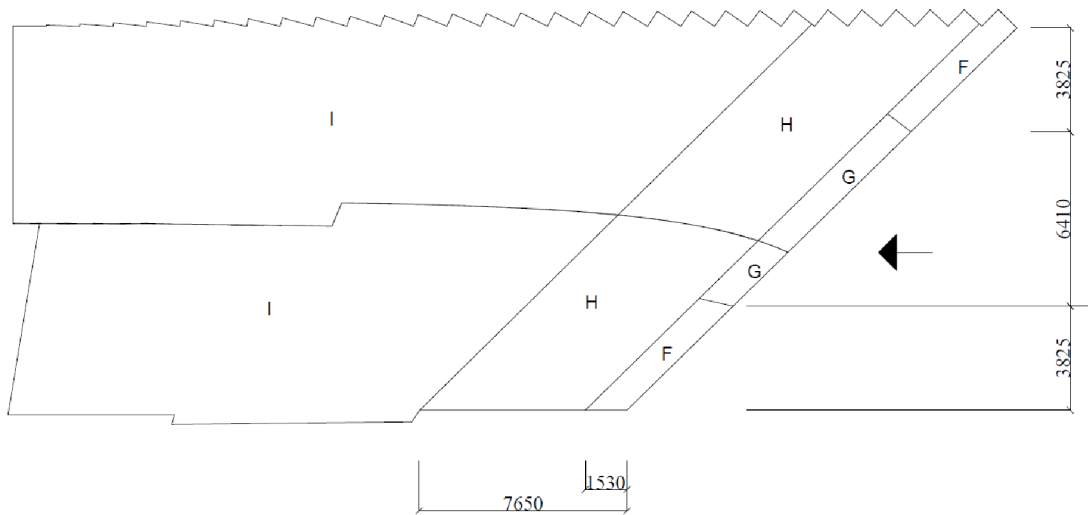
$$e/10 = 15,3/10 = 1,53 \text{ m}$$



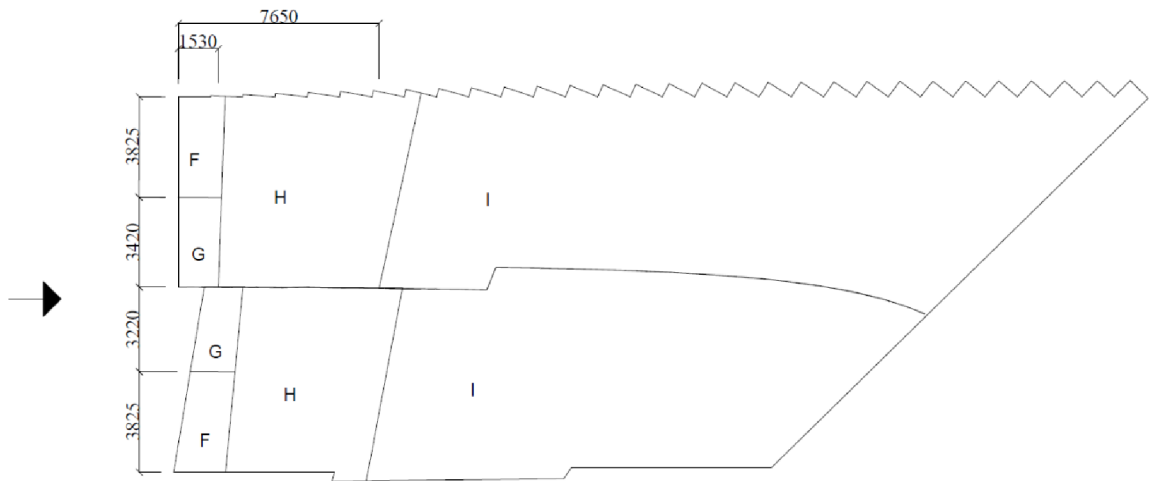
Obr. 3.12 Větr příčný levý – rozdělení na oblasti



Obr. 3.13 Větr příčný pravý – rozdělení na oblasti



Obr. 3.14 Vitr podélný levý – rozdělení na oblasti

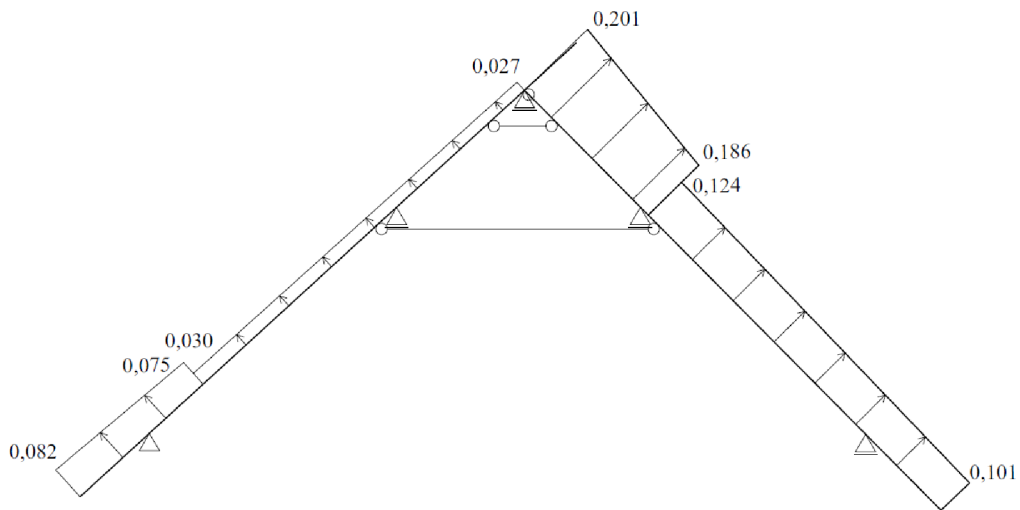


Obr. 3.15 Vitr podélný pravý – rozdělení na oblasti

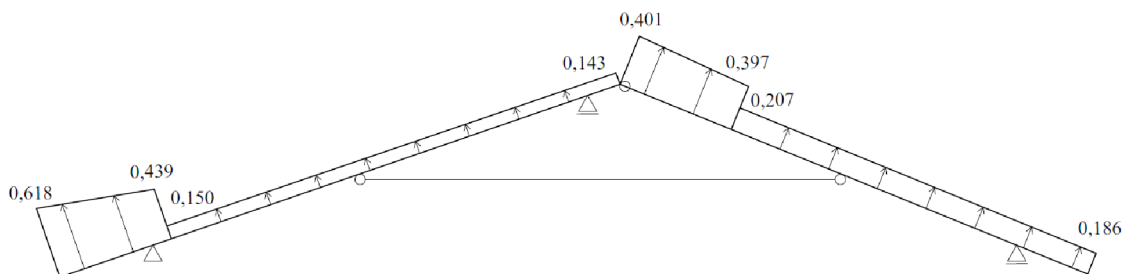
Výpočet tlaku větru v oblastech:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe},$$

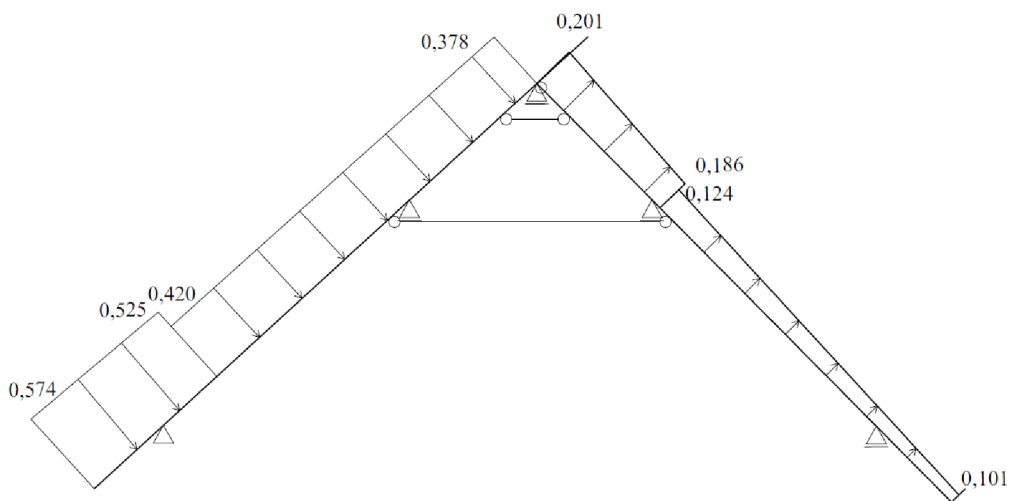
kde c_{pe} je součinitel vnějšího tlaku uvedený v normě. Hodnoty jsou stanoveny pro určité sklony střech, tudíž budu jednotlivé sklony interpolovat. Jednotlivé výpočty jsou opět uvedeny v příloze č.1.



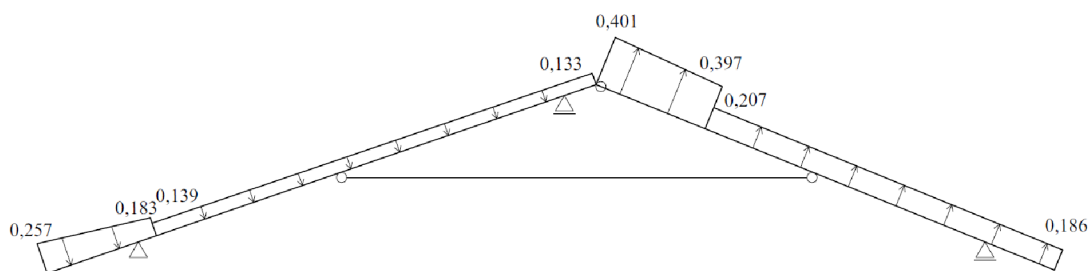
Obr. 3.16 Vazba č.1: Schéma zatížení větrem příčným levým – sání



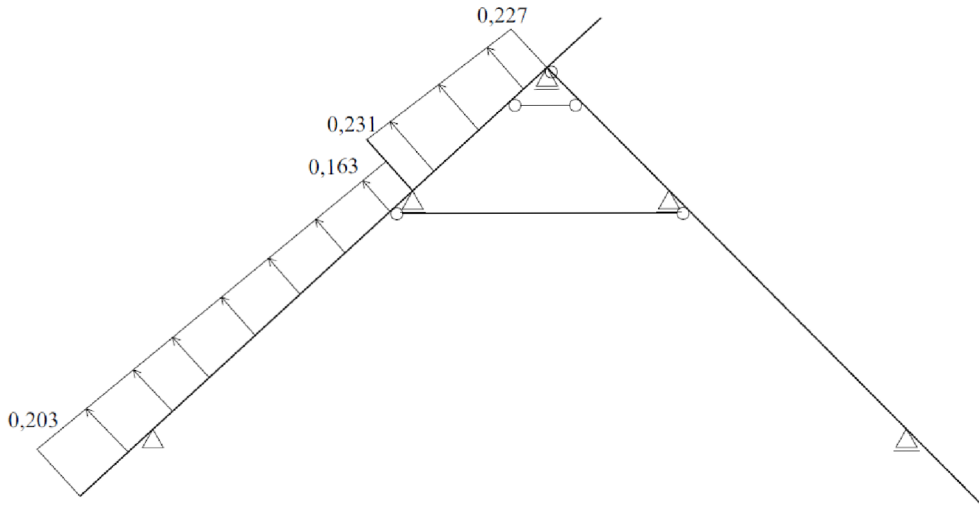
Obr. 3.17 Vazba č.2: Schéma zatížení větrem příčným levým – sání



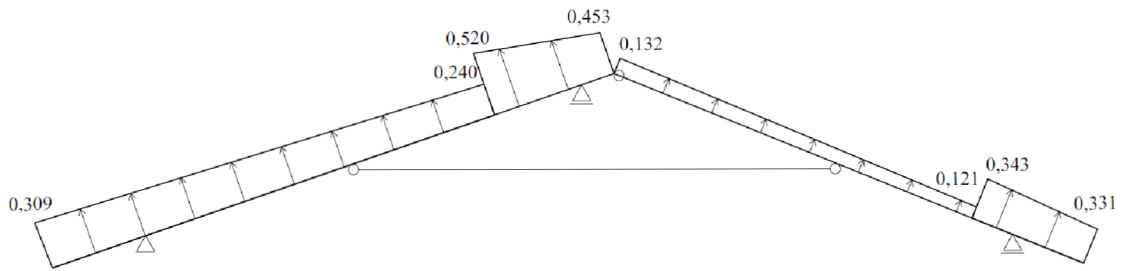
Obr. 3.18 Vazba č.1: Schéma zatížení větrem příčným levým – sání + tlak



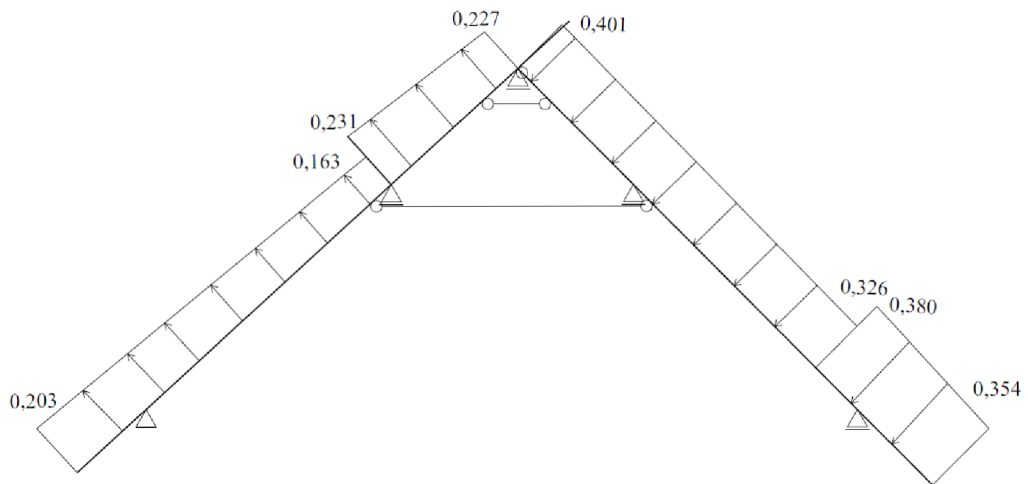
Obr. 3.19 Vazba č.2: Schéma zatížení větrem příčným levým – sání + tlak



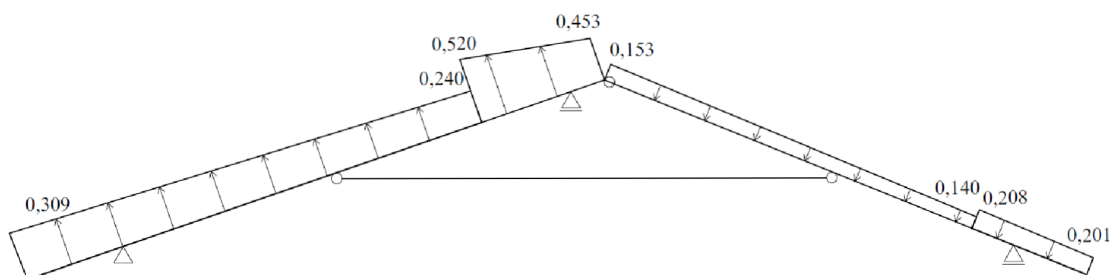
Obr. 3.20 Vazba č.1: Schéma zatížení větrem příčným pravým – sání



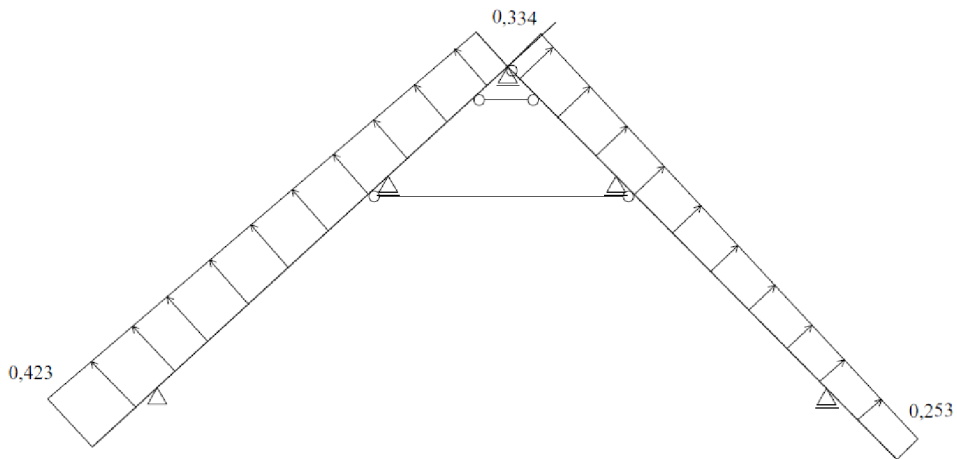
Obr. 3.21 Vazba č.2: Schéma zatížení větrem příčným pravým – sání



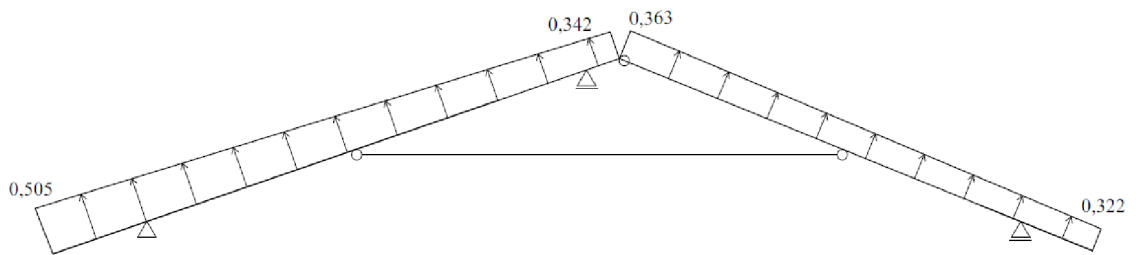
Obr. 3.22 Vazba č.1: Schéma zatížení větrem příčným pravým – sání + tlak



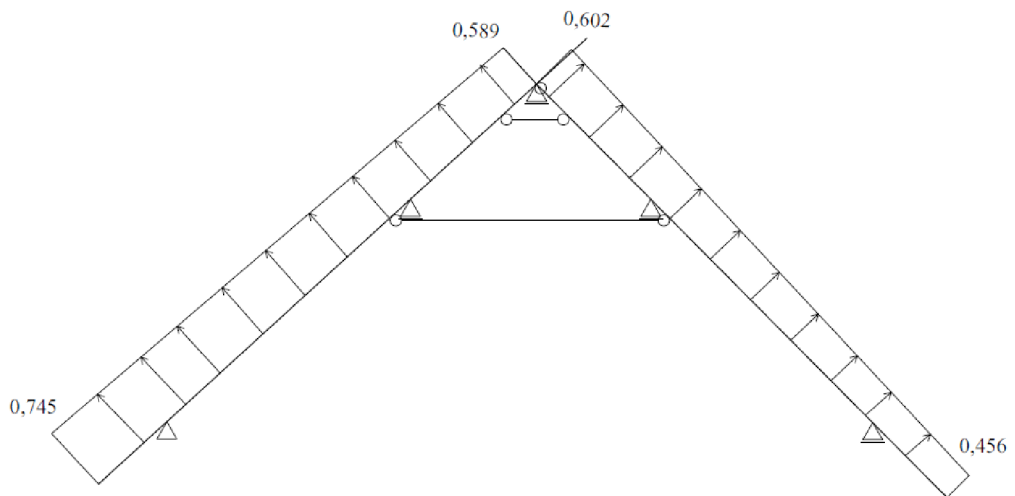
Obr. 3.23 Vazba č.2: Schéma zatížení větrem příčným pravým – sání + tlak



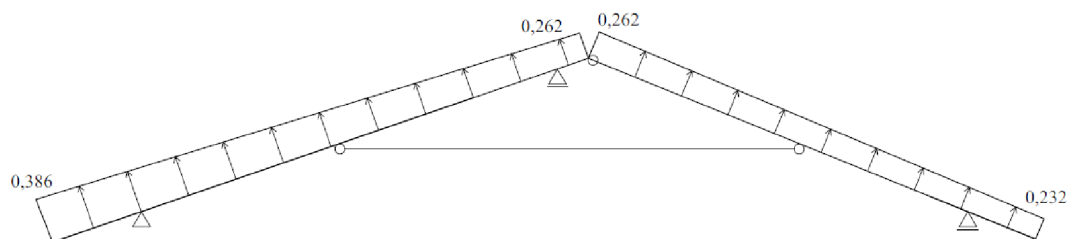
Obr. 3.24 Vazba č.1: Schéma zatížení větrem podélným levým



Obr. 3.25 Vazba č.2: Schéma zatížení větrem podélným levým



Obr. 3.26 Vazba č.1: Schéma zatížení větrem podélným pravým



Obr. 3.27 Vazba č.2: Schéma zatížení větrem podélným pravým

Další zatížení větrem, které může nastat je na štítovou stěnu. Toto zatížení má vliv na zatížení konstrukce přesahující přes stěnu. Účinky od tohoto zatížení jsou rozděleny do oblasti D (tlak) a E (sání). Zatížení na stěny odpovídá zatížení vystupujících krokví. Součinitel c_{pe} je u tohoto zatížení dán tabulkou 1.

Tabulka 1 Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku

Oblast	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-1,4	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

výška budovy $h = 10,6$ m; hloubka budovy $d = 37,1$ m

$h/d = 10,6/37,1 = 0,287$ m

$w_{eD} = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,681 \cdot 0,8 = 0,545$ kN/m²

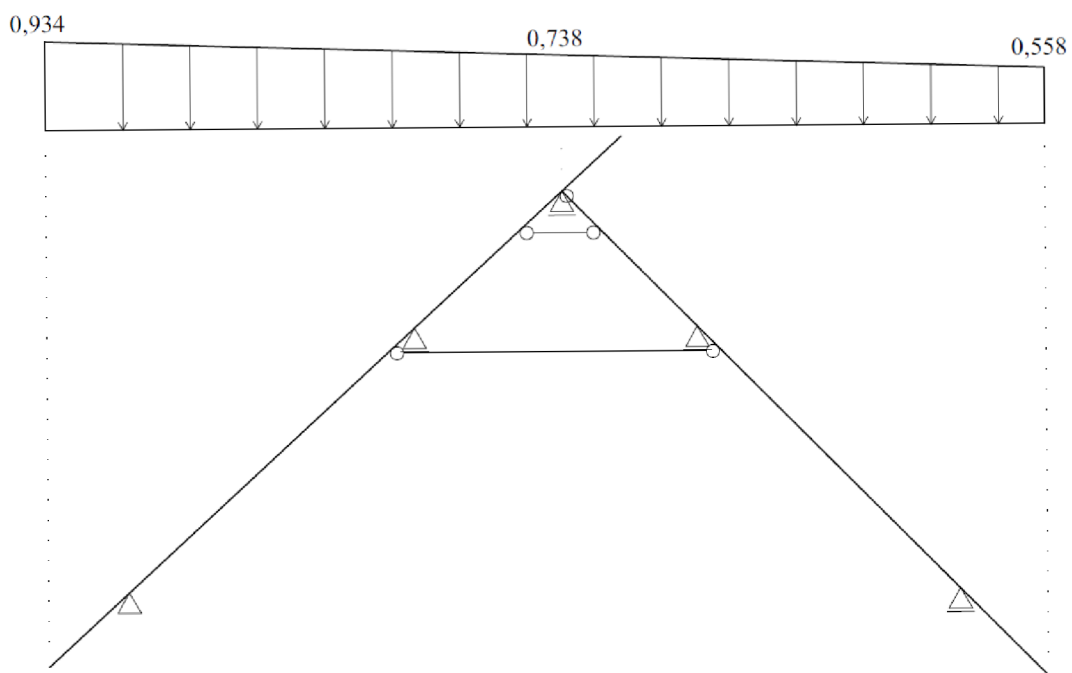
$w_{eE} = 0,681 \cdot (-0,5) = 0,341$ kN/m²

3.3. Užité zatížení

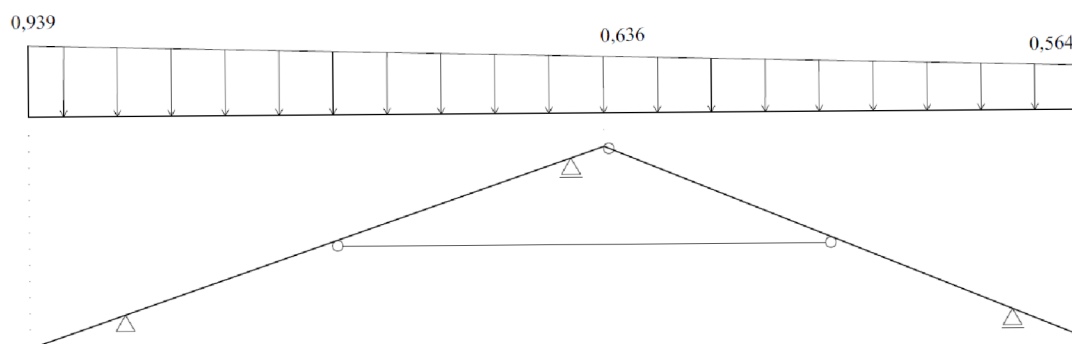
Dle tabulky normy [3] patří posuzovaný krov do kategorie H – střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav. Normou jsou navrhované dvě možnosti zatížení:

- 1) plošné zatížení $q_k = 0,75$ kN/m².
- 2) zatížení osamělou silou (člověkem) $Q_k = 1$ kN.

V normě je uvedeno, že střechy se musí samostatně ověřit na účinky spojitého zatížení q_k a sil Q_k a následně se konstrukce zatíží nepříznivějším z obou variant, v tomto případě je to zatížení spojitě.



Obr. 3.28 Vazba č.1: Schéma užitečného zatížení



Obr. 3.29 Vazba č.2: Schéma užitečného zatížení

4. Kombinace

Konstrukce je zatížena těmito zatěžovacími stavy:

- 1) ZS1 – Vlastní tíha
- 2) ZS2 – Ostatní stálé zatížení
- 3) ZS3 – Sníh navátý pravý
- 4) ZS4 – Sníh navátý levý
- 5) ZS5 – Sníh plný
- 6) ZS6 – Vítr příčný levý – sání
- 7) ZS7 – Vítr příčný levý – sání + tlak
- 8) ZS8 – Vítr příčný pravý – sání

- 9) ZS9 – Vítr příčný pravý – sání + tlak
- 10) ZS10 – Vítr podélný levý
- 11) ZS11 – Vítr podélný pravý
- 12) ZS12 – Užité zatížení

Zatěžovací stavy ZS1 a ZS2 budou působit vždy. Zatěžovací stavy sněhu a větru jsou nastaveny jako střídavé a bude tedy působit vždy maximálně jeden zatěžovací stav sněhu a jeden větru.

Kombinační pravidla [4]:

Kombinace návrhových hodnot zatížení pro výpočet vnitřních sil MSÚ (STR/GEO) se stanovují ze třech rovnic, kdy se posuzuje na nejnepříznivější z nich:

(6.10)

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

(6.10a)

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

(6.10b)

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Kombinace pro výpočet deformací MSP:

Charakteristická kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kvazistálá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} (1 + k_{def}) + P_k + Q_{k,1} (1 + \Psi_{2,i} k_{def}) + \sum_{i \geq 1} Q_{k,i} (\Psi_{0,i} + \Psi_{2,i} k_{def})$$

5. Modely

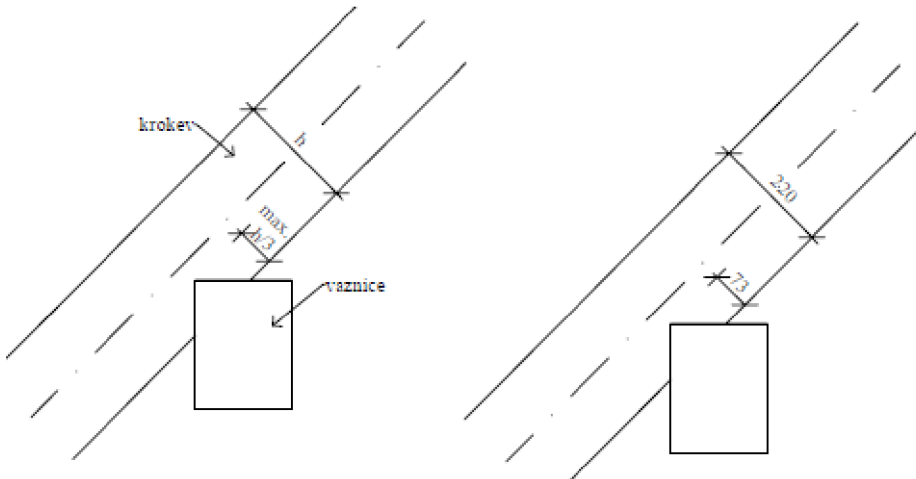
5.1. Osedlání krokve

Osedlání krokve se modeluje jako oslabený průřez na styku krokve a vaznice. Protože se tímto mění charakteristika průřezu, musí se oslabení zohlednit hlavně u ohybové tuhosti, u které má nejnepříznivější účinek.

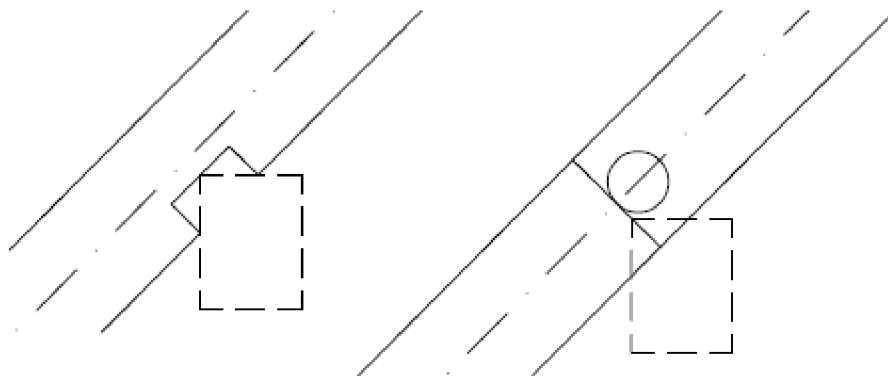
$$\frac{E \cdot I_o}{E \cdot I} = \frac{I_o}{I} = \frac{\frac{1}{12} \cdot b \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot h\right)^3}{\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = \left(\frac{2}{3}\right)^3 = \frac{8}{27}$$

kde I_o ... moment setrvačnosti oslabeného průřezu v osedlání

I ... moment setrvačnosti krokve



Obr. 5.1 Detail osedlání krokve na vaznici

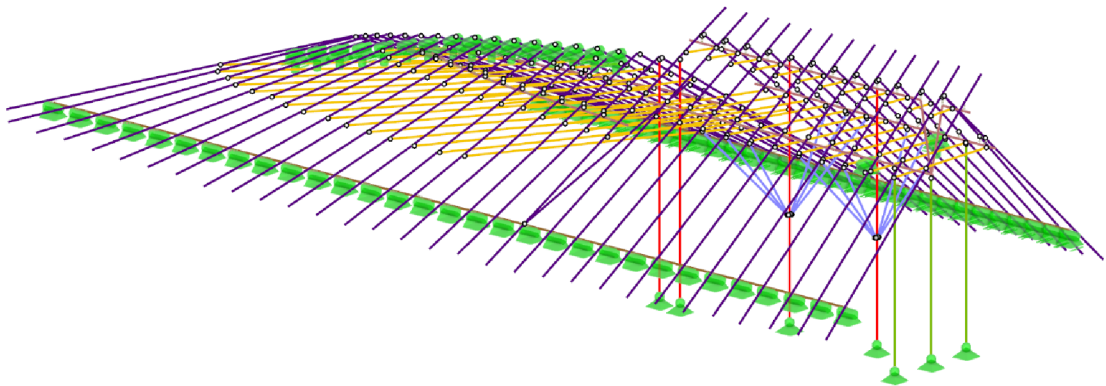


Obr. 5.2 Detail řešení osedlání krokve ve výpočetních modelech

Vlevo jako oslabený průřez, vpravo vložení kloubu

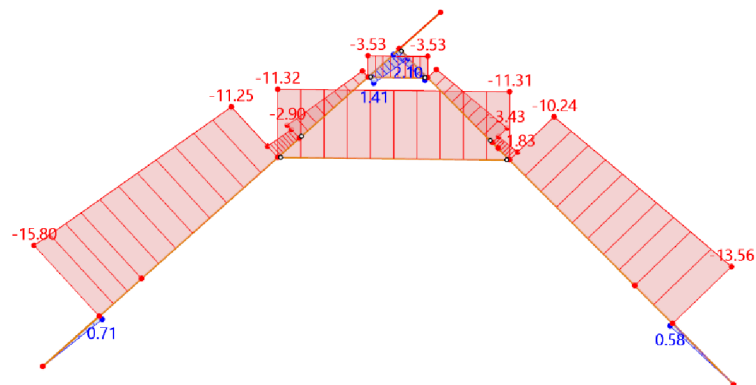
5.2. Model č. 1-1

Model č.1-1 je prostorový a osedláni krokve na vaznici je zde řešeno pomocí kloubů. Kloub je též modelován ve spojení pravé krokve k levé a na obou koncích kleštin. V prostorovém modelu se osy prutů (krokví a vaznic) neprotínají, proto jsem pro napojení použila spojení vetknutí-kloub. K posouzení jsem vybrala sedmou vazbu.

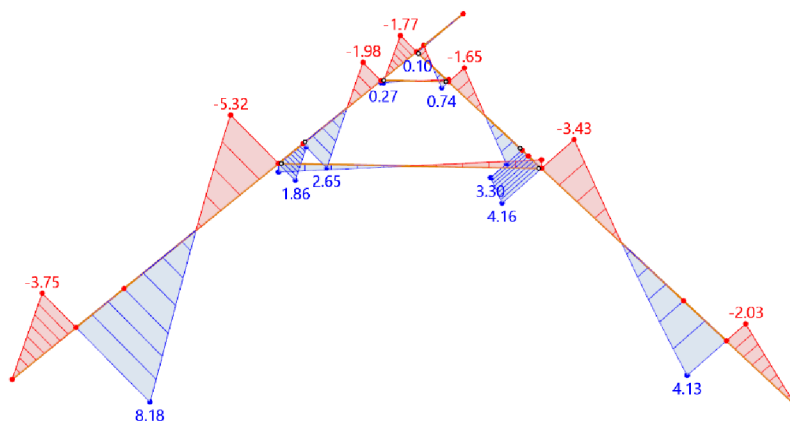


Obr. 5.3 Prostorový model č.1-1

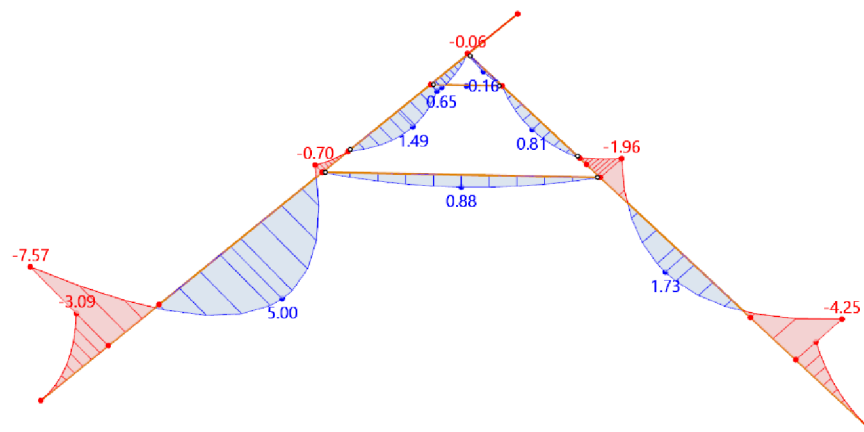
Vnitřní síly a deformace



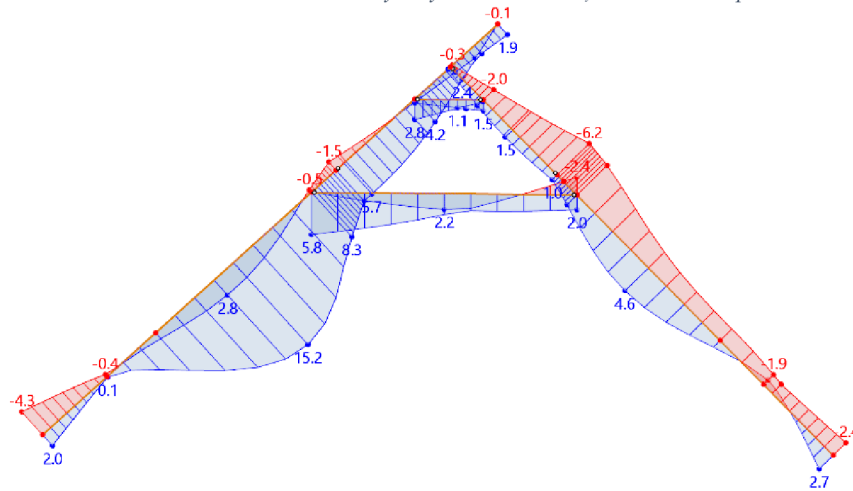
Obr. 5.4 Model č.1-1: Průběh normálových sil N od kombinace pro MSÚ



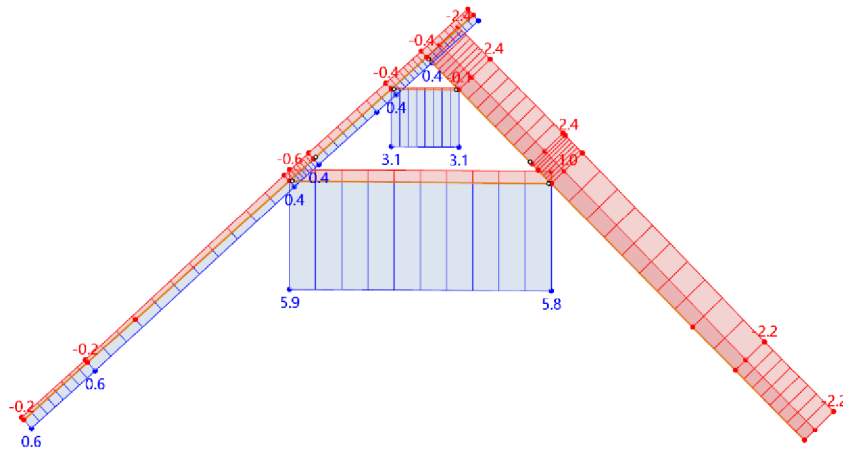
Obr. 5.5 Model č.1-1: Průběh posouvajících sil V_z od kombinace pro MSÚ



Obr. 5.6 Model č.1-1: Průběh ohybových momentů M_y od kombinace pro MSÚ



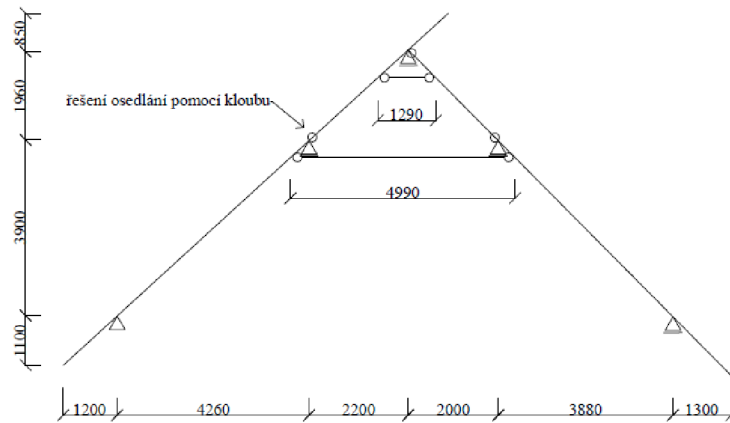
Obr. 5.7 Model č.1-1: Deformace u_z od kombinace pro MSP



Obr. 5.8 Model č.1-1: Deformace u_x od kombinace pro MSP

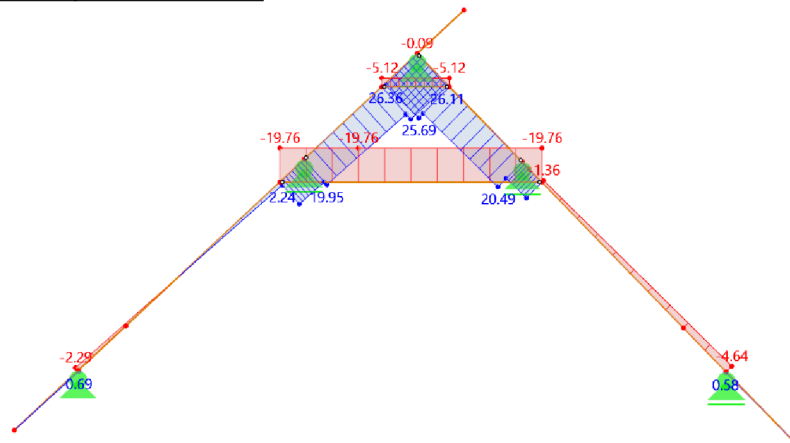
5.3. Model č. 1-2

V tomto případě se jedná o model rovinný, který odpovídá statickému schématu předcházejícího prostorového modelu. Model slouží pouze pro porovnání výsledků s prostorovým modelem a není proto přesným řešením. Vaznice zde byly nahrazeny posuvnými podporami. Konstrukce je 2x staticky neurčitá.

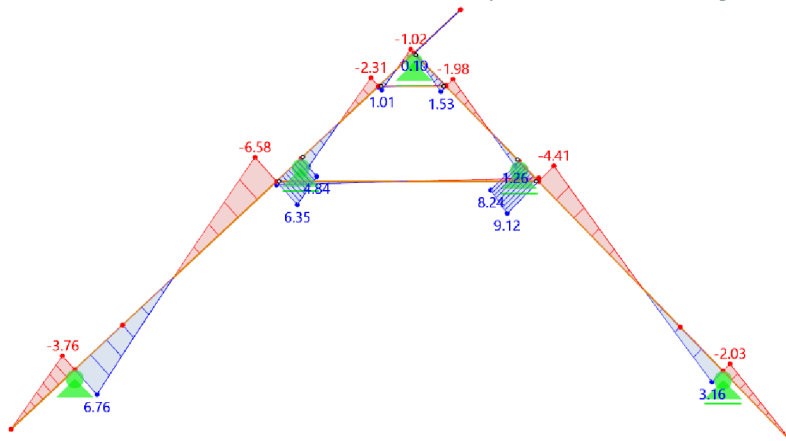


Obr. 5.9 Rovinný model č.1-2

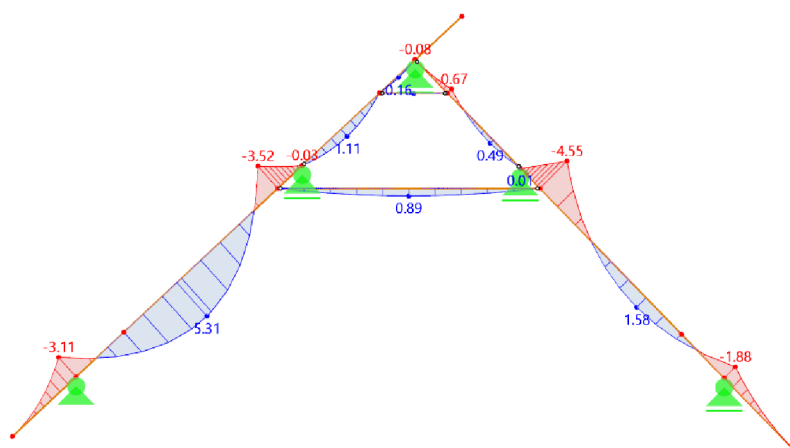
Vnitřní síly a deformace



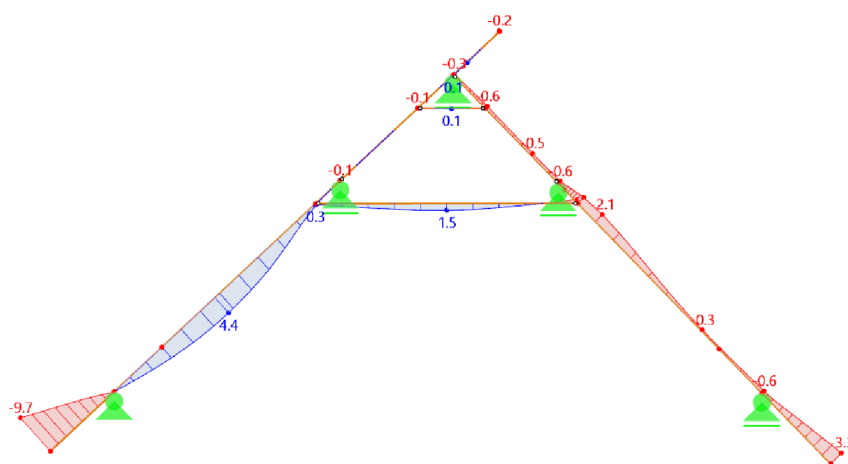
Obr. 5.10 Model č.1-2: Průběh normálových sil N od kombinace pro MSÚ



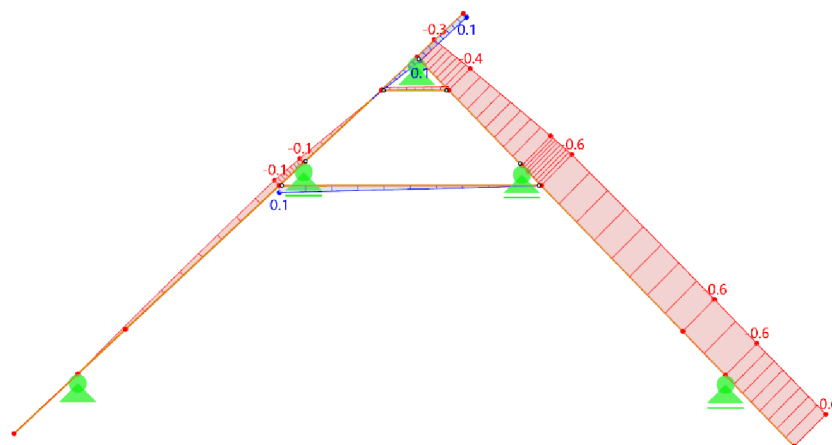
Obr. 5.11 Model č.1-2: Průběh posouvajících sil V_z od kombinace pro MSÚ



Obr. 5.12 Model č.1-2: Průběh ohybových momentů M_y od kombinace pro MSÚ



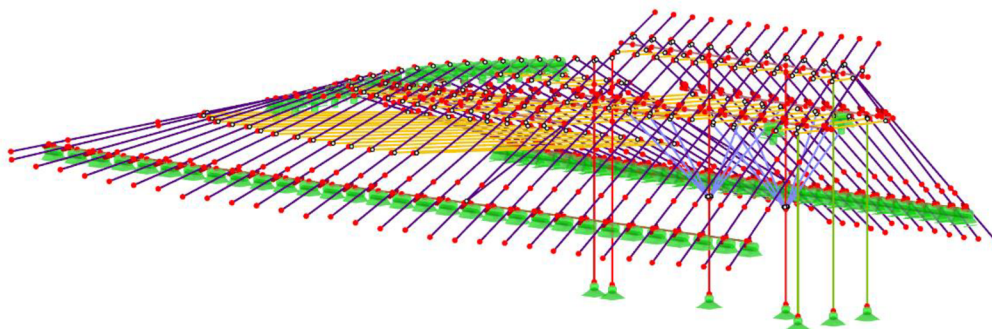
Obr. 5.13 Model č.1-2: Deformace u_z od kombinace pro MSP



Obr. 5.14 Model č.1-2: Deformace u_x od kombinace pro MSP

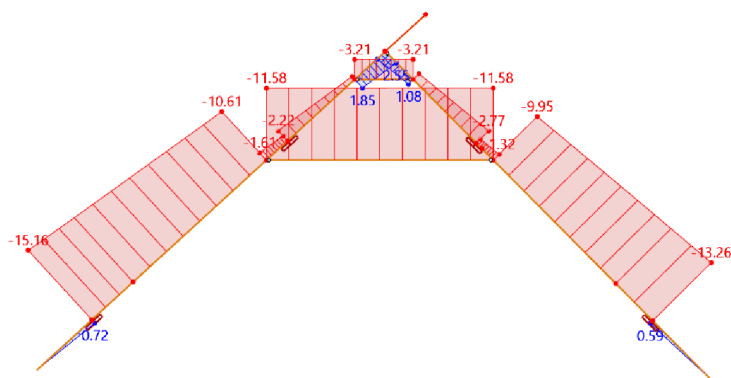
5.4. Model č. 2-1

Jedná se opět o prostorový model, který odpovídá modelu č.1-1, pouze se změnilo řešení osedlání krokve na vaznici, které je modelováno oslabením průřezu v místě napojení.

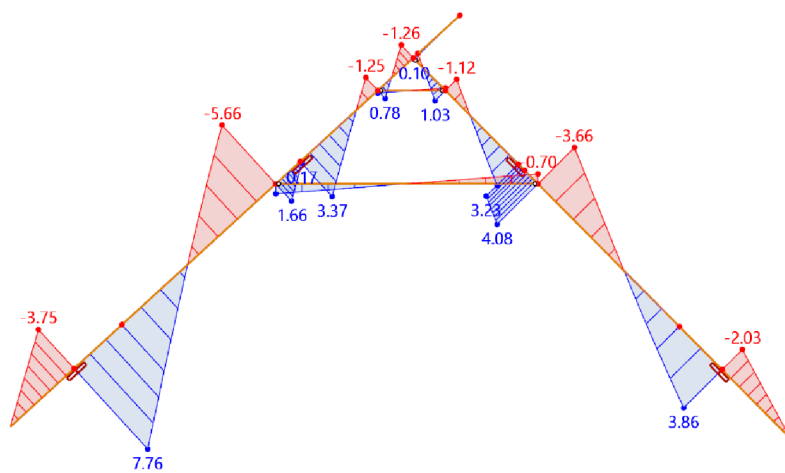


Obr. 5.15 Prostorový model č.2-1

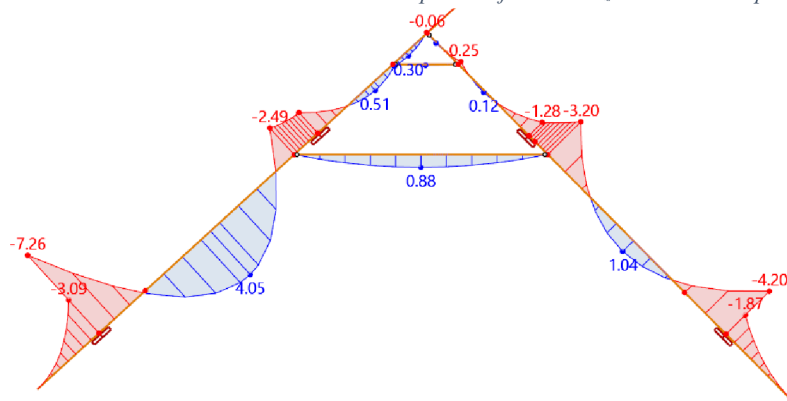
Vnitřní síly a deformace



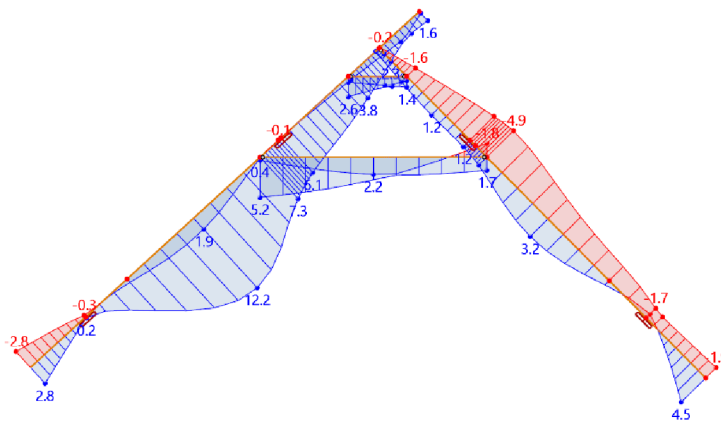
Obr. 5.16 Model č.2-1: Průběh normálových sil N od kombinace pro MSÚ



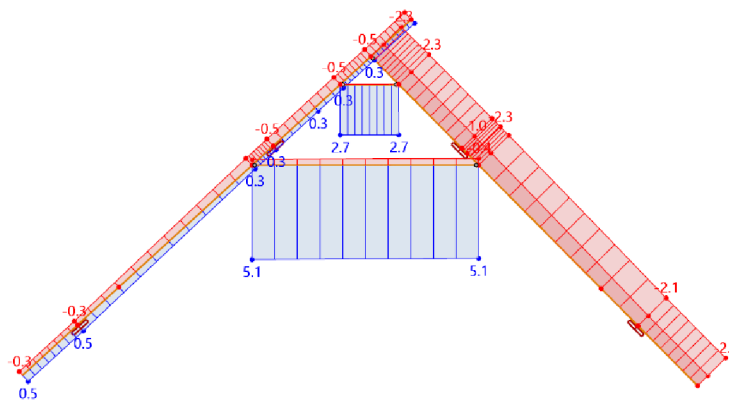
Obr. 5.17 Model č.2-1: Průběh posouvajících sil V_z od kombinace pro MSÚ



Obr. 5.18 Model č.2-1: Průběh ohybových momentů M_y od kombinace pro MSÚ



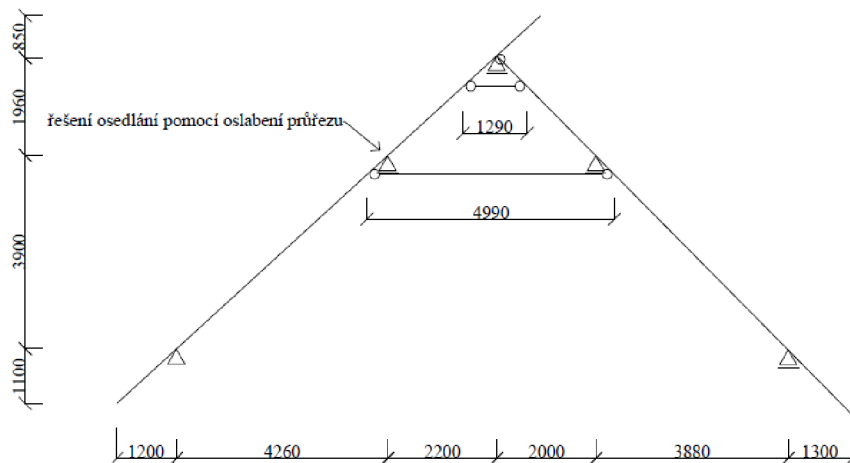
Obr. 5.19 Model č.2-1: Deformace u_z od kombinace pro MSP



Obr. 5.20 Model č.2-1: Deformace u_x od kombinace pro MSP

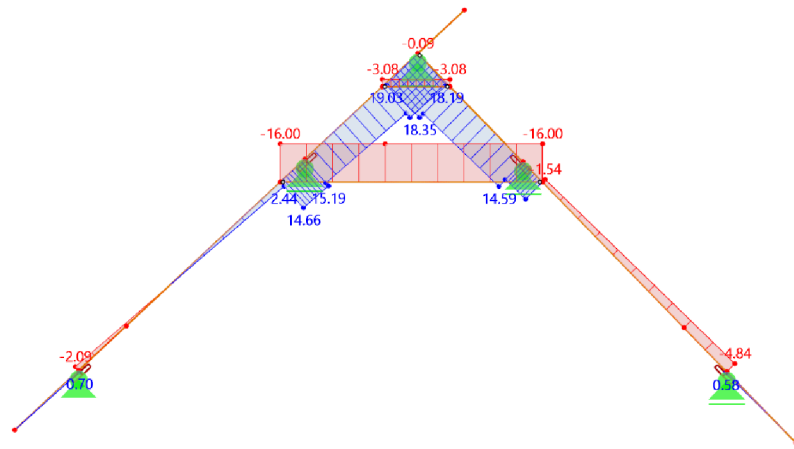
5.5. Model č. 2-2

Model č. 2-2 je rovinný, který odpovídá statickému schématu modelu č. 2-1. Model slouží pouze pro porovnání výsledků s prostorovým modelem a není proto přesným řešením. Vaznice zde byly nahrazeny posuvnými podporami. Konstrukce je 4x staticky neurčitá.

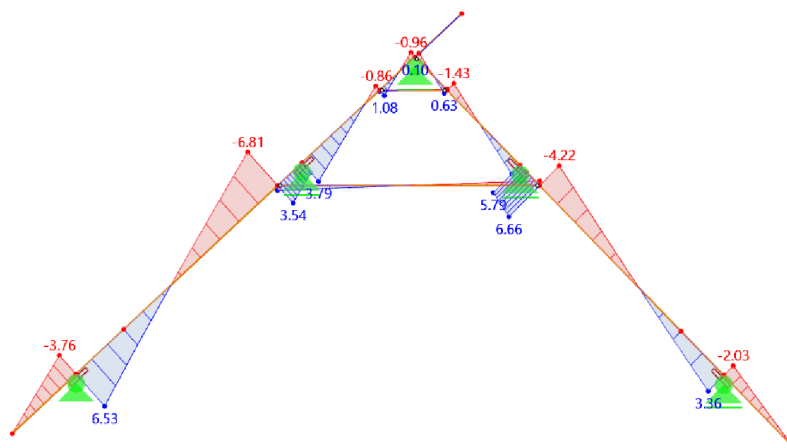


Obr. 5.21 Rovinný model č.2-2

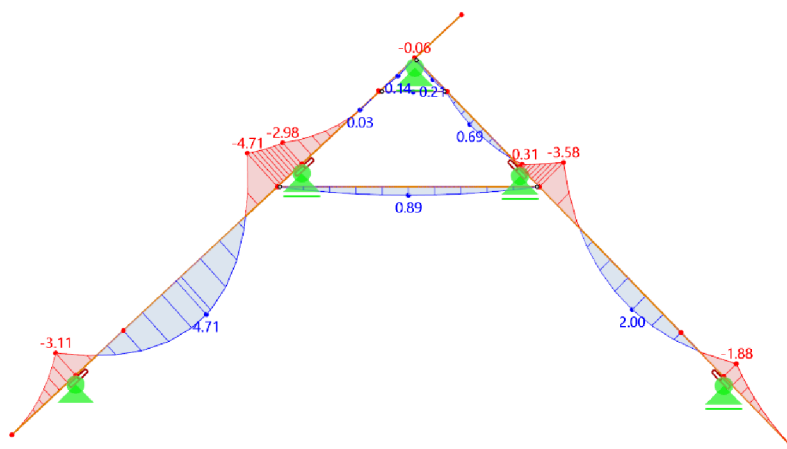
Vnitřní síly a deformace



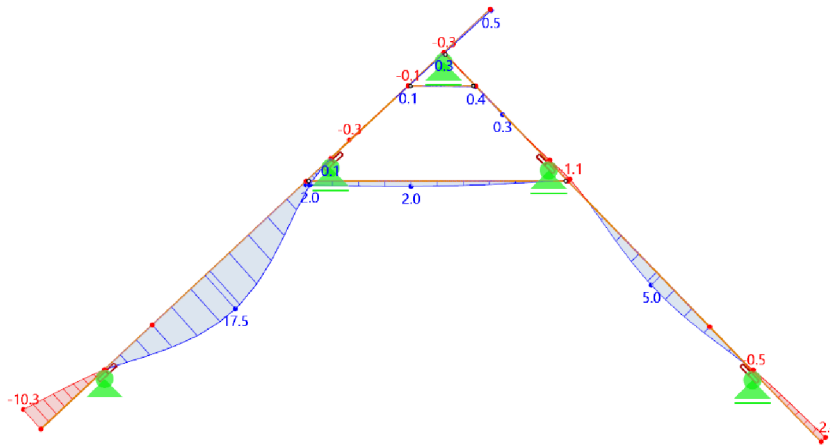
Obr. 5.22 Model č.2-2: Průběh normálových sil N od kombinace pro $MSÚ$



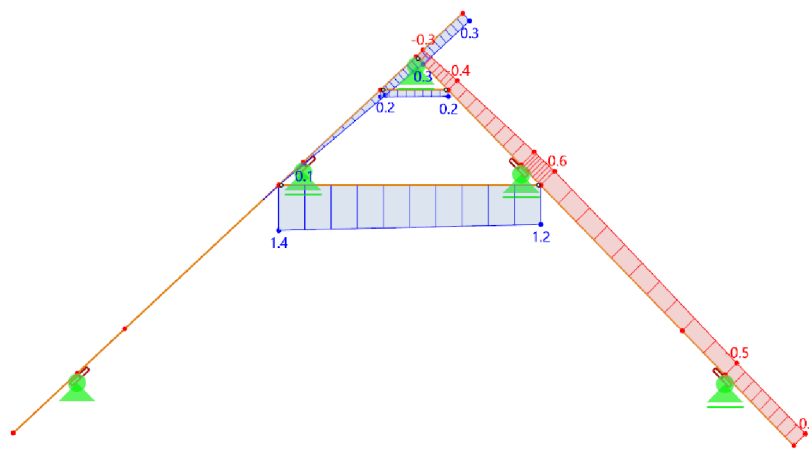
Obr. 5.23 Model č.2-2: Průběh posouvajících sil V_z od kombinace pro $MSÚ$



Obr. 5.24 Model č.2-2: Průběh ohybových momentů M_y od kombinace pro $MSÚ$



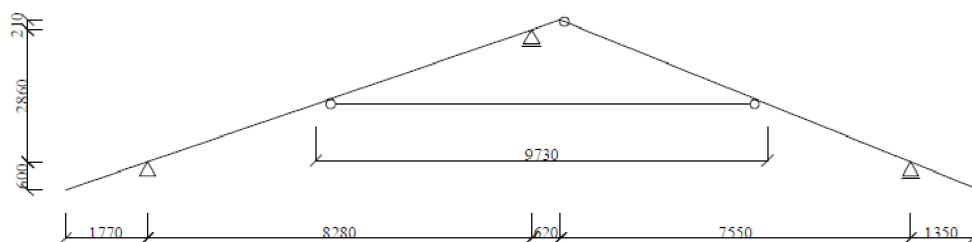
Obr. 5.25 Model č.2-2: Deformace u_z od kombinace pro MSP



Obr. 5.26 Model č.2-2: Deformace u_x od kombinace pro MSP

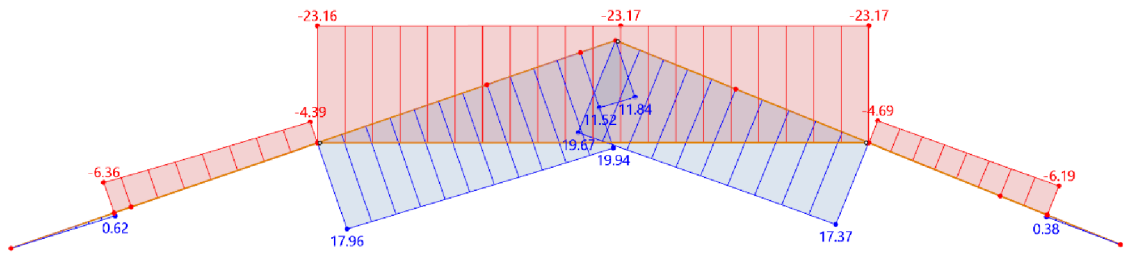
5.6. Model č. 3

Jedná se o vazbu, která se nachází v části s klesajícím vrcholem střechy, přesněji se jedná o sedmadvacátou vazbu (pátou od konce). Skládá se z krokví s převislými konci, kleštín, které jsou taktéž modelovány s použitím kloubů na obou koncích připojených ke krokvím, a třech podpor, které znázorňují pozednice a středovou nosnou stěnu, která se nachází vlevo od hřebenu střechy. V tomto případě uvažují pouze prostorový model, protože zde docházelo k minimálním rozdílům v průběhu vnitřních sil.

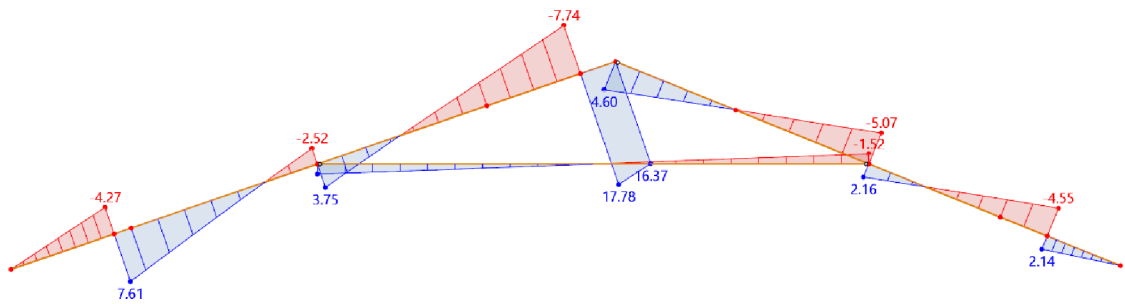


Obr. 5.27 Statické schéma modelu č.3

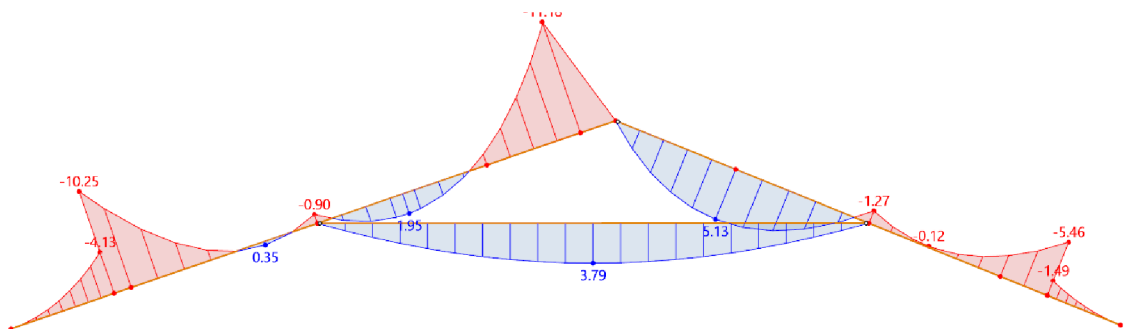
Vnitřní síly a deformace



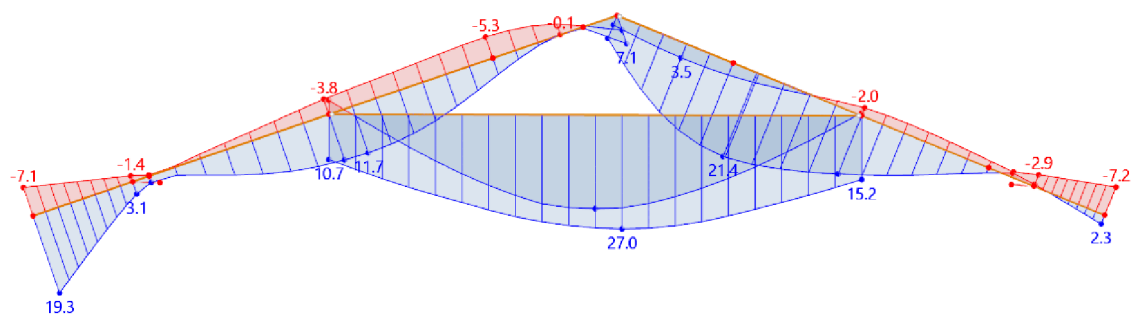
Obr. 5.28 Model č.3: Průběh normálových sil N od kombinace pro MSÚ



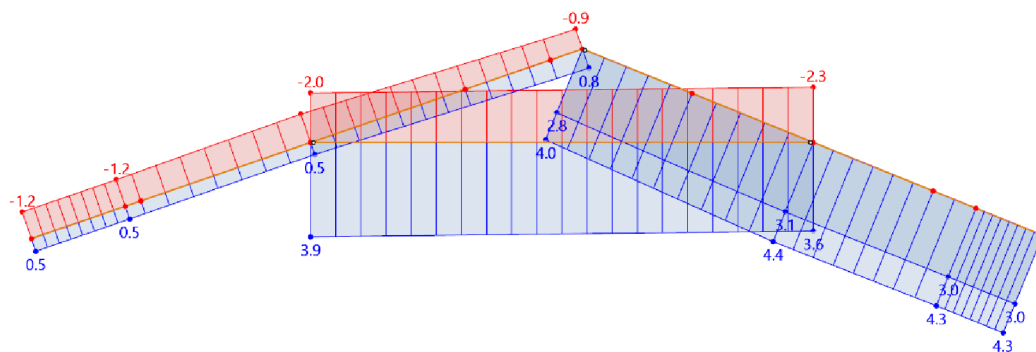
Obr. 5.29 Model č.3: Průběh posouvajících sil V_z od kombinace pro MSÚ



Obr. 5.30 Model č.3: Průběh ohybových momentů M_y od kombinace pro MSÚ



Obr. 5.31 Model č.3: Deformace u_z od kombinace pro MSP



Obr. 5.32 Model č.3: Deformace u_z od kombinace pro MSP

5.7. Porovnání

Ve všech modelech byly použité stejné rozměry, uspořádání a byly zatíženy stejnými zatěžovacími stavy.

Z průběhů vnitřních sil je patrné, že v rovinném modelu jsou tyto síly vyšší, kdežto deformace jsou naopak ve většině případů daleko menší. U prostorových modelů dochází k přenosu zatížení mezi jednotlivými pruty konstrukce a u těchto modelů dokážeme lépe vymodelovat spoje navazujících prutů, proto dochází k těmto rozdílům.

Rozdílné řešení osedlání krokve na vaznici se v průběhu vnitřních sil a deformací zásadně neprojeví, pouze došlo k drobným změnám hodnot. Rozdíl v průběhu je patrný pouze u ohybových momentů M_y , kdy v místě kloubu dojde k vynulování momentu a tím se zvětší moment v poli.

Pro ukázkou jsem vybrané vnitřní síly a deformace na levé krokvi shrnula do tabulky č.2, kde číslo jedna je bod napojení vaznice, číslo dva napojení krokve a číslo tři je v polovině délky krokve mezi středovou vaznicí a horní krokví. K posouzení mezních stavů použiji prostorové modely, kvůli přesnějšímu chování konstrukce jako celku.

Tabulka 2 Porovnání hodnot na levé krokvi

Model	N			M_y			u_z		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1-1	-2,90	-2,47	-2,00	0,00	-0,70	1,49	5,7	8,3	5,1
1-2	19,65	16,86	20,44	0,00	-3,52	1,11	-0,1	0,3	-0,1
2-1	-2,22	-1,61	-1,11	-1,92	-2,49	0,40	6,1	7,3	4,9
2-2	13,53	14,66	14,32	-2,98	-4,71	-0,39	0,1	2,0	-0,2

6. Mezní stav únosnosti

Posouzení na mezní stav únosnosti provedu vždy pro největší vnitřní síly a vnitřní síly odpovídající. Výsledné ruční výpočty porovnáám s výpočtovým programem. Posouzení provedu pro vybrané prvky.

6.1. Druhy namáhání dřevěných prvků

$$[5] \text{ Kombinace tlaku a ohybu: } \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

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

pro vzpěr:

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

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

kde $\sigma_{c,0,d}$... návrhové napětí v tlaku ve směru rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} \text{ [MPa]}$$

$\sigma_{m,y,d}$... návrhové napětí v ohybu k ose y

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \text{ [MPa]}$$

$\sigma_{m,z,d}$... návrhové napětí v ohybu k ose y

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} \text{ [MPa]}$$

$$\text{Kombinace tahu a ohybu: } \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

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

$$\text{Dvouosý ohyb: } \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

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

Ve všech více zmíněných případech namáhání musí být vždy splněny obě podmínky.

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

kde $\tau_{tor,d}$... návrhové napětí ve smyku od kroucení

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_T}{W_T} [\text{MPa}]$$

k_{shape} ... součinitel závislý na tvaru průřezu

6.2. Materiálové charakteristiky

Materiálové charakteristiky pro jehličnaté dřevo C35:

Charakteristická pevnost dřeva v ohybu

$$f_{m,k} = 35 \text{ MPa}$$

Charakteristická pevnost dřeva v tahu ve směru rovnoběžně s vlákny

$$f_{t,0,k} = 21 \text{ MPa}$$

Charakteristická pevnost dřeva v tlaku ve směru rovnoběžně s vlákny

$$f_{c,0,k} = 25 \text{ MPa}$$

Charakteristická pevnost dřeva ve smyku

$$f_{v,k} = 4,0 \text{ MPa}$$

Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny

$$E_{0,\text{mean}} = 13 \text{ GPa}$$

5% - kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny

$$E_{0,05} = 8,7 \text{ GPa}$$

Průměrná hodnota modulu pružnosti dřeva ve smyku

$$G_{\text{mean}} = 0,81 \text{ GPa}$$

Objemová hmotnost dřeva

$$\rho = 470 \text{ kg/m}^3$$

Dílčí součinitel materiálu a únosnosti

$$\gamma_M = 1,3$$

Modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti

$$k_{\text{mod}} = 0,9$$

Návrhová pevnost dřeva v ohybu

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{35}{1,3} = 24,231 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost dřeva v tahu ve směru rovnoběžně s vlákny

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{21}{1,3} = 14,539 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost dřeva v tlaku ve směru rovnoběžně s vlákny

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{25}{1,3} = 17,308 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost dřeva ve smyku

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{4}{1,3} = 2,769 \text{ MPa}$$

6.3. Průřezové charakteristiky

Tabulka 3 Průřezové charakteristiky

Prvek	Průřez	A	I _y	I _z	i _y	i _z	W _y	W _z
	[mm]	[mm ²]	[mm ⁴]	[mm ⁴]	[mm]	[mm]	[mm ³]	[mm ³]
Krokve	80/220	17 600	71,0	9,3	63,5	23,1	64,5	23,5
Kleštiny	2x60/220	26 400	106,5	7,9	63,5	17,3	96,8	137,3
Vaznice	180/240	43 200	207,4	116,6	69,3	52	172,8	129,6
Pozednice	200/240	48 000	160,0	230,4	57,7	69,3	160,0	192,0
Sloupky 1	300/300	90 000	675,0	675,0	86,6	86,6	450,0	450,0
Sloupky 2	180/180	32 400	87,5	87,5	52,0	52,0	97,2	97,2
Šikmé vzpěry	160/200	32 000	106,7	68,3	57,7	46,2	106,7	85,3
			10 ⁶	10 ⁶			10 ⁴	10 ⁴

6.4. Posouzení

6.4.1. První vazba

Levá krokev

délka prvku	$L = 5\,820\text{ mm}$
součinitel	$k_m = 0,7$
součinitel vzpěrné délky	$\beta = 1,0$
součinitel rostlé dřevu	$\beta_c = 0,2$
vzpěrná délka	$L_{cr,y,z} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 5\,820 = 5\,820\text{ mm}$
štíhlostní poměry	$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5820}{63,5} = 91,65$ $\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5820}{23,1} = 251,95$
poměrné štíhlostní poměry	$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{91,65}{\pi} \sqrt{\frac{25}{8700}} = 1,56$ $\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{251,95}{\pi} \sqrt{\frac{25}{8700}} = 4,28$
součinitelé vzpěrnosti	$k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) =$ $= 0,5 (1 + 0,2 (1,56 - 0,3) + 1,56^2) = 1,84$ $k_z = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) =$ $= 0,5 (1 + 0,2 (4,28 - 0,3) + 4,28^2) = 10,05$ $k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,84 + \sqrt{1,84^2 - 1,56^2}} = 0,36$ $k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{10,05 + \sqrt{10,05^2 - 4,28^2}} = 0,07$

Krokve se posuzují na kombinaci tlaku a ohybu:

Varianta č.1:

$N_{c,max} = -17,28\text{ kN}$	$\sigma_{c,0,d} = 0,89\text{ MPa}$	Podmínka 1: $0,481 \leq 1$
$M_{y,odp.} = -5,22\text{ kNm}$	$\sigma_{m,y,d} = 8,09\text{ MPa}$	Podmínka 2: $0,967 \leq 1$
$M_{z,odp.} = -0,05\text{ kNm}$	$\sigma_{m,z,d} = 0,21\text{ MPa}$	VYHOVUJE

$$N_{c,odp.} = -15,80 \text{ kN} \quad \sigma_{c,0,d} = 0,80 \text{ MPa}$$

$$M_{y,max} = -7,57 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,y,d} = 11,74 \text{ MPa}$$

$$M_{z,odp.} = -0,04 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,z,d} = 0,17 \text{ MPa}$$

$$\text{Podmínka 1: } 0,616 \leq 1$$

$$\text{Podmínka 2: } 0,998 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$N_{c,odp.} = -11,25 \text{ kN} \quad \sigma_{c,0,d} = 0,64 \text{ MPa}$$

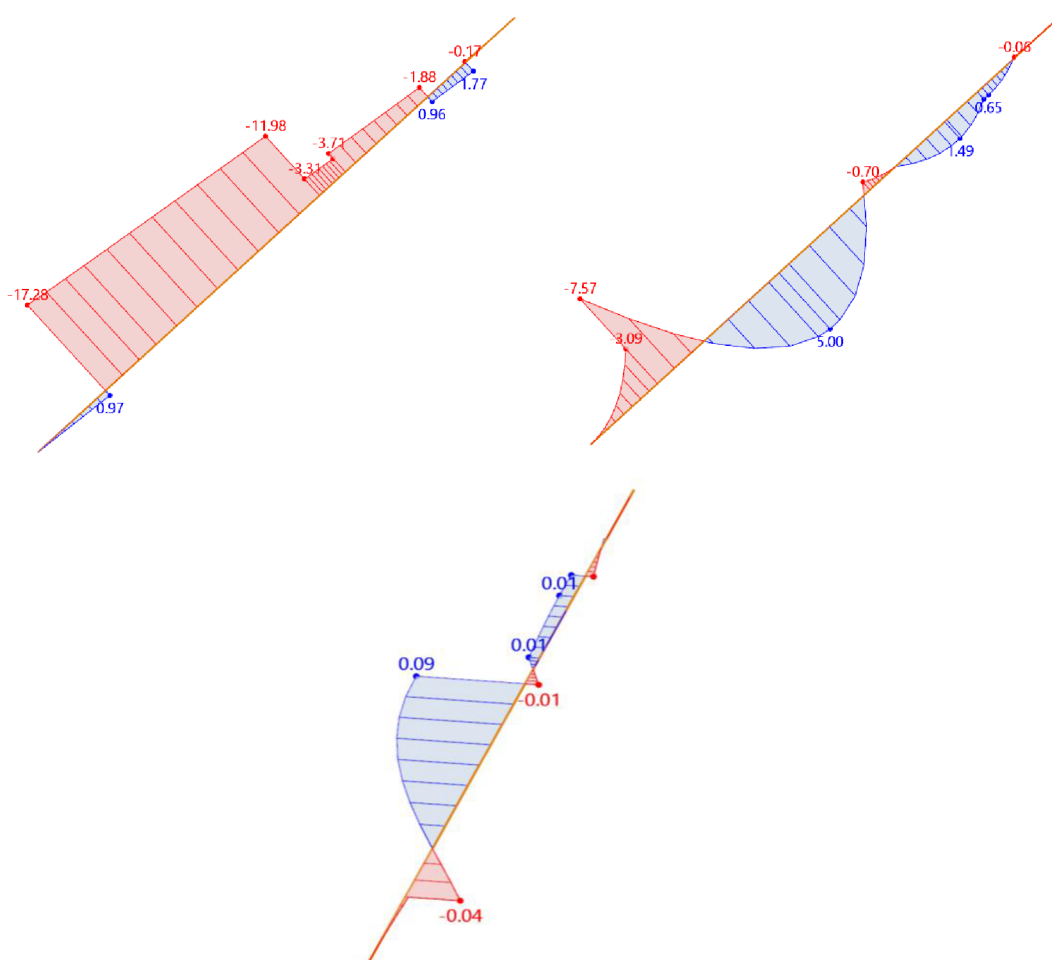
$$M_{y,odp.} = -0,70 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,y,d} = 1,09 \text{ MPa}$$

$$M_{z,max} = 0,09 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,z,d} = 0,38 \text{ MPa}$$

$$\text{Podmínka 1: } 0,149 \leq 1$$

$$\text{Podmínka 2: } 0,556 \leq 1$$

VYHOVUJE



Obr. 6.1 Model č.1-1: Levá krokev – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z
 Posouzení programem: 0,946 na osový tlak se vzpěrem a dvousový ohyb

Varianta č.2:

$N_{c,max} = -16,74 \text{ kN}$ $\sigma_{c,0,d} = 0,85 \text{ MPa}$

Podmínka 1: $0,473 \leq 1$

$M_{y,odp.} = -5,16 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 8,00 \text{ MPa}$

Podmínka 2: $0,941 \leq 1$

$M_{z,odp.} = -0,05 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 0,21 \text{ MPa}$

VYHOVUJE

$N_{c,odp.} = -15,16 \text{ kN}$ $\sigma_{c,0,d} = 0,76 \text{ MPa}$

Podmínka 1: $0,593 \leq 1$

$M_{y,max} = -7,26 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 11,26 \text{ MPa}$

Podmínka 2: $0,961 \leq 1$

$M_{z,odp.} = -0,05 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 0,21 \text{ MPa}$

VYHOVUJE

$N_{c,odp.} = -10,61 \text{ kN}$ $\sigma_{c,0,d} = 0,60 \text{ MPa}$

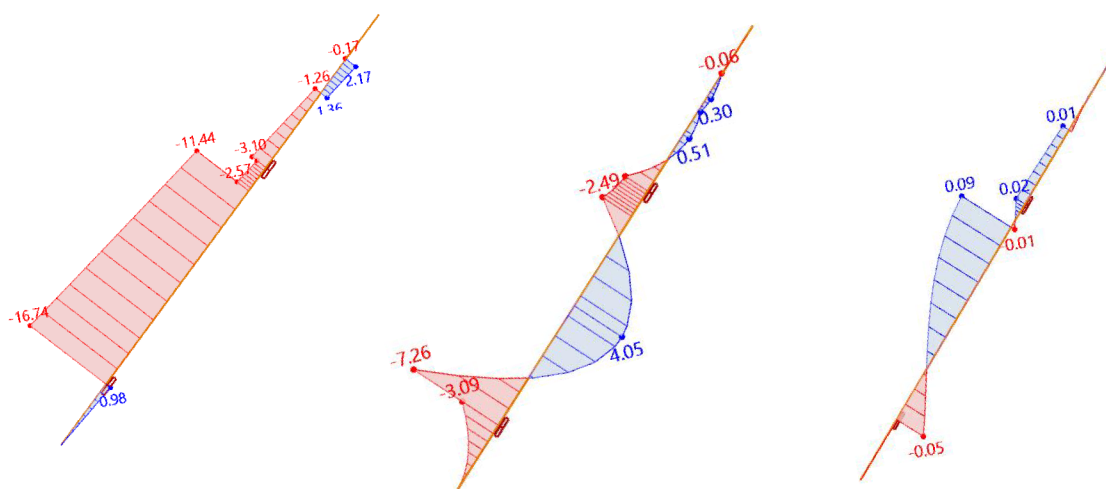
Podmínka 1: $0,267 \leq 1$

$M_{y,odp.} = -2,49 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 3,86 \text{ MPa}$

Podmínka 2: $0,622 \leq 1$

$M_{z,max} = 0,09 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 0,38 \text{ MPa}$

VYHOVUJE



Obr. 6.2 Model č.2-1: Levá krokev – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z

Posouzení programem: 0,955 na osový tlak se vzpěrem a dvouosý ohyb

Prvek je též namáhán na kombinaci tahu a ohybu, ale protože tahové síly jsou velmi malé, nebude toto namáhání počítat a budu předpokládat, že kritické namáhání je při kombinaci tlaku a ohybu.

Pravá krokev

délka prvku	$L = 5\,500 \text{ mm}$
součinitel	$k_m = 0,7$
součinitel vzpěrné délky	$\beta = 1,0$
součinitel rostlé dřevo	$\beta_c = 0,2$
vzpěrná délka	$L_{cr,y,z} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 5\,500 = 5\,500 \text{ mm}$
štíhlostní poměry	$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5500}{63,5} = 86,61$ $\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5500}{23,1} = 238,10$
poměrné štíhlostní poměry	$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{86,61}{\pi} \sqrt{\frac{25}{8700}} = 1,48$ $\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{238,10}{\pi} \sqrt{\frac{25}{8700}} = 4,06$
součinitele vzpěrnosti	$k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) =$ $= 0,5 (1 + 0,2 (1,48 - 0,3) + 1,48^2) = 1,71$ $k_z = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) =$ $= 0,5 (1 + 0,2 (4,06 - 0,3) + 4,06^2) = 9,12$ $k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,71 + \sqrt{1,71^2 - 1,48^2}} = 0,39$ $k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{9,12 + \sqrt{9,12^2 - 4,06^2}} = 0,07$

Krokve se posuzují na kombinaci tlaku a ohybu:

Varianta č.1:

$$N_{c,max} = -14,28 \text{ kN} \quad \sigma_{c,0,d} = 0,74 \text{ MPa} \quad \text{Podmínka 1: } 0,442 \leq 1$$

$$M_{y,odp.} = -4,90 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,y,d} = 7,60 \text{ MPa} \quad \text{Podmínka 2: } 0,959 \leq 1$$

$$M_{z,odp.} = -0,15 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,z,d} = 0,64 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$N_{c,odp.} = -14,18 \text{ kN} \quad \sigma_{c,0,d} = 0,74 \text{ MPa}$$

$$M_{y,max} = -5,59 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,y,d} = 8,67 \text{ MPa}$$

$$M_{z,odp.} = -0,06 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,z,d} = 0,26 \text{ MPa}$$

$$\text{Podmínka 1: } 0,475 \leq 1$$

$$\text{Podmínka 2: } 0,974 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$N_{c,odp.} = -7,99 \text{ kN} \quad \sigma_{c,0,d} = 0,45 \text{ MPa}$$

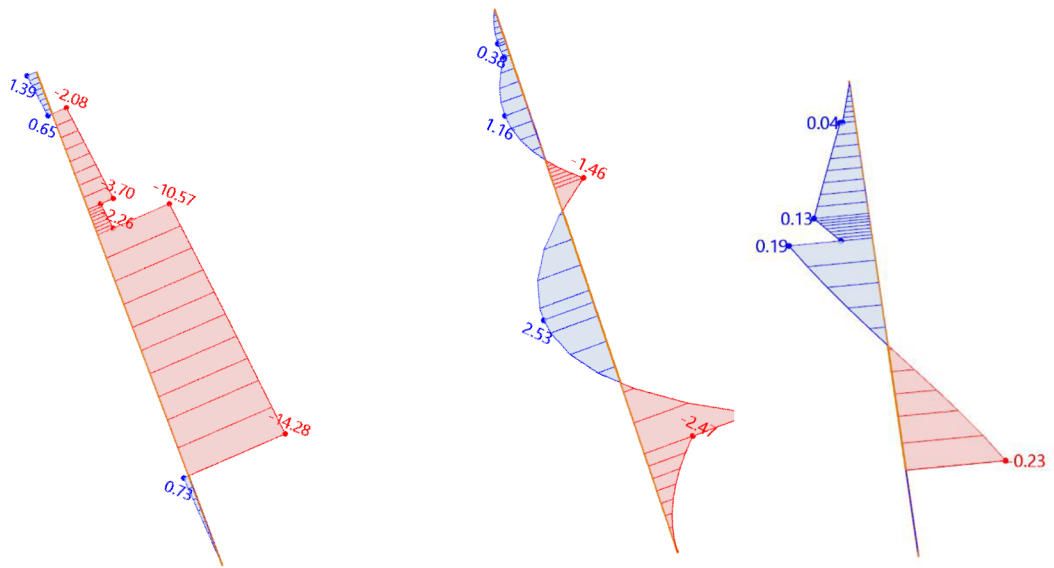
$$M_{y,odp.} = -1,07 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,y,d} = 1,66 \text{ MPa}$$

$$M_{z,max} = -0,23 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,z,d} = 0,98 \text{ MPa}$$

$$\text{Podmínka 1: } 0,163 \leq 1$$

$$\text{Podmínka 2: } 0,522 \leq 1$$

VYHOVUJE



Obr. 6.3 Model č.1-1: Pravá krokev – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z

Posouzení programem: 0,923 na osový tlak se vzpěrem a dvouosý ohyb

Varianta č.2:

$$N_{c,max} = -13,95 \text{ kN} \quad \sigma_{c,0,d} = 0,72 \text{ MPa}$$

$$M_{y,odp.} = -4,80 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,y,d} = 7,44 \text{ MPa}$$

$$M_{z,odp.} = -0,14 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,z,d} = 0,60 \text{ MPa}$$

$$\text{Podmínka 1: } 0,431 \leq 1$$

$$\text{Podmínka 2: } 0,933 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$N_{c,odp.} = -13,86 \text{ kN} \quad \sigma_{c,0,d} = 0,72 \text{ MPa}$$

$$M_{y,max} = -5,42 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,y,d} = 8,40 \text{ MPa}$$

$$M_{z,odp.} = -0,05 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,z,d} = 0,21 \text{ MPa}$$

$$\text{Podmínka 1: } 0,459 \leq 1$$

$$\text{Podmínka 2: } 0,846 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$N_{c,odp.} = -7,80 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 0,44 \text{ MPa}$$

$$\text{Podmínka 1: } 0,164 \leq 1$$

$$M_{y,odp.} = -1,11 \text{ kNm}$$

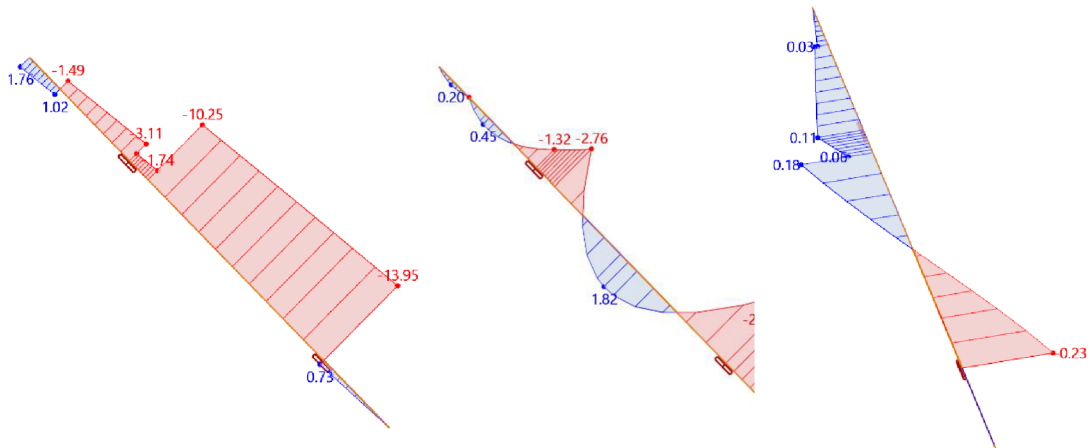
$$\sigma_{m,y,d} = 1,72 \text{ MPa}$$

$$\text{Podmínka 2: } 0,453 \leq 1$$

$$M_{z,max} = -0,23 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,z,d} = 0,98 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE



Obr. 6.4 Model č.2-1: Pravá krokev – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z

Posouzení programem: 0,862 na osový tlak se vzpěrem a dvouosý ohyb

Prvek je též namáhán na kombinaci tahu a ohybu, ale protože tahové síly jsou velmi malé, nebudu toto namáhání počítat a budu předpokládat, že kritické namáhání je při kombinaci tlaku a ohybu.

Spodní kleština

délka prvku

$$L = 4\,990 \text{ mm}$$

součinitel

$$k_m = 1,0$$

vzpěrná délka

$$L_{cr,y,z} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 4\,990 = 4\,990 \text{ mm}$$

štíhlostní poměry

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4990}{63,5} = 78,58$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{4990}{17,3} = 288,44$$

poměrné štíhlostní poměry

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{78,58}{\pi} \sqrt{\frac{25}{8700}} = 1,34$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{288,44}{\pi} \sqrt{\frac{25}{8700}} = 4,92$$

součinitele vzpěrnosti

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

$$= 0,5 (1 + 0,2 (1,34 - 0,3) + 1,34^2) = 1,50$$

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

$$= 0,5 (1 + 0,2 (4,92 - 0,3) + 4,92^2) = 13,07$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,50 + \sqrt{1,50^2 - 1,34^2}} = 0,46$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{13,07 + \sqrt{13,07^2 - 4,92^2}} = 0,06$$

Kleštiny se posuzují na kombinaci tlaku a ohybu:

Varianta č.1:

$N_{c,max} = -11,32 \text{ kN}$ $\sigma_{c,0,d} = 0,43 \text{ MPa}$ Podmínka 1: $0,056 \leq 1$

$M_{y,odp.} = 0,00 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 0,00 \text{ MPa}$ Podmínka 2: $0,623 \leq 1$

$M_{z,odp.} = 0,07 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 0,05 \text{ MPa}$ **VYHOVUJE**

$N_{c,odp.} = -11,32 \text{ kN}$ $\sigma_{c,0,d} = 0,43 \text{ MPa}$ Podmínka 1: $0,092 \leq 1$

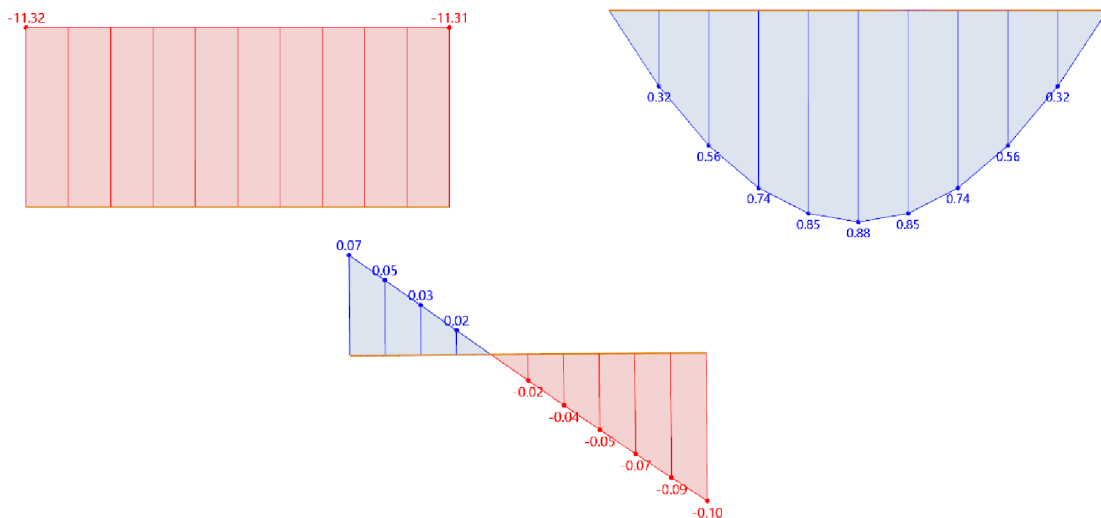
$M_{y,max} = 0,88 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 0,91 \text{ MPa}$ Podmínka 2: $0,659 \leq 1$

$M_{z,odp.} = -0,01 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 0,01 \text{ MPa}$ **VYHOVUJE**

$N_{c,odp.} = -5,84 \text{ kN}$ $\sigma_{c,0,d} = 0,22 \text{ MPa}$ Podmínka 1: $0,031 \leq 1$

$M_{y,odp.} = 0,00 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 0,00 \text{ MPa}$ Podmínka 2: $0,321 \leq 1$

$M_{z,max} = -0,10 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 0,07 \text{ MPa}$ **VYHOVUJE**



Obr. 6.5 Model č.1-1: Spodní kleština – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z

Posouzení programem: 0,678 na osový tlak se vzpěrem a dvouosý ohyb

Varianta č.2:

$N_{c,max} = -11,58 \text{ kN}$ $\sigma_{c,0,d} = 0,44 \text{ MPa}$ Podmínka 1: $0,057 \leq 1$

$M_{y,odp.} = 0,00 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 0,00 \text{ MPa}$ Podmínka 2: $0,638 \leq 1$

$M_{z,odp.} = 0,07 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 0,05 \text{ MPa}$ **VYHOVUJE**

$N_{c,odp.} = -11,41 \text{ kN}$ $\sigma_{c,0,d} = 0,44 \text{ MPa}$ Podmínka 1: $0,093 \leq 1$

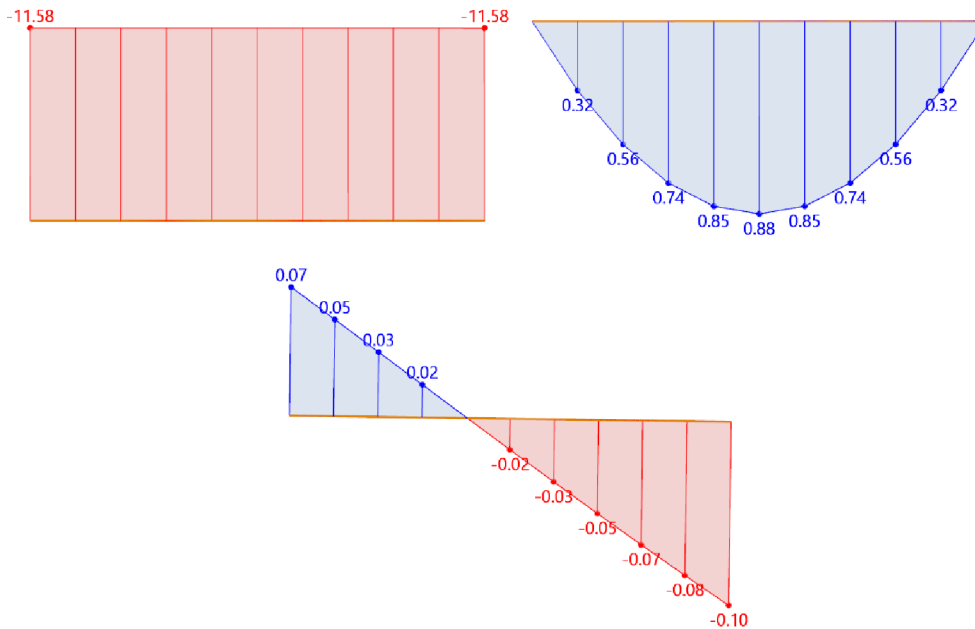
$M_{y,max} = 0,88 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 0,91 \text{ MPa}$ Podmínka 2: $0,673 \leq 1$

$M_{z,odp.} = 0,00 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 0,00 \text{ MPa}$ **VYHOVUJE**

$N_{c,odp.} = -5,78 \text{ kN}$ $\sigma_{c,0,d} = 0,22 \text{ MPa}$ Podmínka 1: $0,031 \leq 1$

$M_{y,odp.} = 0,00 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 0,00 \text{ MPa}$ Podmínka 2: $0,321 \leq 1$

$M_{z,max} = -0,10 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 0,07 \text{ MPa}$ **VYHOVUJE**



Obr. 6.6 Model č.2-1: Spodní kleština – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z

Posouzení programem: 0,660 na osový tlak se vzpěrem a dvouosý ohyb

Horní kleština

délka prvku	$L = 1\,290\text{ mm}$
součinitel	$k_m = 1,0$
součinitel vzpěrné délky	$\beta = 1,0$
součinitel rostlé dřevo	$\beta_c = 0,2$
vzpěrná délka	$L_{cr,y,z} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 1\,290 = 1\,290\text{ mm}$
štíhlostní poměry	$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1290}{63,5} = 20,31$ $\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1290}{17,3} = 74,57$
poměrné štíhlostní poměry	$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{20,31}{\pi} \sqrt{\frac{25}{8700}} = 0,35$ $\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{74,57}{\pi} \sqrt{\frac{25}{8700}} = 1,27$
součinitele vzpěrnosti	$k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) =$ $= 0,5 (1 + 0,2 (0,35 - 0,3) + 0,35^2) = 0,57$ $k_z = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) =$ $= 0,5 (1 + 0,2 (1,27 - 0,3) + 1,27^2) = 1,40$ $k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,57 + \sqrt{0,57^2 - 0,35^2}} = 0,98$ $k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,40 + \sqrt{1,40^2 - 1,27^2}} = 0,50$

Kleštiny se posuzují na kombinaci tlaku a ohybu:

Varianta č.1:

$$N_{c,max} = -3,72\text{ kN} \quad \sigma_{c,0,d} = 0,14\text{ MPa} \quad \text{Podmínka 1: } 0,011 \leq 1$$

$$M_{y,odp.} = 0,06\text{ kNm} \quad \sigma_{m,y,d} = 0,06\text{ MPa} \quad \text{Podmínka 2: } 0,019 \leq 1$$

$$M_{z,odp.} = 0,00\text{ kNm} \quad \sigma_{m,z,d} = 0,00\text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$N_{c,odp.} = -3,72 \text{ kN} \quad \sigma_{c,0,d} = 0,14 \text{ MPa}$$

$$M_{y,max} = \mathbf{0,06 \text{ kNm}} \quad \sigma_{m,y,d} = 0,06 \text{ MPa}$$

$$M_{z,odp.} = 0,00 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,z,d} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$\text{Podmínka 1: } 0,011 \leq 1$$

$$\text{Podmínka 2: } 0,019 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$N_{c,odp.} = -1,52 \text{ kN} \quad \sigma_{c,0,d} = 0,06 \text{ MPa}$$

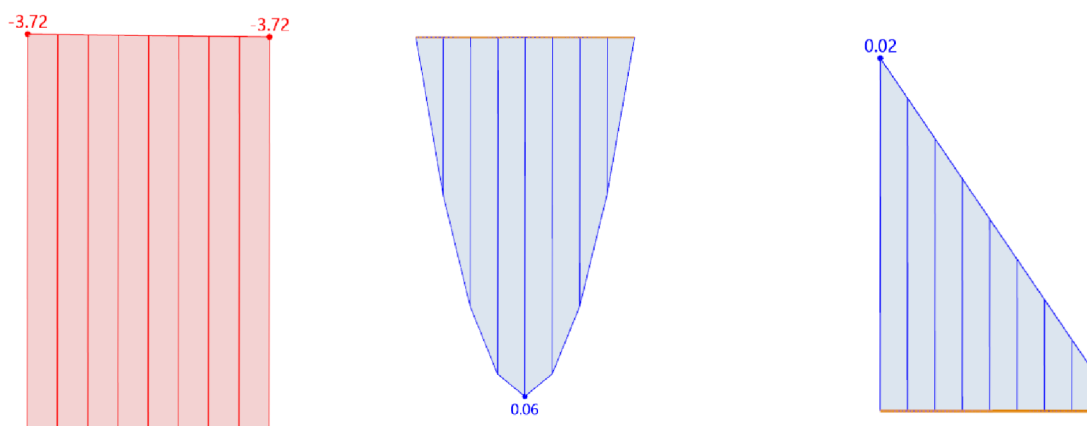
$$M_{y,odp.} = 0,00 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,y,d} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$M_{z,max} = \mathbf{0,02 \text{ kNm}} \quad \sigma_{m,z,d} = 0,02 \text{ MPa}$$

$$\text{Podmínka 1: } 0,005 \leq 1$$

$$\text{Podmínka 2: } 0,008 \leq 1$$

VYHOVUJE



Obr. 6.7 Model č.1-1: Horní kleština – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z
 Posouzení programem: 0,006 na osový tlak se vzpěrem a dvouosý ohyb

Varianta č.2:

$$N_{c,max} = \mathbf{-3,50 \text{ kN}} \quad \sigma_{c,0,d} = 0,13 \text{ MPa}$$

$$M_{y,odp.} = 0,06 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,y,d} = 0,06 \text{ MPa}$$

$$M_{z,odp.} = 0,00 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,z,d} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$\text{Podmínka 1: } 0,010 \leq 1$$

$$\text{Podmínka 2: } 0,017 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$N_{c,odp.} = -3,38 \text{ kN} \quad \sigma_{c,0,d} = 0,12 \text{ MPa}$$

$$M_{y,max} = \mathbf{0,06 \text{ kNm}} \quad \sigma_{m,y,d} = 0,06 \text{ MPa}$$

$$M_{z,odp.} = 0,00 \text{ kNm} \quad \sigma_{m,z,d} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$\text{Podmínka 1: } 0,010 \leq 1$$

$$\text{Podmínka 2: } 0,016 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$N_{c,odp.} = -3,38 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 0,12 \text{ MPa}$$

$$\text{Podmínka 1: } 0,008 \leq 1$$

$$M_{y,odp.} = 0,00 \text{ kNm}$$

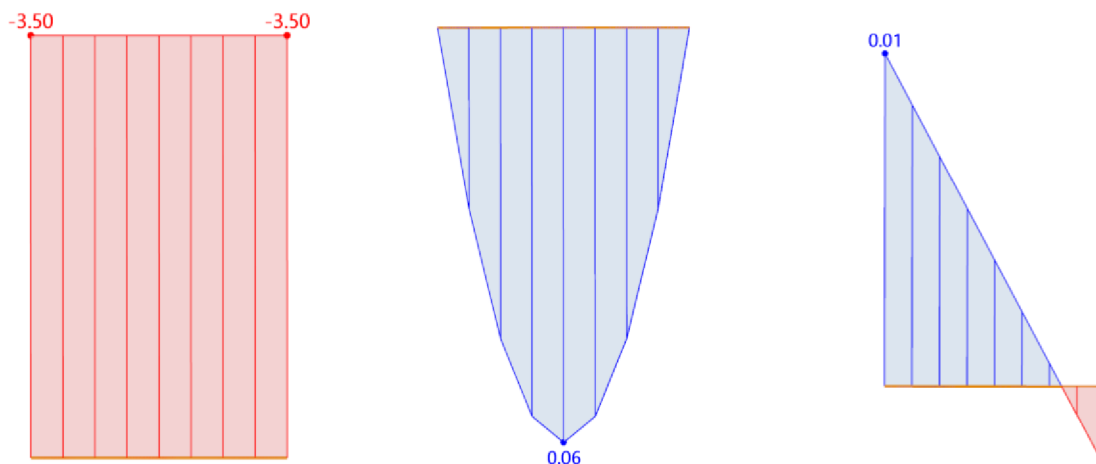
$$\sigma_{m,y,d} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$\text{Podmínka 2: } 0,014 \leq 1$$

$$M_{z,max} = 0,01 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,z,d} = 0,01 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE



Obr. 6.8 Model č.2-1: Horní kleština – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z

Posouzení programem: 0,005 na osový tlak se vzpěrem a dvouosý ohyb

6.4.2. Druhá vazba

Levá krokev

délka prvku

$$L = 8\,700 \text{ mm}$$

součinitel

$$k_m = 0,7$$

součinitel vzpěrné délky

$$\beta = 1,0$$

součinitel rostlé dřevo

$$\beta_c = 0,2$$

vzpěrná délka

$$L_{cr,y,z} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 8\,700 = 8\,700 \text{ mm}$$

štíhlostní poměry

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{8700}{63,5} = 137,01$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{8700}{23,1} = 376,62$$

poměrné štíhlostní poměry

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{137,01}{\pi} \sqrt{\frac{25}{8700}} = 2,34$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{376,62}{\pi} \sqrt{\frac{25}{8700}} = 6,43$$

součinitelé vzpěrnosti

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

$$= 0,5 (1 + 0,2 (2,34 - 0,3) + 2,34^2) = 3,44$$

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

$$= 0,5 (1 + 0,2 (6,43 - 0,3) + 6,43^2) = 21,78$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{3,44 + \sqrt{3,44^2 - 2,34^2}} = 0,17$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{21,78 + \sqrt{21,78^2 - 6,43^2}} = 0,02$$

Krokve se posuzují na kombinaci tahu a ohybu:

$N_{t,max} = 21,99 \text{ kN}$ $\sigma_{t,0,d} = 1,25 \text{ MPa}$ Podmínka 1: $0,852 \leq 1$

$M_{y,odp.} = -11,58 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 17,95 \text{ MPa}$ Podmínka 2: $0,641 \leq 1$

$M_{z,odp.} = 0,21 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 0,89 \text{ MPa}$ **VYHOVUJE**

$N_{t,odp.} = 21,69 \text{ kN}$ $\sigma_{t,0,d} = 1,23 \text{ MPa}$ Podmínka 1: $0,870 \leq 1$

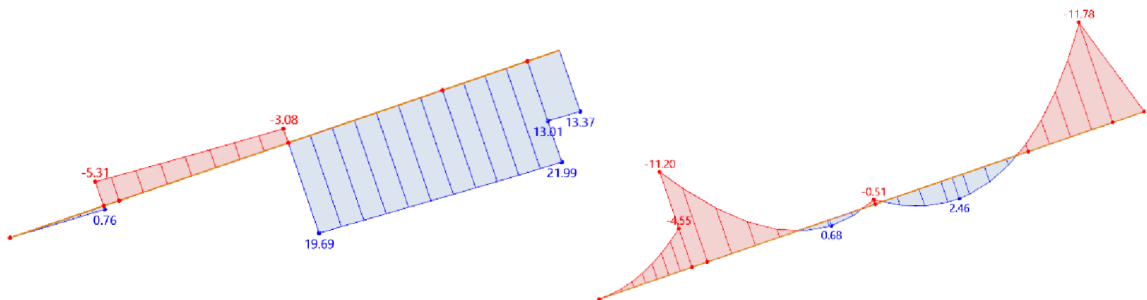
$M_{y,max} = -11,78 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 18,26 \text{ MPa}$ Podmínka 2: $0,658 \leq 1$

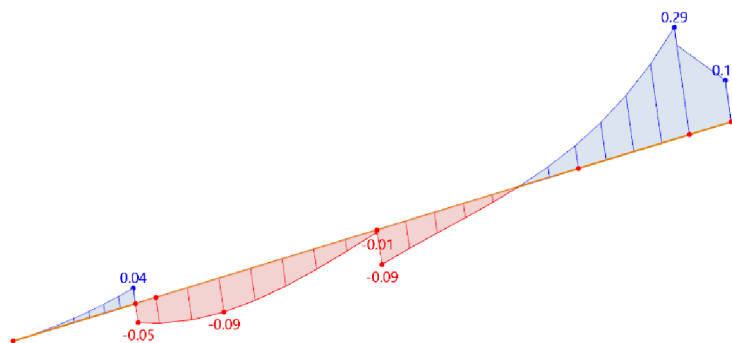
$M_{z,odp.} = 0,26 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 1,11 \text{ MPa}$ **VYHOVUJE**

$N_{t,odp.} = 19,94 \text{ kN}$ $\sigma_{t,0,d} = 1,13 \text{ MPa}$ Podmínka 1: $0,828 \leq 1$

$M_{y,odp.} = -11,18 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 17,33 \text{ MPa}$ Podmínka 2: $0,629 \leq 1$

$M_{z,max} = 0,29 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 1,23 \text{ MPa}$ **VYHOVUJE**





Obr. 6.9 Model č.3: Levá krokev – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z

Posouzení programem: 0,652 na osový tah a dvouosý ohyb

Prvek je též namáhán na kombinaci tlaku a ohybu, ale protože tlakové síly jsou velmi malé, nebude toto namáhání počítat a budu předpokládat, že kritické namáhání je při kombinaci tahu a ohybu.

Pravá krokev

délka prvku	$L = 8\,220 \text{ mm}$
součinitel	$k_m = 0,7$
součinitel vzpěrné délky	$\beta = 1,0$
součinitel rostlé dřevu	$\beta_c = 0,2$
vzpěrná délka	$L_{cr,y,z} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 8\,220 = 8\,220 \text{ mm}$
štíhlostní poměry	$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{8220}{63,5} = 129,45$
	$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{8220}{23,1} = 355,84$
poměrné štíhlostní poměry	$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{129,45}{\pi} \sqrt{\frac{25}{8700}} = 2,21$
	$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{355,84}{\pi} \sqrt{\frac{25}{8700}} = 6,07$
součinitele vzpěrnosti	$k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) =$ $= 0,5 (1 + 0,2 (2,21 - 0,3) + 2,21^2) = 3,13$
	$k_z = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) =$ $= 0,5 (1 + 0,2 (6,07 - 0,3) + 6,07^2) = 19,50$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{3,13 + \sqrt{3,13^2 - 2,21^2}} = 0,19$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{19,50 + \sqrt{19,50^2 - 6,07^2}} = 0,03$$

Krokve se posuzují na kombinaci tlaku a ohybu:

$N_{t,max} = 21,19 \text{ kN}$ $\sigma_{c,0,d} = 1,20 \text{ MPa}$ Podmínka 1: $0,097 \leq 1$

$M_{y,odp.} = 0,00 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 0,00 \text{ MPa}$ Podmínka 2: $0,105 \leq 1$

$M_{z,odp.} = 0,12 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 0,51 \text{ MPa}$ **VYHOVUJE**

$N_{t,odp.} = 18,51 \text{ kN}$ $\sigma_{c,0,d} = 1,05 \text{ MPa}$ Podmínka 1: $0,403 \leq 1$

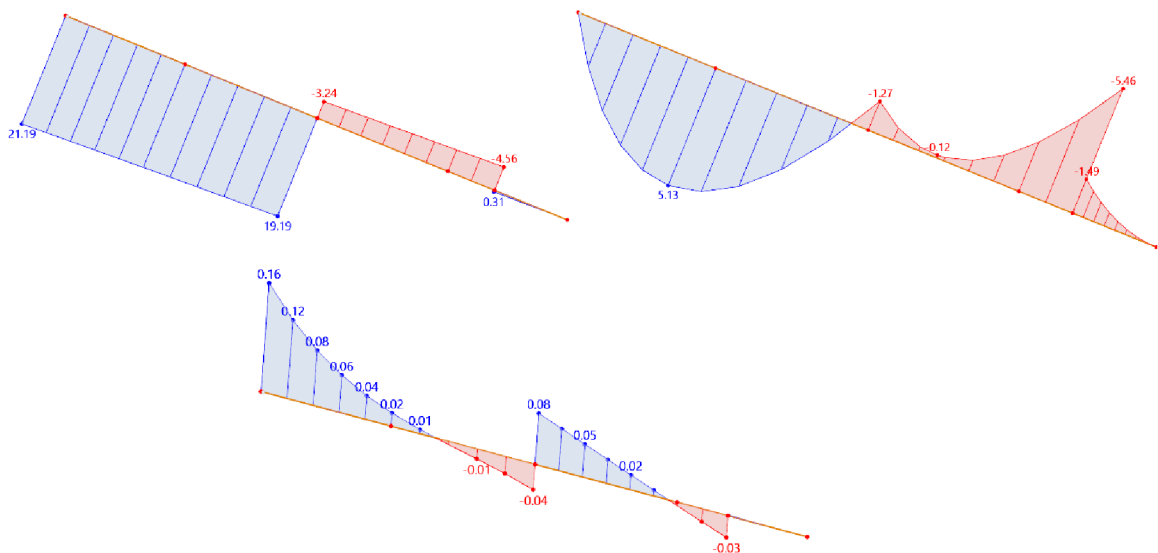
$M_{y,max} = 5,13 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 7,95 \text{ MPa}$ Podmínka 2: $0,306 \leq 1$

$M_{z,odp.} = 0,02 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 0,09 \text{ MPa}$ **VYHOVUJE**

$N_{t,odp.} = 19,67 \text{ kN}$ $\sigma_{c,0,d} = 1,12 \text{ MPa}$ Podmínka 1: $0,097 \leq 1$

$M_{y,odp.} = 0,00 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 0,00 \text{ MPa}$ Podmínka 2: $0,105 \leq 1$

$M_{z,max} = 0,16 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 0,68 \text{ MPa}$ **VYHOVUJE**



Obr. 6.10 Model č.3: Pravá krokve – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z

Posouzení programem: 0,152 na osový tah a dvouosý ohyb

Prvek je též namáhán na kombinaci tlaku a ohybu, ale protože tlakové síly jsou velmi malé, nebude toto namáhání počítat a budu předpokládat, že kritické namáhání je při kombinaci tahu a ohybu.

Kleština

délka prvku	$L = 9\,730\text{ mm}$
součinitel	$k_m = 1,0$
součinitel vzpěrné délky	$\beta = 1,0$
součinitel rostlé dřevu	$\beta_c = 0,2$
vzpěrná délka	$L_{cr,y,z} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 9\,730 = 9\,730\text{ mm}$
štíhlostní poměry	$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{9730}{63,5} = 153,23$
	$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{9730}{17,3} = 562,43$
poměrné štíhlostní poměry	$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{153,23}{\pi} \sqrt{\frac{25}{8700}} = 2,62$
	$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{562,43}{\pi} \sqrt{\frac{25}{8700}} = 9,60$
součinitele vzpěrnosti	$k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) =$ $= 0,5 (1 + 0,2 (2,62 - 0,3) + 2,62^2) = 4,16$
	$k_z = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) =$ $= 0,5 (1 + 0,2 (9,60 - 0,3) + 9,60^2) = 47,51$
	$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{4,16 + \sqrt{4,16^2 - 2,62^2}} = 0,14$
	$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{29,08 + \sqrt{29,08^2 - 7,60^2}} = 0,02$

Kleštiny se posuzují na kombinaci tlaku a ohybu:

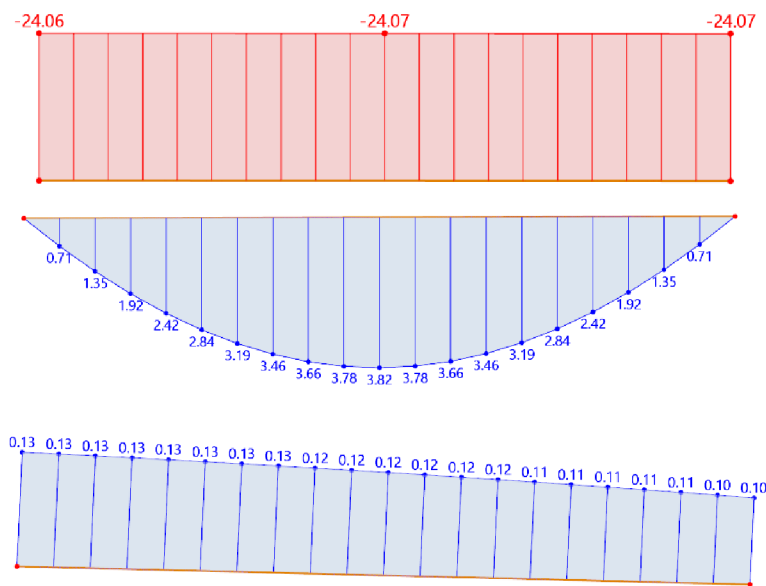
$N_{c,max} = -24,07\text{ kN}$ $\sigma_{c,0,d} = 0,91\text{ MPa}$ Podmínka 1: $0,556 \leq 1$

$M_{y,odp.} = 3,82\text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 3,95\text{ MPa}$ Podmínka 2: $2,809 \leq 1$

$M_{z,odp.} = 0,11\text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 0,08\text{ MPa}$ **NEVYHOVUJE**

$N_{c,odp.} = -24,07 \text{ kN}$ $\sigma_{c,0,d} = 0,91 \text{ MPa}$ Podmínka 1: $0,557 \leq 1$
 $M_{y,max} = 3,82 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 3,95 \text{ MPa}$ Podmínka 2: $2,809 \leq 1$
 $M_{z,odp.} = 0,11 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 0,08 \text{ MPa}$ **NEVYHOVUJE**

$N_{c,odp.} = -10,36 \text{ kN}$ $\sigma_{c,0,d} = 0,39 \text{ MPa}$ Podmínka 1: $0,543 \leq 1$
 $M_{y,odp.} = 0,00 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,y,d} = 0,00 \text{ MPa}$ Podmínka 2: $1,130 \leq 1$
 $M_{z,max} = 0,13 \text{ kNm}$ $\sigma_{m,z,d} = 0,09 \text{ MPa}$ **NEVYHOVUJE**



Obr. 6.11 Model č.3: Kleština – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z

Posouzení programem: 2,005 na osový tlak se vzpěrem a dvouosý ohyb

Posuzovaný prvek nevyhověl na mezní stav únosnosti. V podélném směru konstrukce je však uvažována nosná stěna, skrz kterou kleštiny prochází, když se bude uvažovat s tím, že je kleština touto stěnou podpírána, zkrátí se její vzpěrná délka:

Tabulka 4 Výpočet součinitelů vzpěrnosti

$L_{cr,y,z}$ [mm]	λ_y	λ_z	$\lambda_{rel,y}$	$\lambda_{rel,z}$	k_y	k_z	$k_{c,y}$	$k_{c,z}$
4900	77,16	283,24	1,29	4,78	1,45	12,57	0,45	0,06

Podmínka 1: $0,277 \leq 1$ **VYHOVUJE**

Podmínka 2: $0,998 \leq 1$ **VYHOVUJE**

7. Mezní stav použitelnosti

Prvky budu na mezní stav použitelnosti posuzovat na limitní průhyby – okamžitý a konečný.

7.1. První vazba

Levá krokev

<u>Okamžitý průhyb</u> –	délka prvku	$L = 5\,820\text{ mm}$
	limitní průhyb	$w_{\text{lim}} = \frac{L}{300} = \frac{5820}{300} = 19,4\text{ mm}$
varianta č.1	průhyb	$w_{\text{inst}} = 12,2\text{ mm}$

$$w_{\text{inst}} \leq w_{\text{lim}}$$

$$12,2\text{ mm} \leq 19,4\text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

varianta č.2	průhyb	$w_{\text{inst}} = 9,8\text{ mm}$
--------------	--------	-----------------------------------

$$w_{\text{inst}} \leq w_{\text{lim}}$$

$$9,8\text{ mm} \leq 19,4\text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

<u>Konečný průhyb</u> –	délka prvku	$L = 5\,820\text{ mm}$
	limitní průhyb	$w_{\text{lim}} = \frac{L}{200} = \frac{5820}{200} = 29,1\text{ mm}$
varianta č.1	průhyb	$w_{\text{fin}} = 15,2\text{ mm}$

$$w_{\text{fin}} \leq w_{\text{lim}}$$

$$15,2\text{ mm} \leq 29,1\text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

varianta č.2	průhyb	$w_{\text{fin}} = 12,2\text{ mm}$
--------------	--------	-----------------------------------

$$w_{\text{fin}} \leq w_{\text{lim}}$$

$$12,2\text{ mm} \leq 29,1\text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Převislý konec – levá krokev

<u>Okamžitý průhyb</u> –	délka prvku	$L = 1\,640\text{ mm}$
	limitní průhyb	$w_{\text{lim}} = \frac{L}{150} = \frac{1640}{150} = 10,9\text{ mm}$
	průhyb	$w_{\text{inst}} = 3,6\text{ mm}$

varianta č.1 $w_{inst} \leq w_{lim}$
 $3,6 \text{ mm} \leq 10,9 \text{ mm}$ **VYHOVUJE**

varianta č.2 průhyb $w_{inst} = 3,0 \text{ mm}$
 $w_{inst} \leq w_{lim}$
 $3,0 \text{ mm} \leq 10,9 \text{ mm}$ **VYHOVUJE**

Konečný průhyb – délka prvku $L = 1\,640 \text{ mm}$
limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{100} = \frac{1640}{100} = 16,4 \text{ mm}$

varianta č.1 průhyb $w_{fin} = 4,3 \text{ mm}$
 $w_{fin} \leq w_{lim}$
 $4,3 \text{ mm} \leq 16,4 \text{ mm}$ **VYHOVUJE**

varianta č.2 průhyb $w_{fin} = 2,8 \text{ mm}$
 $w_{fin} \leq w_{lim}$
 $2,8 \text{ mm} \leq 16,4 \text{ mm}$ **VYHOVUJE**

Pravá krokev

Okamžitý průhyb – délka prvku $L = 5\,500 \text{ mm}$
limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{5500}{300} = 18,3 \text{ mm}$

varianta č.1 průhyb $w_{inst} = 5,2 \text{ mm}$
 $w_{inst} \leq w_{lim}$
 $5,2 \text{ mm} \leq 18,3 \text{ mm}$ **VYHOVUJE**

varianta č.2 průhyb $w_{inst} = 4,2 \text{ mm}$
 $w_{inst} \leq w_{lim}$
 $4,2 \text{ mm} \leq 18,3 \text{ mm}$ **VYHOVUJE**

Konečný průhyb – délka prvku $L = 5\,500 \text{ mm}$
limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{5500}{200} = 27,5 \text{ mm}$

varianta č.1	průhyb	$w_{fin} = 6,2 \text{ mm}$	
		$w_{fin} \leq w_{lim}$	
		$6,2 \text{ mm} \leq 27,5 \text{ mm}$	VYHOVUJE
varianta č.2	průhyb	$w_{fin} = 4,9 \text{ mm}$	
		$w_{fin} \leq w_{lim}$	
		$4,9 \text{ mm} \leq 27,5 \text{ mm}$	VYHOVUJE

Převislý konec – pravá krokev

<u>Okamžitý průhyb</u> –	délka prvku	$L = 1\,860 \text{ mm}$	
	limitní průhyb	$w_{lim} = \frac{L}{150} = \frac{1860}{150} = 12,4 \text{ mm}$	
varianta č.1	průhyb	$w_{inst} = 2,9 \text{ mm}$	
		$w_{inst} \leq w_{lim}$	
		$2,9 \text{ mm} \leq 12,4 \text{ mm}$	VYHOVUJE
varianta č.2	průhyb	$w_{inst} = 4,3 \text{ mm}$	
		$w_{inst} \leq w_{lim}$	
		$4,3 \text{ mm} \leq 10,93 \text{ mm}$	VYHOVUJE
<u>Konečný průhyb</u> –	délka prvku	$L = 1\,860 \text{ mm}$	
	limitní průhyb	$w_{lim} = \frac{L}{100} = \frac{1860}{100} = 18,6 \text{ mm}$	
varianta č.1	průhyb	$w_{fin} = 2,7 \text{ mm}$	
		$w_{fin} \leq w_{lim}$	
		$2,7 \text{ mm} \leq 18,6 \text{ mm}$	VYHOVUJE
varianta č.2	průhyb	$w_{fin} = 4,5 \text{ mm}$	
		$w_{fin} \leq w_{lim}$	
		$4,5 \text{ mm} \leq 18,6 \text{ mm}$	VYHOVUJE

Spodní kleština

<u>Okamžitý průhyb</u> –	délka prvku	$L = 4\,990 \text{ mm}$	
	limitní průhyb	$w_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{4990}{300} = 16,6 \text{ mm}$	

varianta č.1	průhyb	$w_{inst} = 7,0 \text{ mm}$
		$w_{inst} \leq w_{lim}$
		$7,0 \text{ mm} \leq 16,6 \text{ mm}$ VYHOVUJE
varianta č.2	průhyb	$w_{inst} = 5,9 \text{ mm}$
		$w_{inst} \leq w_{lim}$
		$5,9 \text{ mm} \leq 16,6 \text{ mm}$ VYHOVUJE
<u>Konečný průhyb</u> –	délka prvku	$L = 4\,990 \text{ mm}$
	limitní průhyb	$w_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{4990}{200} = 24,9 \text{ mm}$
varianta č.1	průhyb	$w_{fin} = 8,2 \text{ mm}$
		$w_{fin} \leq w_{lim}$
		$8,2 \text{ mm} \leq 24,9 \text{ mm}$ VYHOVUJE
varianta č.2	průhyb	$w_{fin} = 7,0 \text{ mm}$
		$w_{fin} \leq w_{lim}$
		$7,0 \text{ mm} \leq 24,9 \text{ mm}$ VYHOVUJE
<u>Horní kleština</u>		
<u>Okamžitý průhyb</u> –	délka prvku	$L = 1\,290 \text{ mm}$
	limitní průhyb	$w_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{1290}{300} = 4,3 \text{ mm}$
varianta č.1	průhyb	$w_{inst} = 1,1 \text{ mm}$
		$w_{inst} \leq w_{lim}$
		$1,1 \text{ mm} \leq 4,3 \text{ mm}$ VYHOVUJE
varianta č.2	průhyb	$w_{inst} = 1,0 \text{ mm}$
		$w_{inst} \leq w_{lim}$
		$1,0 \text{ mm} \leq 4,3 \text{ mm}$ VYHOVUJE
<u>Konečný průhyb</u> –	délka prvku	$L = 1\,290 \text{ mm}$
	limitní průhyb	$w_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{1290}{200} = 6,5 \text{ mm}$

varianta č.2

průhyb

$w_{fin} = 1,3 \text{ mm}$

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$1,3 \text{ mm} \leq 6,5 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

varianta č.2

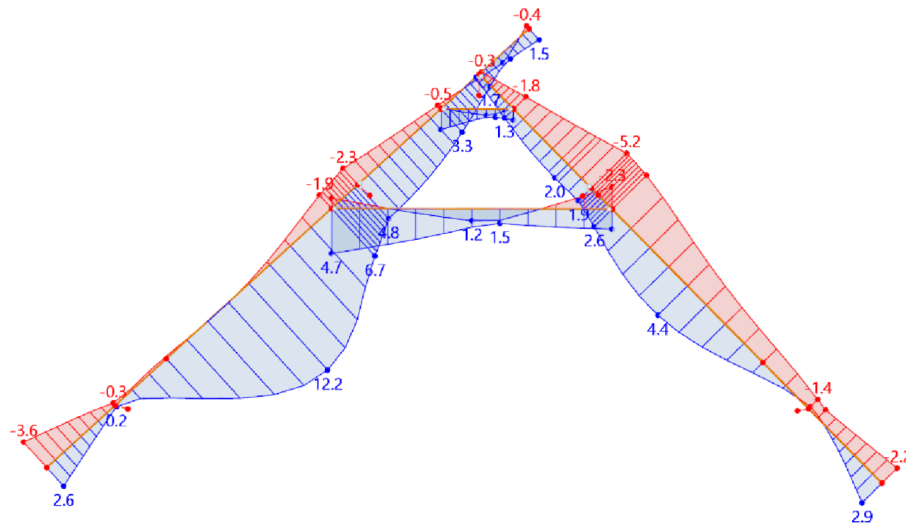
průhyb

$w_{fin} = 1,2 \text{ mm}$

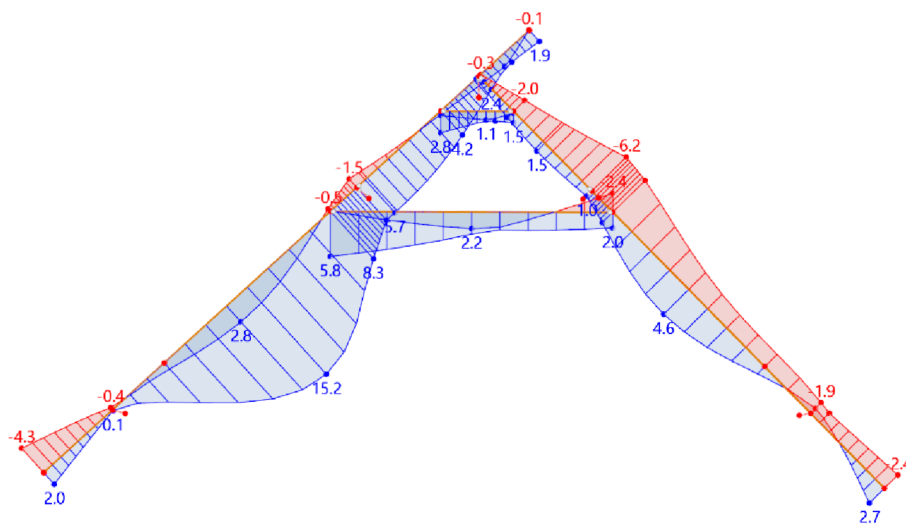
$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$1,2 \text{ mm} \leq 6,5 \text{ mm}$$

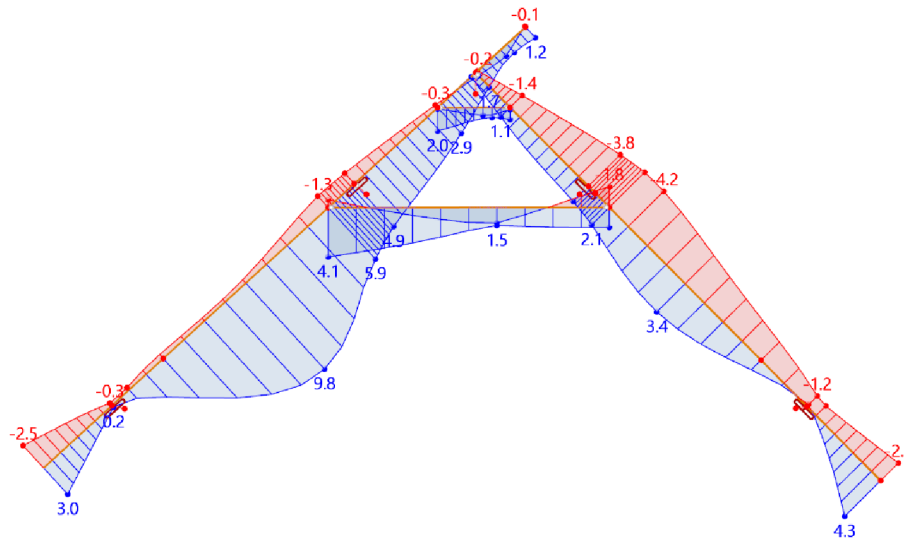
VYHOVUJE



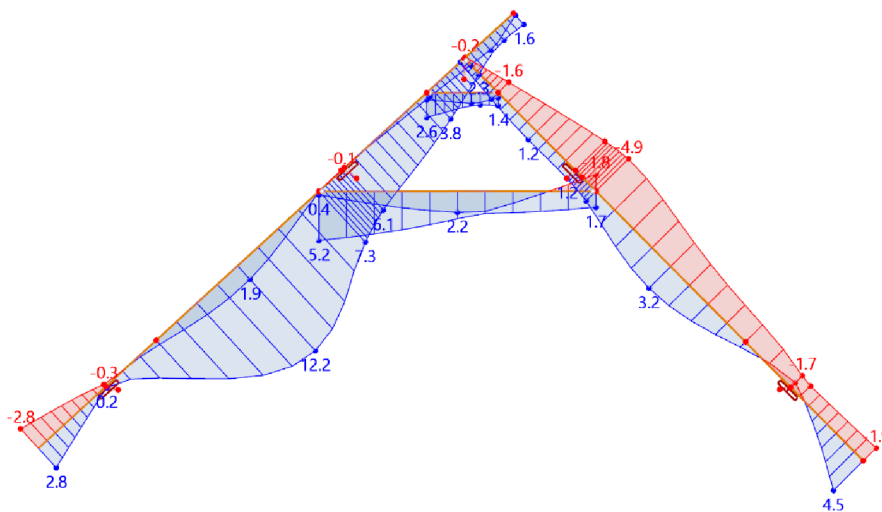
Obr. 7.1 Model č.1-1: Lokální deformace u_z charakteristické kombinace



Obr. 7.2 Model č.1-1: Lokální deformace u_z kvazistálé kombinace



Obr. 7.3 Model č.2-1: Lokální deformace u , charakteristické kombinace



Obr. 7.4 Model č.2-1: Lokální deformace u , kvazistálé kombinace

7.2. Druhá vazba

Levá krokev

Okamžitý průhyb –

délka prvku

$$L = 8\,700 \text{ mm}$$

limitní průhyb

$$w_{\text{lim}} = \frac{L}{300} = \frac{8700}{300} = 29,0 \text{ mm}$$

průhyb

$$w_{\text{inst}} = 10,0 \text{ mm}$$

$$w_{\text{inst}} \leq w_{\text{lim}}$$

$$10,0 \text{ mm} \leq 29,0 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

<u>Konečný průhyb</u> –	délka prvku	$L = 8\,700\text{ mm}$
	limitní průhyb	$w_{\text{lim}} = \frac{L}{200} = \frac{8700}{200} = 43,5\text{ mm}$
	průhyb	$w_{\text{fin}} = 11,7\text{ mm}$
		$w_{\text{fin}} \leq w_{\text{lim}}$
		$11,7\text{ mm} \leq 43,5\text{ mm}$ VYHOVUJE

Převislý konec – levá krokev

<u>Okamžitý průhyb</u> –	délka prvku	$L = 1\,930\text{ mm}$
	limitní průhyb	$w_{\text{lim}} = \frac{L}{150} = \frac{1930}{150} = 12,9\text{ mm}$
	průhyb	$w_{\text{inst}} = 17,6\text{ mm}$
		$w_{\text{inst}} \leq w_{\text{lim}}$
		$17,6\text{ mm} \leq 12,9\text{ mm}$ VYHOVUJE

<u>Konečný průhyb</u> –	délka prvku	$L = 1\,930\text{ mm}$
	limitní průhyb	$w_{\text{lim}} = \frac{L}{100} = \frac{1930}{100} = 19,3\text{ mm}$
	průhyb	$w_{\text{fin}} = 19,3\text{ mm}$
		$w_{\text{fin}} \leq w_{\text{lim}}$
		$19,3\text{ mm} \leq 19,3\text{ mm}$ VYHOVUJE

Pravá krokev

<u>Okamžitý průhyb</u> –	délka prvku	$L = 8\,220\text{ mm}$
	limitní průhyb	$w_{\text{lim}} = \frac{L}{300} = \frac{8220}{300} = 27,4\text{ mm}$
	průhyb	$w_{\text{inst}} = 17,2\text{ mm}$
		$w_{\text{inst}} \leq w_{\text{lim}}$
		$17,2\text{ mm} \leq 27,4\text{ mm}$ VYHOVUJE

<u>Konečný průhyb</u> –	délka prvku	$L = 8\,220\text{ mm}$
	limitní průhyb	$w_{\text{lim}} = \frac{L}{200} = \frac{8220}{200} = 41,1\text{ mm}$

průhyb $w_{fin} = 21,4 \text{ mm}$

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$21,4 \text{ mm} \leq 41,1 \text{ mm}$ **VYHOVUJE**

Převislý konec – pravá krokev

Okamžitý průhyb –

délka prvku $L = 1\,400 \text{ mm}$

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{150} = \frac{1400}{150} = 9,3 \text{ mm}$

průhyb $w_{inst} = 6,2 \text{ mm}$

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$6,2 \text{ mm} \leq 9,3 \text{ mm}$ **VYHOVUJE**

Konečný průhyb –

délka prvku $L = 1\,400 \text{ mm}$

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{100} = \frac{1400}{100} = 14,0 \text{ mm}$

průhyb $w_{fin} = 7,2 \text{ mm}$

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$7,2 \text{ mm} \leq 14,0 \text{ mm}$ **VYHOVUJE**

Kleština

Okamžitý průhyb –

délka prvku $L = 9\,730 \text{ mm}$

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{9730}{300} = 32,4 \text{ mm}$

průhyb $w_{inst} = 18,1 \text{ mm}$

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$18,1 \text{ mm} \leq 32,4 \text{ mm}$ **VYHOVUJE**

Konečný průhyb –

délka prvku $L = 9\,730 \text{ mm}$

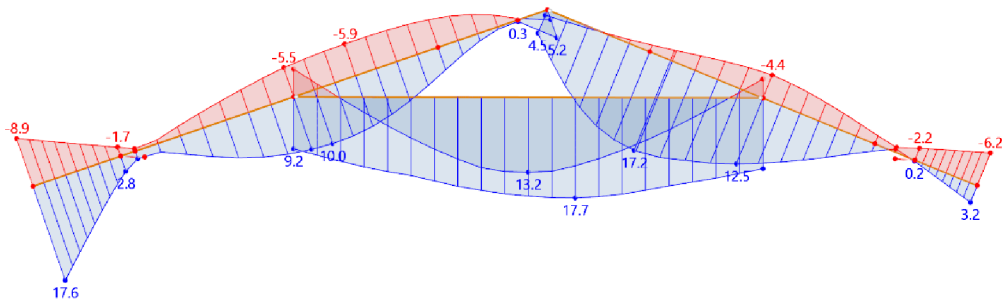
limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{9730}{200} = 48,7 \text{ mm}$

průhyb

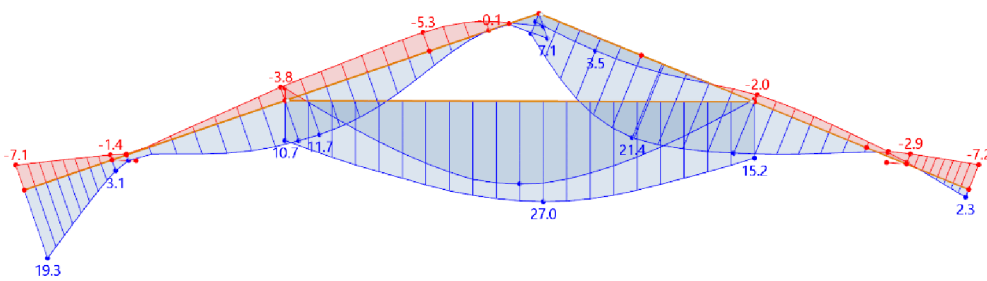
$$w_{fin} = 25,5 \text{ mm}$$

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$25,5 \text{ mm} \leq 48,7 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$



Obr. 7.5 Model č.3: Lokální deformace u_z charakteristické kombinace



Obr. 7.6 Model č.3: Lokální deformace u_z kvazistálé kombinace

8. Závěr

Bakalářská práce zpracovává statickou analýzu vybrané střešní konstrukce. Jednotlivé zatěžovací stavy jsem řešila na základě ČSN EN 1991-1-1. Klimatické podmínky byly řešeny pro reálné umístění stavby v obci Dobříň. Z důvodu velké proměnlivosti zatěžovacích šířek jsem všechna zatížení počítala pro každou krok ev zvlášť. Následné kombinace zatěžovacích stavů byly vytvořeny výpočtovým programem Dlubal RFEM 6.01, podle normy.

V programu jsem dále vytvořila prostorové i rovinné modely, které se lišily způsobem řešení osedlání krokví na vaznice. Modely byly vytvořeny pro pochopení chování prostorových a rovinných konstrukcí a k porovnání rozdílů v průběhu vnitřních sil a deformací u jednotlivých způsobů řešení.

V další části jsem provedla posouzení na mezní stav únosnosti, kdy u některých prvků byl proveden ruční výpočet, jehož výsledky jsem následně porovnála s výpočtovým programem. Rozdíly mezi výsledky byly minimální. Prvky byly posuzovány na kombinaci tlaku a dvouosého ohybu a tahu a dvouosého ohybu. V některých případech nebylo nutné jednu z variant počítat z důvodu malých vnitřních sil. Posouzení jsem dělala pro tři prostorové modely. U třetího kleština nevyhověla posudku, ale protože je zde nosná stěna, která by kleštinu mohla podpírat a tím by zmenšila vzpěrnou délku, přepočítala jsem posudek i pro tuto možnost a vyhověla.

U mezního stavu použitelnosti jsem vybrané prvky posuzovala na charakteristickou kombinaci, kdy je posuzována na okamžitý průhyb prvku a na kvazistálou kombinaci, kdy se uvažuje dotvarování konstrukce. Všechny prvky vyhověly a nepřekročily limitní hodnoty. Posouzení jsem opět dělala pro tři prostorové modely.

9. Seznam použitých zdrojů

- [1] ČSN EN 1991-1-3 (730035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [2] ČSN EN 1991-1-4 (730035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Praha: Český normalizační institut, 2007
- [3] ČSN EN 1991-1-1 (731701) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2004
- [4] ČSN EN 1990 (730002) Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2004
- [5] ČSN EN 1995-1-1 (731701) Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2006
- [6] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-72-0.

10. Seznam obrázků

Obr. 2.1 Půdorys střechy	11
Obr. 2.2 Model krovu, pohled shora	12
Obr. 2.3 Model krovu	12
Obr. 3.1 Vazba č.1: Schéma zatížení ostatním stálým zatížením	14
Obr. 3.2 Vazba č.2: Schéma zatížení ostatním stálým zatížením	14
Obr. 3.3 Mapa sněhových oblastí	15
Obr. 3.4 Tvarové součinitele zatížení sněhem	15
Obr. 3.5 Vazba č.1: Schéma zatížení sněhem pravým	16
Obr. 3.6 Vazba č.2: Schéma zatížení sněhem pravým	16
Obr. 3.7 Vazba č.1: Schéma zatížení sněhem levým	17
Obr. 3.8 Vazba č.2: Schéma zatížení sněhem levým	17
Obr. 3.9 Vazba č.1: Schéma zatížení sněhem plným	17
Obr. 3.10 Vazba č.2: Schéma zatížení sněhem plným	18
Obr. 3.11 Mapa větrných oblastí	18
Obr. 3.12 Vítr příčný levý – rozdělení na oblasti	20
Obr. 3.13 Vítr příčný pravý – rozdělení na oblasti	20
Obr. 3.14 Vítr podélný levý – rozdělení na oblasti	21
Obr. 3.15 Vítr podélný pravý – rozdělení na oblasti	21
Obr. 3.16 Vazba č.1: Schéma zatížení větrem příčným levým – sání	22
Obr. 3.17 Vazba č.2: Schéma zatížení větrem příčným levým – sání	22
Obr. 3.18 Vazba č.1: Schéma zatížení větrem příčným levým – sání + tlak	22
Obr. 3.19 Vazba č.2: Schéma zatížení větrem příčným levým – sání + tlak	22
Obr. 3.20 Vazba č.1: Schéma zatížení větrem příčným pravým – sání	23
Obr. 3.21 Vazba č.2: Schéma zatížení větrem příčným pravým – sání	23
Obr. 3.22 Vazba č.1: Schéma zatížení větrem příčným pravým – sání + tlak	23
Obr. 3.23 Vazba č.2: Schéma zatížení větrem příčným pravým – sání + tlak	23

Obr. 3.24 Vazba č.1: Schéma zatížení větrem podélným levým	24
Obr. 3.25 Vazba č.2: Schéma zatížení větrem podélným levým	24
Obr. 3.26 Vazba č.1: Schéma zatížení větrem podélným pravým	24
Obr. 3.27 Vazba č.2: Schéma zatížení větrem podélným pravým	24
Obr. 3.28 Vazba č.1: Schéma užitečného zatížení	26
Obr. 3.29 Vazba č.2: Schéma užitečného zatížení	26
Obr. 5.1 Detail osedlání krokve na vaznici	28
Obr. 5.2 Detail řešení osedlání krokve ve výpočetních modelech	28
Obr. 5.3 Prostorový model č.1-1	29
Obr. 5.4 Model č.1-1: Průběh normálových sil N od kombinace pro MSÚ	29
Obr. 5.5 Model č.1-1: Průběh posouvajících sil V_z od kombinace pro MSÚ	29
Obr. 5.6 Model č.1-1: Průběh ohybových momentů M_y od kombinace pro MSÚ.	30
Obr. 5.7 Model č.1-1: Deformace u_z od kombinace pro MSP	30
Obr. 5.8 Model č.1-1: Deformace u_x od kombinace pro MSP	30
Obr. 5.9 Rovinný model č.1-2	31
Obr. 5.10 Model č.1-2: Průběh normálových sil N od kombinace pro MSÚ	31
Obr. 5.11 Model č.1-2: Průběh posouvajících sil V_z od kombinace pro MSÚ	31
Obr. 5.12 Model č.1-2: Průběh ohybových momentů M_y od kombinace pro MSÚ.	32
Obr. 5.13 Model č.1-2: Deformace u_z od kombinace pro MSP	32
Obr. 5.14 Model č.1-2: Deformace u_x od kombinace pro MSP	32
Obr. 5.15 Prostorový model č.2-1	33
Obr. 5.16 Model č.2-1: Průběh normálových sil N od kombinace pro MSÚ	33
Obr. 5.17 Model č.2-1: Průběh posouvajících sil V_z od kombinace pro MSÚ	33
Obr. 5.18 Model č.2-1: Průběh ohybových momentů M_y od kombinace pro MSÚ.	33
Obr. 5.19 Model č.2-1: Deformace u_z od kombinace pro MSP	34
Obr. 5.20 Model č.2-1: Deformace u_x od kombinace pro MSP	34
Obr. 5.21 Rovinný model č.2-2	34

Obr. 5.22 Model č.2-2: Průběh normálových sil N od kombinace pro MSÚ	35
Obr. 5.23 Model č.2-2: Průběh posouvajících sil V_z od kombinace pro MSÚ	35
Obr. 5.24 Model č.2-2: Průběh ohybových momentů M_y od kombinace pro MSÚ.	35
Obr. 5.25 Model č.2-2: Deformace u_z od kombinace pro MSP	36
Obr. 5.26 Model č.2-2: Deformace u_x od kombinace pro MSP	36
Obr. 5.27 Statické schéma modelu č.3	36
Obr. 5.28 Model č.3: Průběh normálových sil N od kombinace pro MSÚ	37
Obr. 5.29 Model č.3: Průběh posouvajících sil V_z od kombinace pro MSÚ	37
Obr. 5.30 Model č.3: Průběh ohybových momentů M_y od kombinace pro MSÚ..	37
Obr. 5.31 Model č.3: Deformace u_z od kombinace pro MSP	37
Obr. 5.32 Model č.3: Deformace u_x od kombinace pro MSP	38
Obr. 6.1 Model č.1-1: Levá krokev – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z	43
Obr. 6.2 Model č.2-1: Levá krokev – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z	44
Obr. 6.3 Model č.1-1: Pravá krokev – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z	46
Obr. 6.4 Model č.2-1: Pravá krokev – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z	47
Obr. 6.5 Model č.1-1: Spodní kleština – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z	48
Obr. 6.6 Model č.2-1: Spodní kleština – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z	49
Obr. 6.7 Model č.1-1: Horní kleština – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z	51
Obr. 6.8 Model č.2-1: Horní kleština – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z	52
Obr. 6.9 Model č.3: Levá krokev – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z	54

Obr. 6.10 Model č.3: Pravá krokev – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z	55
Obr. 6.11 Model č.3: Kleština – průběhy extrémních normálových sil, ohybových momentů kolem osy y a z	57
Obr. 7.1 Model č.1-1: Lokální deformace u_z charakteristické kombinace	62
Obr. 7.2 Model č.1-1: Lokální deformace u_z kvazistálé kombinace	62
Obr. 7.3 Model č.2-1: Lokální deformace u_z charakteristické kombinace	63
Obr. 7.4 Model č.2-1: Lokální deformace u_z kvazistálé kombinace	63
Obr. 7.5 Model č.3: Lokální deformace u_z charakteristické kombinace	66
Obr. 7.6 Model č.3: Lokální deformace u_z kvazistálé kombinace	66

11. Seznam tabulek

Tabulka 1 Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku	25
Tabulka 2 Porovnání hodnot na levé krovci	38
Tabulka 3 Průřezové charakteristiky	41
Tabulka 4 Výpočet součinitelů vzpěrnosti	57

12. Seznam příloh

Příloha č.1 – Výpočet zatížení