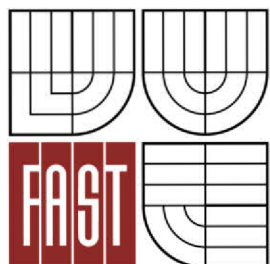


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

MODELOVÁNÍ TRADIČNÍCH DŘEVĚNÝCH KROVŮ

MODELLING OF TRADITIONAL TIMBER ROOF TRUSSES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETRA VITÁSKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ROSTISLAV ZÍDEK, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavební mechaniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Petra Vitásková
Název	Modelování tradičních dřevěných krovů
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Rostislav Zídek, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2011
Datum odevzdání bakalářské práce	25. 5. 2012
V Brně dne 30. 11. 2011	

.....
prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- [1] EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí.
- [2] EN 1991-1-1-1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.
- [3] EN 1991-1-1-3 Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem.
- [4] EN 1991-1-1-4 Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem.
- [5] EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí, Část 1-1: Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [6] ČSN 73 1702: Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [7] BOHUMIL KOŽELOUH (překlad a redakce) Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí, Komentář k ČSN 73 1702, ČKAIT, Praha, 2008.

Zásady pro vypracování

Práce je koncipována jako studie statického působení konstrukcí tradičních dřevěných krovů. Cílem je modelování a posouzení různých variant konstrukčního uspořádání a tvarů zastřešení. Dílčí cíle budou zaměřeny na tvorbu výpočtových modelů střešních konstrukcí, stanovení zatížení, kombinací zatížení, výpočtu vnitřních sil a přemístění konstrukce a následné statické posouzení vybraných prvků a detailů, popřípadě návrh variantních řešení. Pro výpočet vnitřních sil a přemístění bude využit vhodný MKP program. Výchozími předpisy pro stanovení zatížení a provedení posudků bude systém Eurokodů [1-5], popřípadě platná norma [6].

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....

Ing. Rostislav Zídek, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce „Modelování tradičních dřevěných krovů“ se zabývá analýzou chování tradičních dřevěných krovů. Na základě skutečného provedení konstrukcí krovů jsou vytvořeny prutové výpočtové modely, jednotlivé konstrukční prvky jsou posouzeny na první i druhý mezní stav a jsou posouzeny některé spoje. Pro analýzu rovinných i prostorového modelu je použit MKP program SCIA Engineer 2011.1.

Klíčová slova

Dřevěné konstrukce

Krov

Výpočtový model

Věšadlo

Vaznicová soustava

Abstract

Bachelor's thesis "Modelling of traditional timber roof trusses," analyzes the behavior of traditional timber roof trusses. Based on the actual design of roof trusses beam computational models are created, individual structural elements are assessed on the first and second limit state and some connections are considered. For the analysis of planar and three-dimensional model FEM programme SCIA Engineer 2011.1 is used.

Keywords

Timber structures

Roof truss

Computational model

King-post system

Purlin system

Bibliografická citace VŠKP

VITÁSKOVÁ, Petra. *Modelování tradičních dřevěných krovů*. Brno, 2011. 68 s., 89 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební
mechaniky. Vedoucí práce Ing. Rostislav Zídek, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně, a že jsem uvedl(a) všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 22.5.2012

.....

podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat panu Ing. Rostislavu Zídkovi, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce, za jeho trpělivost, ochotu a užitečné rady. Dále bych chtěla poděkovat svým přátelům a rodině za podporu a svým rodičům za to, že mi umožnili tuto vysokou školu studovat.

V Brně dne 22.5.2012

.....
podpis autora

OBSAH

1. ÚVOD	2
2. KROVY SOUSTAVY VAZNICOVÉ SE STOJATOU STOLICÍ	3
2.1 JEDNODUCHÉ VĚŠADLO.....	3
2.1.1 Krokev	3
2.1.2 Vaznice.....	7
2.1.3 Pásek.....	11
2.1.4 Plná příčná vazba – sloupek, vzpěra a vazný trám	11
2.2 DVOJITÉ VĚŠADLO	15
2.2.1 Krokev a kleština.....	15
2.2.2 Vaznice.....	19
2.2.3 Plná příčná vazba.....	22
2.3 TROJITÉ VĚŠADLO	25
2.3.1 Krokev	25
2.3.2 Vaznice – vrcholová	27
2.3.3 Vaznice - mezilehlá	29
2.3.4 Plná příčná vazba.....	31
2.4 VARIANTNÍ ŘEŠENÍ PRO ROZPĚTÍ 16M BEZ VRCHOLOVÉ VAZNICE	35
2.4.1 Krokev	35
2.4.2 Vaznice.....	37
2.4.3 Plná příčná vazba.....	39
3. KROVY SOUSTAVY VAZNICOVÉ S LEŽATOU STOLICÍ	42
3.1 LEŽATÁ STOLICE NA ROZPĚTÍ 6 M	42
3.1.1 Plná příčná vazba.....	42
3.2 LEŽATÁ STOLICE NA ROZPĚTÍ 10M.....	45
3.2.1 Plná příčná vazba.....	45
4. KROV SOUSTAVY HAMBALKOVÉ	51
4.1 KONCEPT RODINNÉHO DOMU – 2D	51
4.1.1 Krokve a kleština.....	51
4.1.2 Vaznice.....	55
4.2 KONCEPT RODINNÉHO DOMU – 3D	58
5. SPOJE	63
5.1 SPOJENÍ KROKVÍ VE VRCHOLU KROVU.....	63
5.2 PŘIPOJENÍ KLEŠTIN NA KROKVE	64
5.3 PŘIPOJENÍ VAZNIC	64
5.4 ZAPUŠTĚNÍ VZPĚRY DO VAZNÉHO TRÁMU	66
6. ZÁVĚR	67
7. PŘÍLOHY	68
8. LITERATURA	157



1. ÚVOD

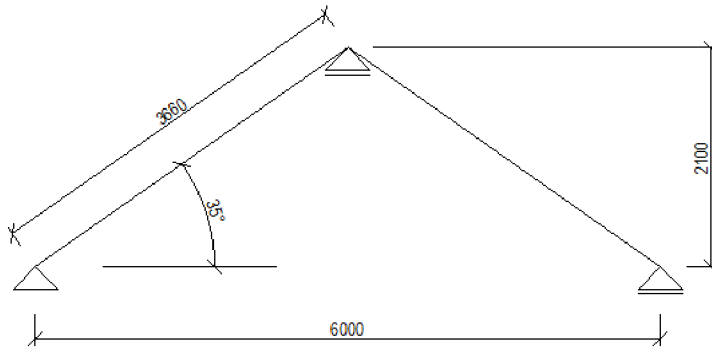
Tato bakalářská práce se zabývá modelováním a statickými výpočty tradičních dřevěných konstrukcí. K tomuto účelu je využita studentská verze programu SCIA Engineer.

Motivací pro vytvoření této práce byla absence výpočtových modelů a popisů statického chování krovů v odborné literatuře, kde se setkáváme většinou pouze se schematickými obrázky daných typů krovů a doporučenými profily jednotlivých konstrukčních prvků. V této práci se proto zabývám především vytvořením správných a funkčních modelů vybraných typů krovů, dále statickým výpočtem jednotlivých konstrukčních prvků a na závěr jsou uvedena řešení vybraných spojů, které mohou být v případě dřevěných konstrukcí rozhodující pro únosnost celé konstrukce.

2. KROVY SOUSTAVY VAZNICOVÉ SE STOJATOU STOLICÍ

2.1 Jednoduché věšadlo

Jednoduché věšadlo je konstrukce s malým počtem prvků, na které je možné bez problémů demonstrovat chování střešních konstrukcí, průběhy vnitřních sil a posuny.

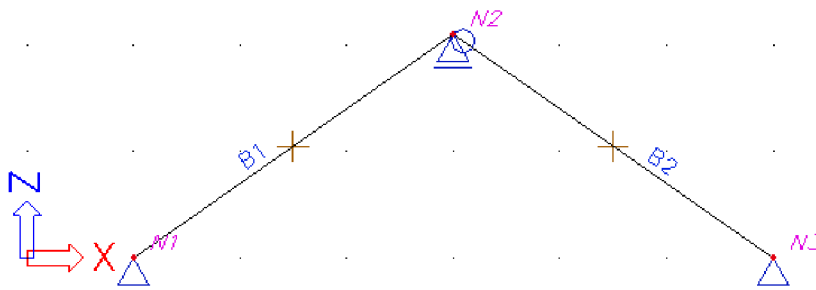


Obr.: 2.1. Geometrie krokve [mm]

2.1.1 Krokev

Výpočtový model

Výpočtový model jalové příčné vazby se skládá ze dvou prutů představujících krokev (prosté nosníky) a tří podpor představujících vaznice soustavy – dvě pozednice a vrcholová vaznice. Vrcholová vaznice, stejně jako pravá pozednice jsou modelovány jako posuvné vazby ve směru X. Konstrukce je staticky určitá, případný průhyb vaznic ani pozednic nebude mít vliv na napjatost. Levá podpora je modelovaná vazbou neposuvnou. Uložení krokví ve vrcholu vazby je modelováno jedním kloubem vloženým na konec prutu (obr. 2.2.).



Obr. 2.2. Výpočtový model krokve

Zatížení

Zatížení krokve tvoří vlastní tíha, ostatní stálé zatížení a klimatická zatížení sněhem a větrem. Zatížení vlastní tíhou je generováno programem. Ostatní stálé zatížení (střešní krytina, laťování, tepelná izolace, záklop z OSB desek) je modelováno jako spojitě liniové zatížení v globálních souřadnicích na délku prutu (obr. 2.3.). Klimatické zatížení sněhem je modelováno jako spojitě liniové zatížení v globálních souřadnicích na průmět prutu (obr. 2.4.). Klimatické zatížení větrem je modelováno jako spojitě liniové zatížení v lokálních souřadnicích (obr. 2.5.).

Celkové zatížení tvoří 10 zatěžovacích stavů (ZS):

- ZS1 – vlastní tíha (standard)
- ZS2 – ostatní stálé zatížení (standard)
- ZS3 – sníh plný (výběrová – sníh)

- ZS4 – sníh pravý (výběrová – sníh)
- ZS5 – sníh levý (výběrová – sníh)
- ZS6 – vítr příčný – zleva tlak, zprava sání (výběrová – vítr)
- ZS7 – vítr příčný – zleva tlak, zprava tlak (výběrová – vítr)
- ZS8 – vítr příčný – zleva sání, zprava tlak (výběrová – vítr)
- ZS9 – vítr příčný – zleva sání, zprava sání (výběrová – vítr)
- ZS10 – vítr podélný (výběrová – vítr)

V závorkách je uvedeno nastavení *Skupiny zatížení* (standard – ze skupiny může být použito pro kombinaci více zatěžovacích stavů; výběrová – ze skupiny může být použit maximálně jeden zatěžovací stav).

Hodnoty zatížení v charakteristických hodnotách:

- Vlastní tíha generuje program
- Ostatní stálé zatížení $g_1=0,829 \text{ kN/m}^2$
- Zatížení sněhem $s_k=1,33 \text{ kN/m}^2$ (včetně součinitele tvaru střechy)
(IV. sněhová oblast)
- Zatížení větrem $q_p=0,548 \text{ kN/m}^2$ (bez součinitele vnějšího tlaku)
(II. větrová oblast)

Kombinace zatížení dle ČSN EN 1990:

$$6.10.a \quad \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

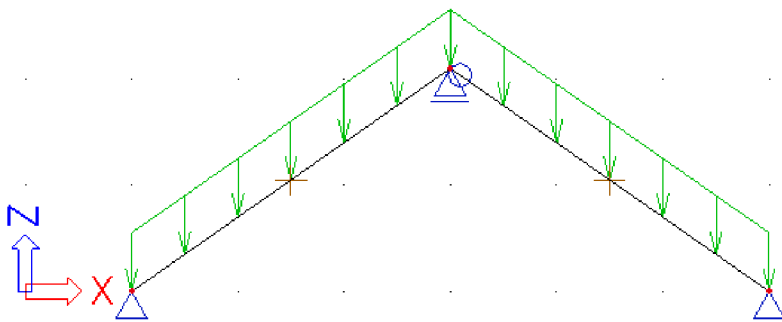
$$6.10.b \quad \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Součinitele zatížení

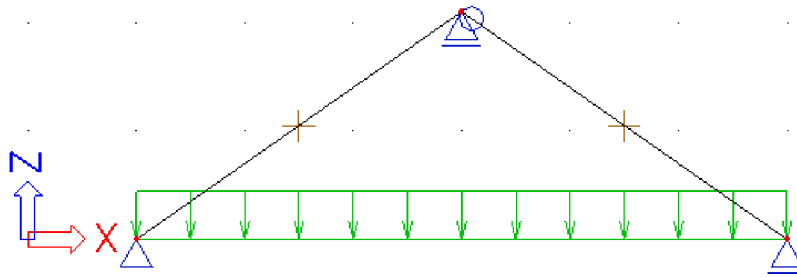
- $\gamma_G = 1,00$ příznivé účinky
- $= 1,35$ nepříznivé účinky
- $\gamma_Q = 1,00$ příznivé účinky
- $= 1,50$ nepříznivé účinky

Kombinační součinitele

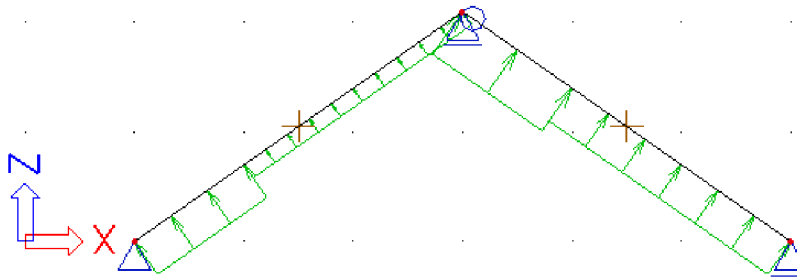
- $\psi_0 = 0,7$ nahodilé zatížení v budovách, kromě skladovacích prostor
- $= 0,6$ zatížení větrem
- $= 0,5$ zatížení sněhem



Obr. 2.3. Zatížení modelu ostatním stálým zatížením – ZS2 [kN/m]



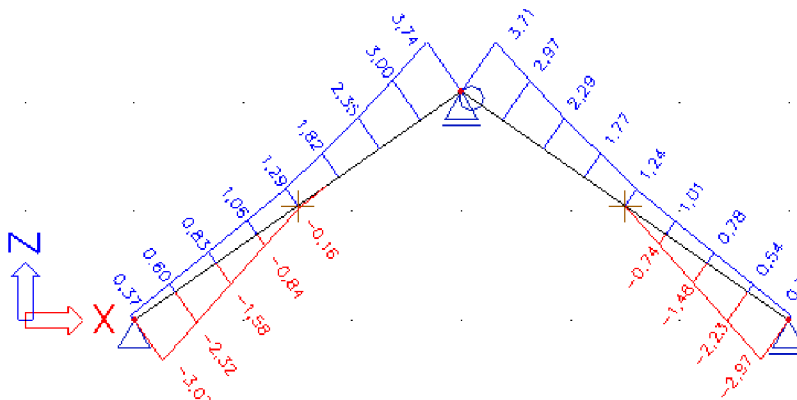
Obr. 2.4. Zatížení plným sněhem – ZS3 [kN/m] (zatížení na krokv v globálních souřadnicích na délku prutu; program SCIA toto zatížení graficky vloží do počátečního uzlu prutu)



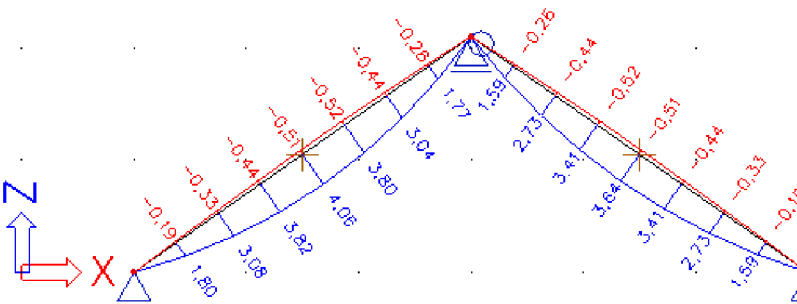
Obr. 2.5. Zatížení příčným větrem - ZS7 – kombinace dle normy ČSN EN 1991-1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem (sání na návětrné i závětrné straně) [kN/m]

Vnitřní síly a posuny

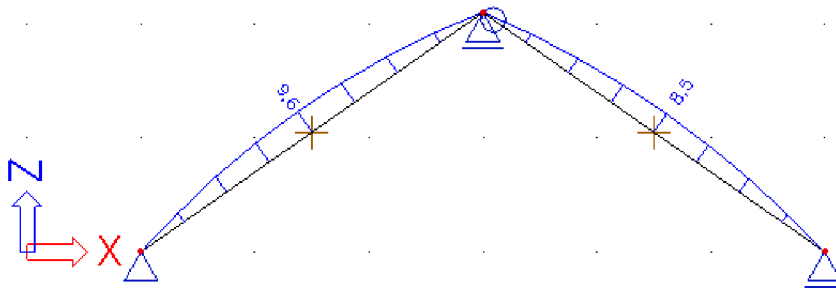
Průběh vnitřních sil určíme dle vzorců 6.10.a) a 6.10.b). V programu je třeba nastavit pro klimatické zatížení *Skupiny zatížení*, které budou *výběrové* (tzn., že ze všech zatěžovacích stavů z jedné *skupiny zatížení* bude do kombinace vybrán vždy maximálně jeden zatěžovací stav).



Obr. 2.6. Průběh normálových sil – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kN]

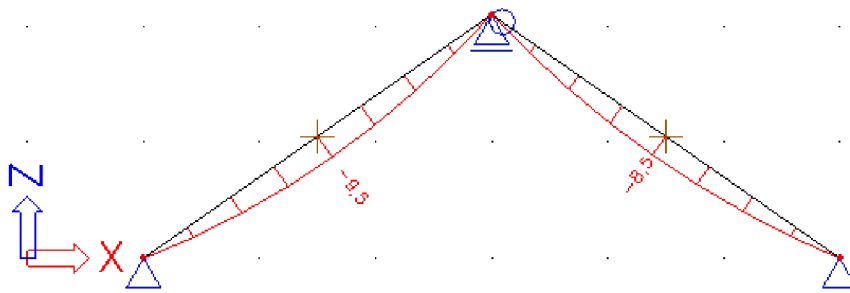


Obr. 2.7. Průběh ohybových momentů – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kNm]



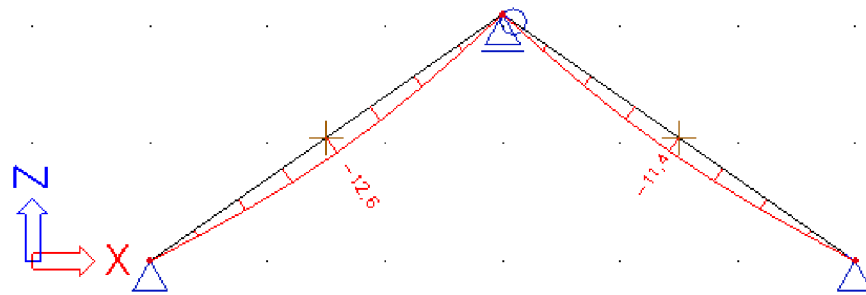
Obr. 2.8. a) Průběh normálových napětí+ od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]

Normálové napětí + značí obálku největších kladných normálových napětí v průřezu po délce prutu.



Obr. 2.8. b) Průběh normálových napětí- od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]

Normálové napětí - značí obálku největších záporných normálových napětí v průřezu po délce prutu.



Obr. 2.9. Posuny uz v lokálním souřadnicovém systému od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

Posouzení prvku

Pro posouzení prvku použijeme normu ČSN 73 1702 *Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Krokem je prvek namáhaný ohybem a tlakem pro posouzení mezního stavu únosnosti použijeme tedy následující vztah:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (2.1)$$

$$\frac{0,08}{9,69} + \frac{9,52}{1 \cdot 16,62} = 0,58 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

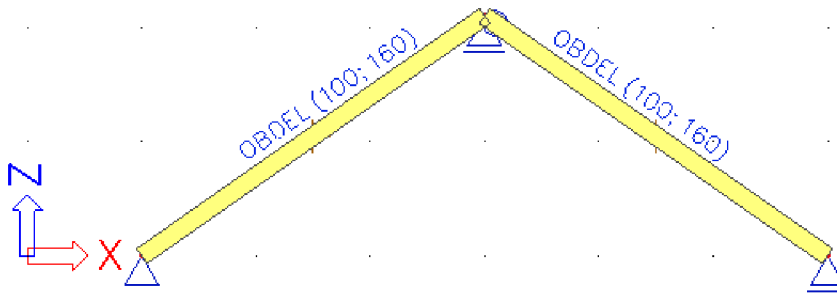
Pro posouzení mezního stavu použitelnosti použijeme vztah:

$$w \leq w_{\text{lim}} = \frac{L}{300} \quad (2.2)$$

V tomto případě byla za limitní hodnotu zvolena $\frac{L}{250}$ rozpětí.

$$12,60\text{mm} \leq 14,65\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

V tomto případě je rozhodující posouzení na mezní stav použitelnosti a to z důvodu velkého rozpětí krokve.



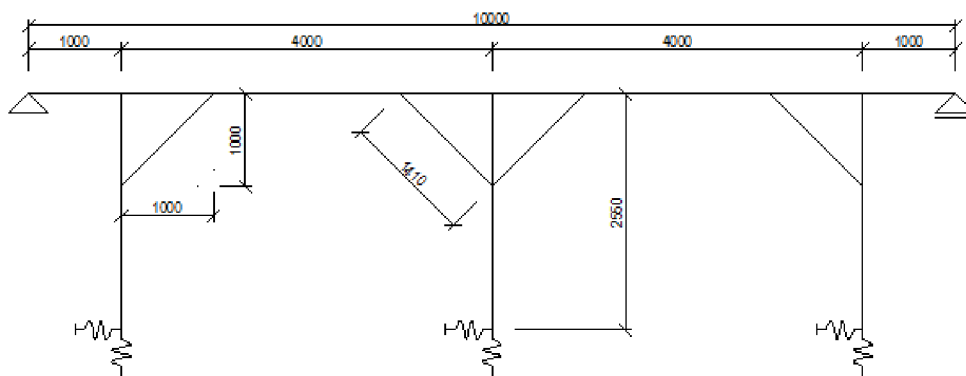
Obr.: 2.10 Navržené průřezy prvků [mm]

2.1.2 Vaznice

Výpočtový model

Výpočtový model vrcholové vaznice se skládá z vaznice kloubově uložené na sloupcích a podepřené pásky. Vaznice je rozdělena na prosté nosníky o délce 4 metry (vzdálenost plné příčné vazby). Napojení pásek na vaznice je modelováno klouby.

Důležitý je výběr podpor u sloupků. Pro ukázkou bude uveden model s neposuvnou a posuvnou podporou ve směru X. Ve skutečnosti však vzhledem k uložení sloupků na vazný trám, který je poddajný a má umožněn průhyb jak v ose X, tak v ose Z, bude podpora pružná v obou těchto směrech.

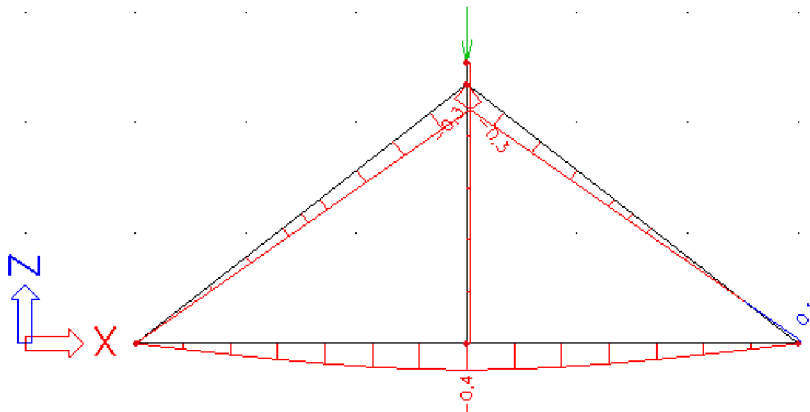


Obr.: 2.11. Geometrie vaznice [mm]

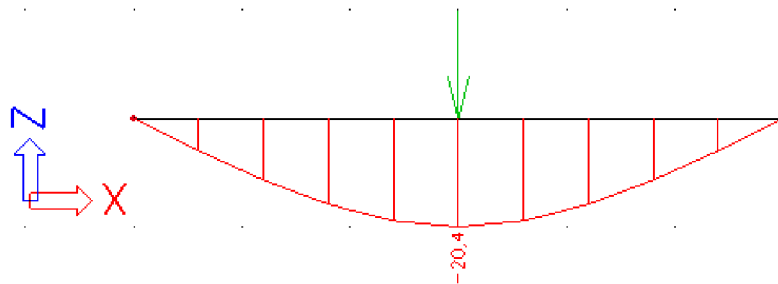
Tuhost podpory, tzv. pérovou konstantu ω určíme z průhybu vyvolaného jednotkovou silou v místě uložení sloupku dle vztahu

$$\omega = \frac{1}{\delta} \quad (2.3)$$

kde δ je průhyb od jednotkové síly.



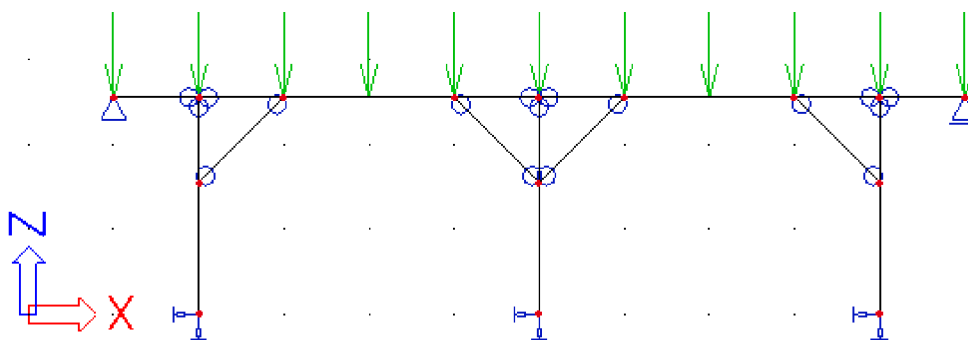
Obr. 2.12. Průhyb na vazném trámu od síly 10kN v místě uložení sloupku ve svislém směru [mm]



Obr. 2.13. Průhyb na vazném trámu od jednotkové síly v místě uložení sloupku ve vodorovném směru [mm]

Zatížení

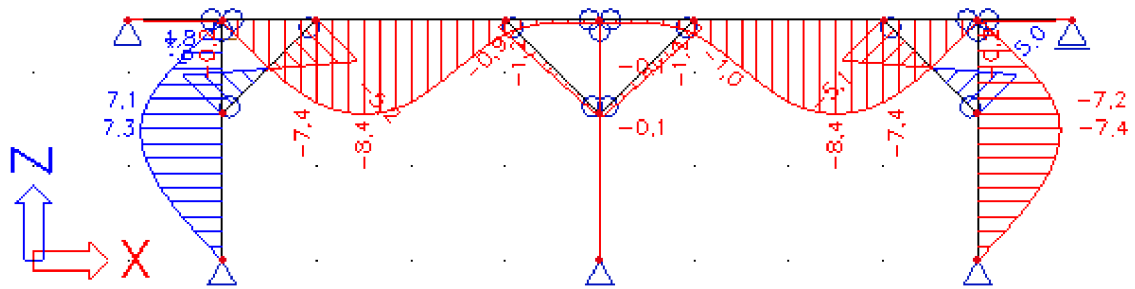
Model zatěžujeme v místě uložení krokví silami opačnými k reakcím, které jsme získali z výpočtového modelu krokve (obr. 2.14). Výsledky ukazují na kladný vliv pásků, bez nichž by vaznice byla mnohem masivnější a na problematický detail spojení vaznic – prakticky se spoj zabezpečí tesařskou skobou, která má však řádově menší únosnost než je požadovaných 27,12 kN. Touto problematikou se budu zabývat v kapitole 5. *Spoje*.



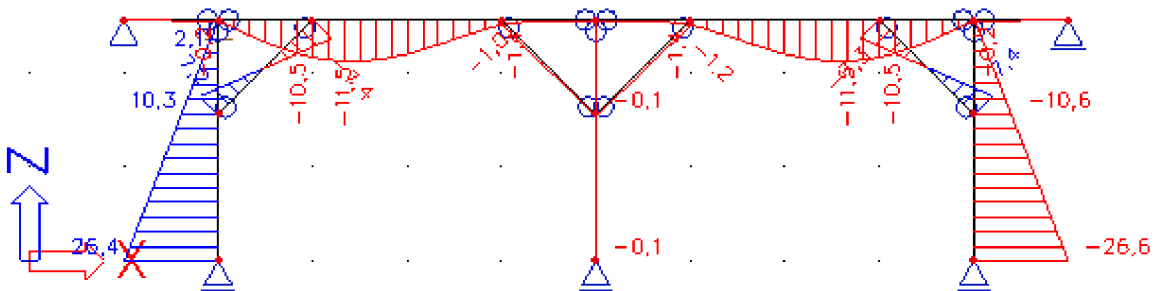
Obr. 2.14. Výpočtový model a zatížení vaznice ostatním stálým zatížením

Vnitřní síly a posuny

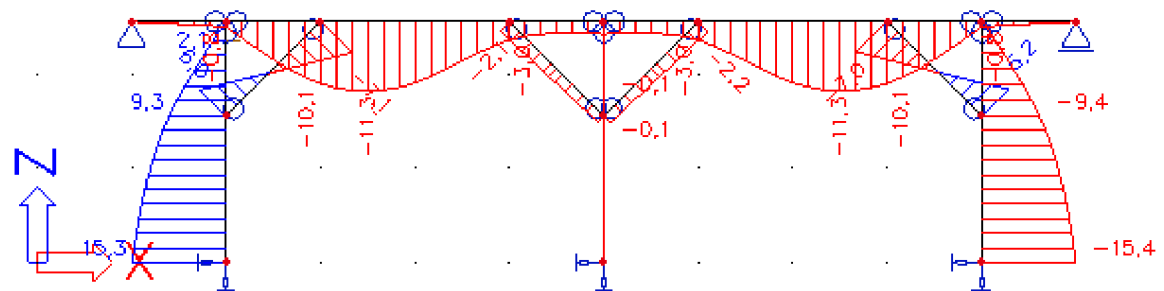
- Podpory neposuvné ve směru X (obr. 2.15)
- Podpory posuvné ve směru X (obr. 2.16)
- Podpory pružné ve směru X a Z (obr. 2.17)



Obr. 2.15. a) Posuny uz na modelu s neposuvnými vazbami od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

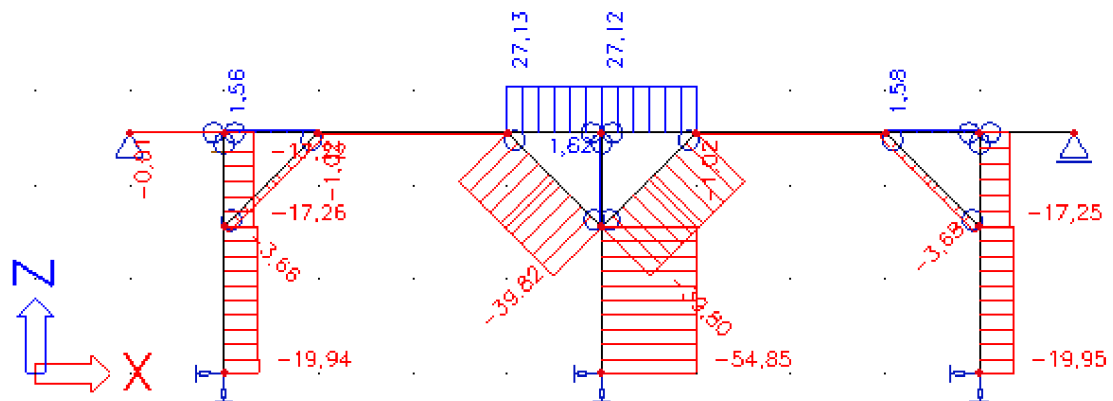


Obr. 2.16. b) Posuny uz na modelu s posuvnými vazbami ve směru X od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

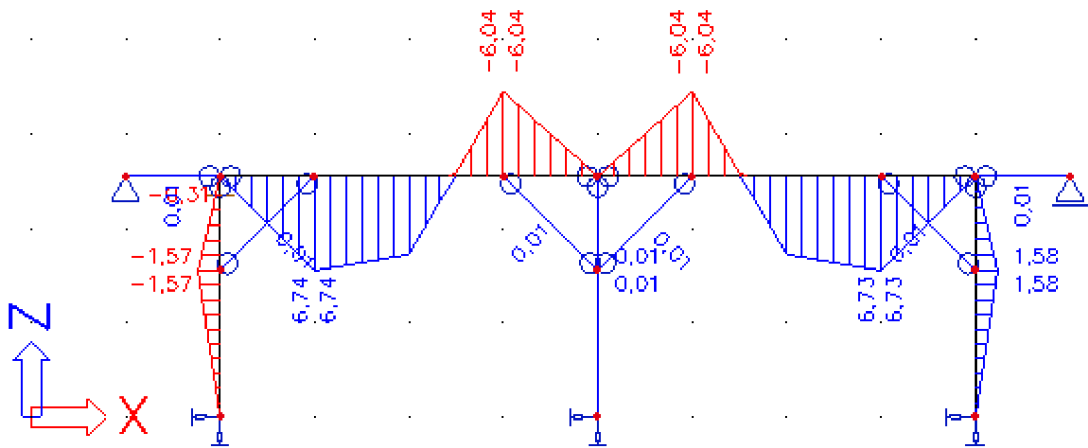


Obr. 2.17. c) Posuny uz na modelu s pružnými vazbami ve směrech X a Z od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

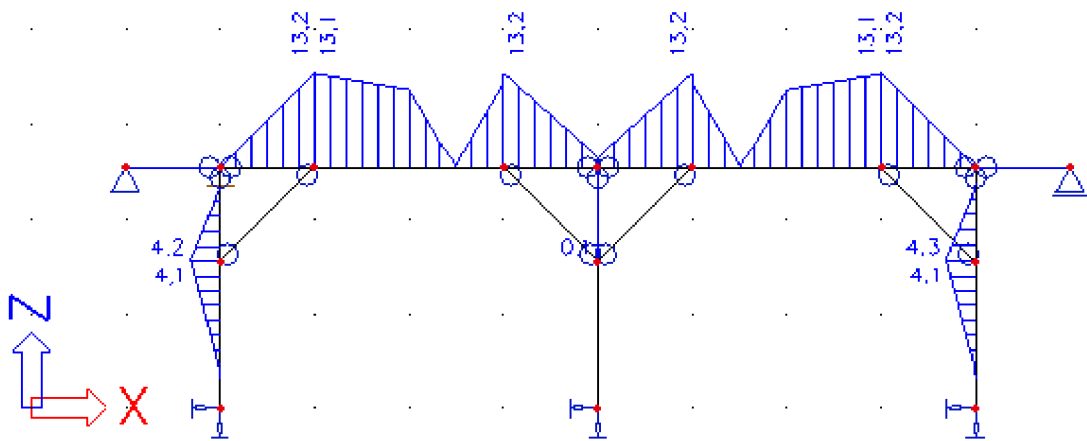
Průběhy vnitřních sil určíme, stejně jako pro kroky, z kombinace zatížení všech zatěžovacích stavů dle vztahů 6.10.a) a 6.10.b).



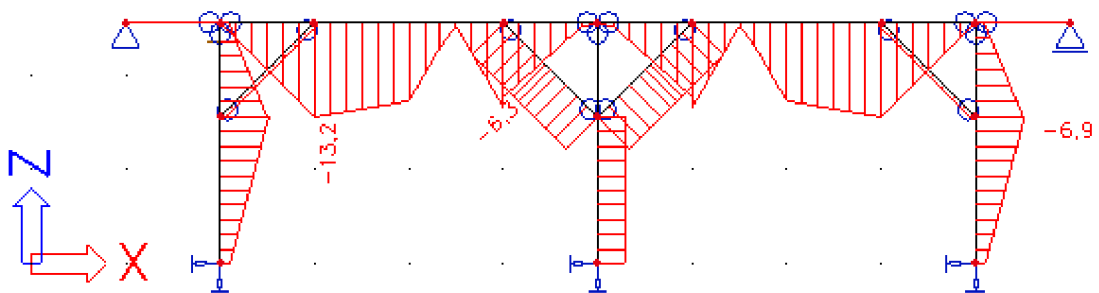
Obr. 2.18. Průběh normálových sil – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kN]



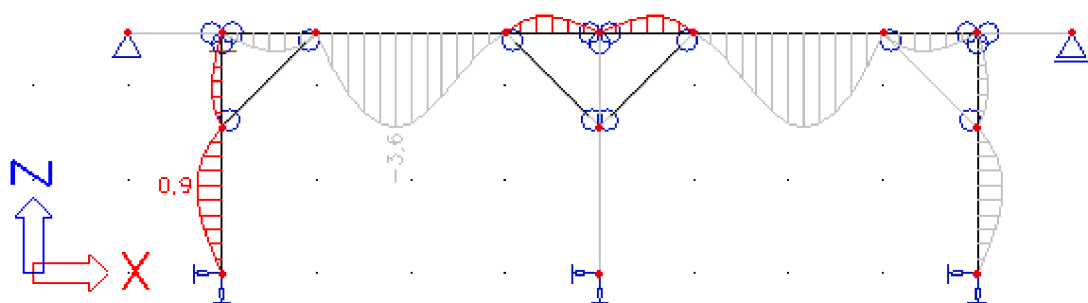
Obr. 2.19. Průběh ohybových momentů – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kNm]



Obr. 2.20.a) Průběh normálových napětí+ od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.20. b) Průběh normálových napětí- od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.21. Relativní posuny uz od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

Posouzení prvku

Vaznice je namáhána ohybem a osovou silou, pro mezní stav únosnosti platí vztah (2.1) dle ČSN 73 1702:

$$\frac{1,41}{9,69} + \frac{11,8}{1 \cdot 16,62} = 0,86 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Pro mezní stav použitelnosti platí vztah (2.2):

$$3,60 \text{ mm} \leq 6,67 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím mezním stavem pro dimenzování prvku je zde mezní stav únosnosti.

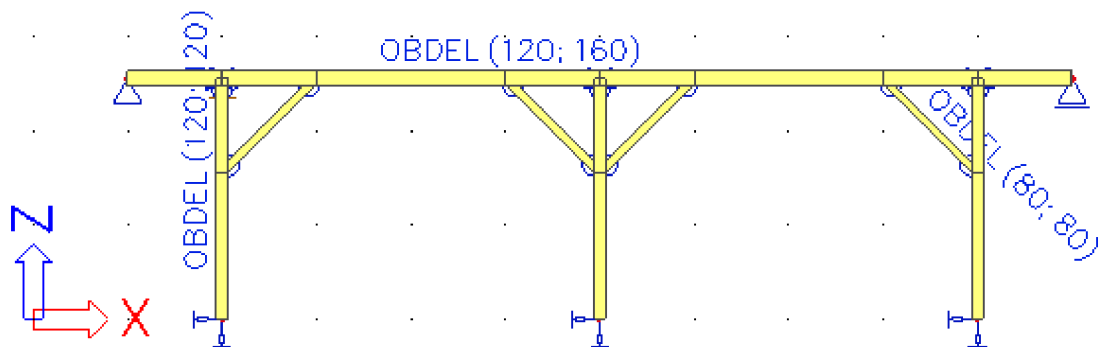
2.1.3 Pásek

Pásek je prvek, který podepírá vaznici a je kloubově uložený na sloupku. Je namáhán osovou silou, a to tlakovou – vzpěrem, pro mezní stav únosnosti platí vztah dle ČSN 73 1702:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (2.4)$$

$$\frac{6,22}{0,657 \cdot 14,54} = 0,65 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

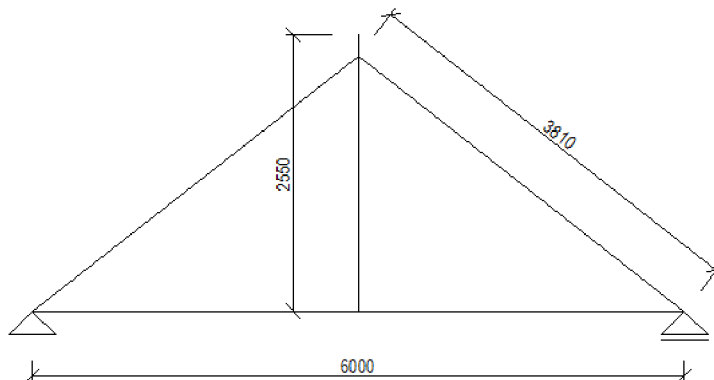
Mezní stav únosnosti je vzhledem k zanedbatelným posunům rovněž stavem rozhodujícím pro dimenzování prvku.



Obr. 2.22. Navržené průřezy prvků [mm]

2.1.4 Plná příčná vazba – stojatá stolice, jednoduché věšadlo

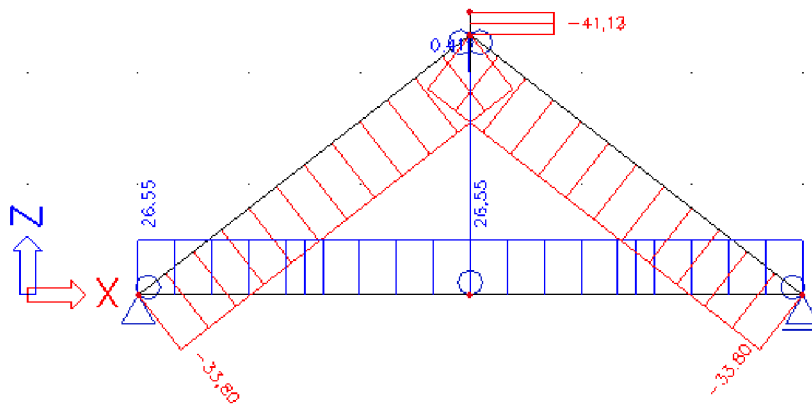
Plnou příčnou vazbu tvoří vazný trám, sloupek a vzpěry. Sloupek je kloubově uložen na vazný trám. Vzpěry jsou modelovány tak, aby osa vzpěry vedla do podpory, a jsou kloubově uloženy jak na vazný trám, tak na sloupek.



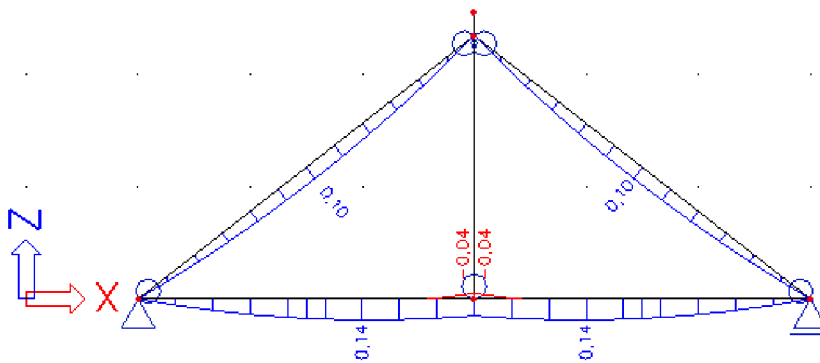
Obr. 2.23. Geometrie příčné vazby [mm]

Sloupek je prvek namáhaný osovou silou. Jak lze vidět z průběhu normálových sil je prvek tažený (věšadlo) a to v důsledku přenesení tlakové síly vzpěrami do vazného trámu.

Vnitřní síly a posuny

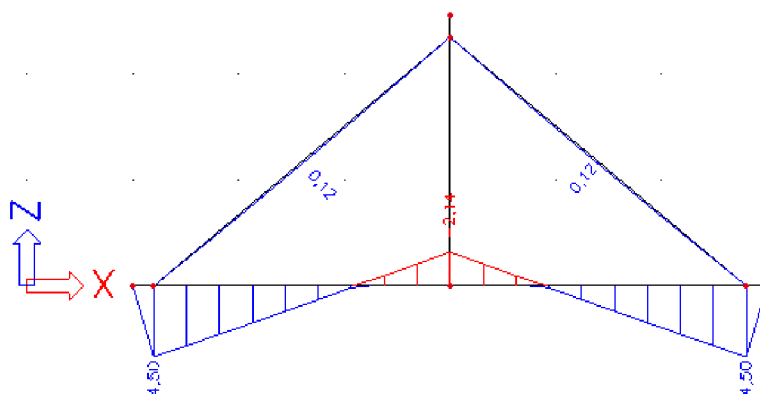


Obr. 2.24. Průběh normálových sil v plné příčné vazbě – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kN]



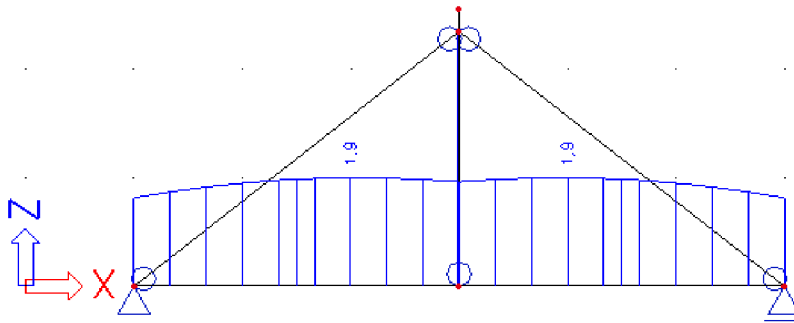
Obr. 2.25. Průběh ohybových momentů – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kNm]

Z průběhu vnitřních sil vyplývá, že konstrukce věšadla je namáhaná prakticky pouze normálovými silami.

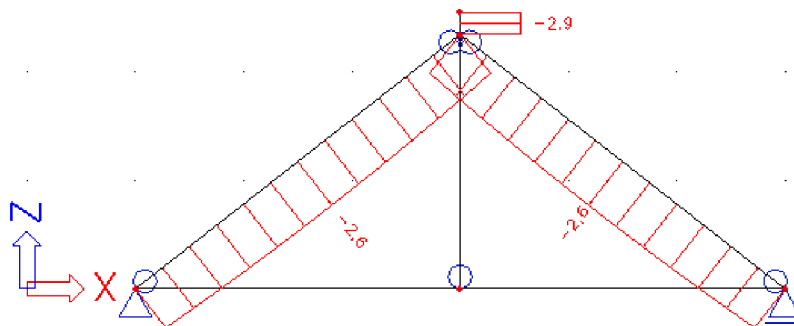


Obr. 2.26. Průběh ohybových momentů v plné příčné vazbě při nesprávném uložení vzpěr [kNm]

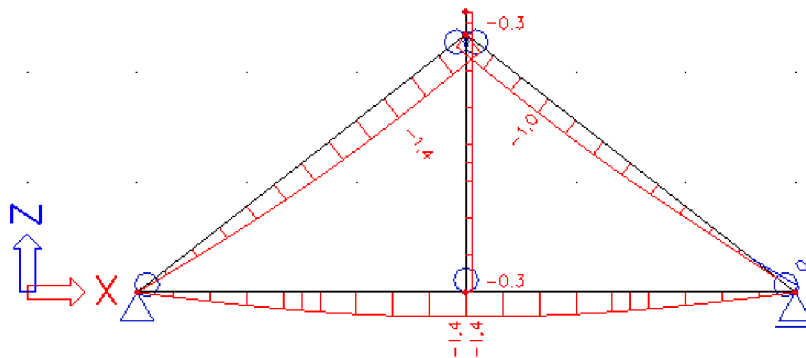
Při nesprávném uložení vzpěr na vazný trám (osy prvků se neprotínají v jednom bodě) vznikají v místě uložení vzpěry nadměrné vnitřní síly (obr. 2.26.), což vede na větší profil prvku a větší investice.



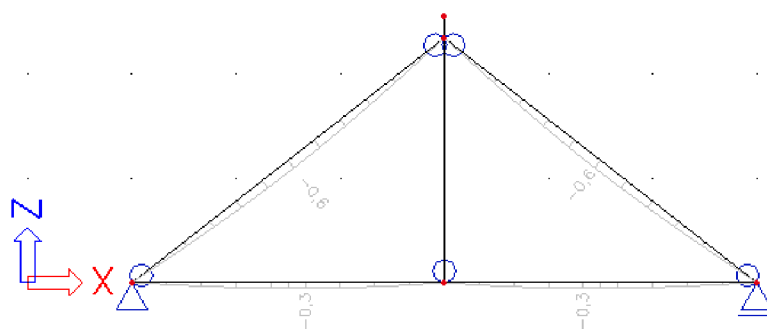
Obr. 2.27.a) Průběh normálových napětí+ v plné příčné vazbě od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.27. b) Průběh normálových napětí- v plné příčné vazbě od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.28. Posuny uz od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]



Obr. 2.29. Relativní posuny uz od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

Vzpěra je prvek namáhaný osovou tlakovou silou. Z průběhu vnitřních sil je patrné, že tento prvek zachycuje velké procento zatížení z krokví a vaznice a síly přenáší dále do

pozednic. Vazný trám je prvek namáhaný ohybem a osovou silou. Ohybový moment závisí na zatížení vazného trámu.

Posouzení sloupku na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.1):

$$\frac{0,02}{9,69} + \frac{11,52}{1 \cdot 16,62} = 0,70 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení sloupku na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$0,90\text{mm} \leq 7,83\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vzpěry na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.4):

$$\frac{2,35}{0,254 \cdot 14,54} = 0,64 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vzpěry na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$0,60\text{mm} \leq 12,7\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

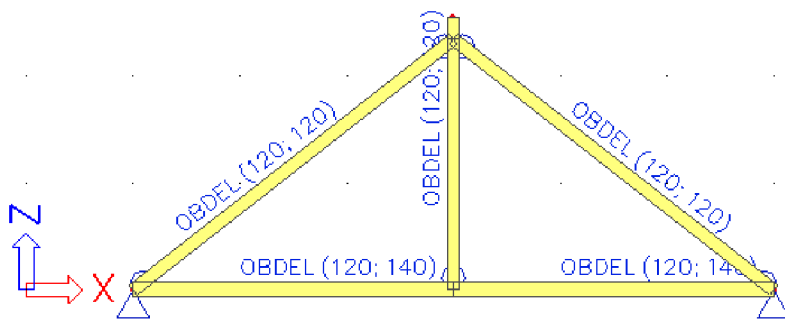
Posouzení vazného trámu na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.1):

$$\frac{1,58}{9,69} + \frac{0,36}{1 \cdot 16,62} = 0,18 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vazného trámu na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$0,30\text{mm} \leq 20,00\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

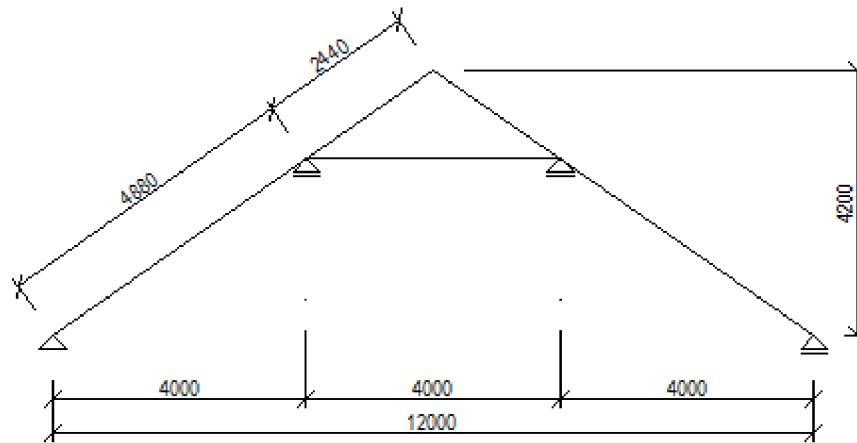
Pro dimenzování sloupku, vzpěry i vazného trámu byl rozhodující mezní stav únosnosti.



Obr. 2.30. Navržené průřezy prvků [mm]

2.2 Dvojitě věšadlo

2.2.1 Krokev a kleština



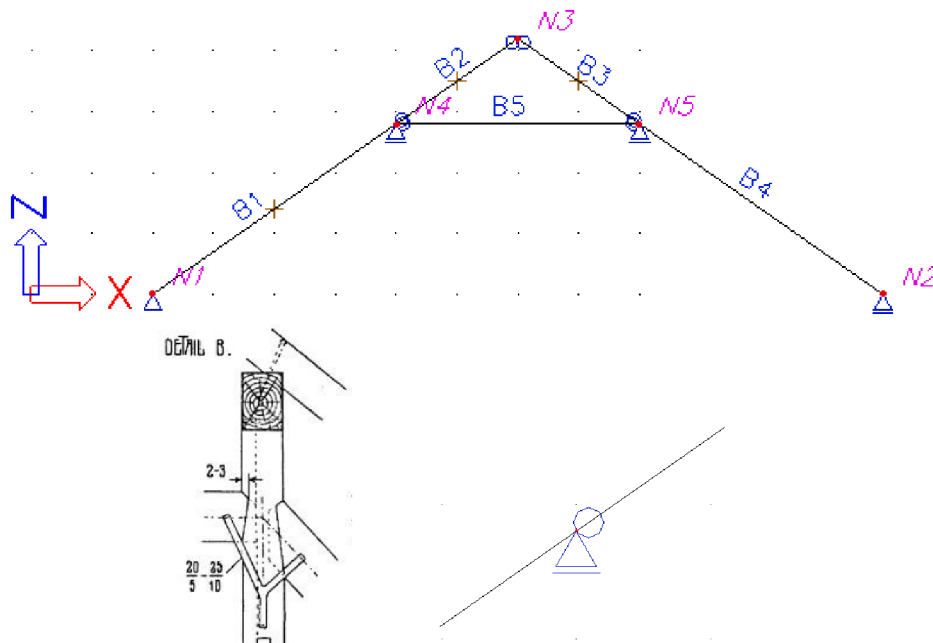
Obr. 2.31 Geometrie krokev [mm]

Výpočtový model a zatížení

Výpočtový model je vytvořen na stejném principu jako model předchozí, změnou zde jsou mezilehlé vaznice a kleština, která se nachází v každé vazbě. V místě připojení krokev na vaznici (osedlání) dochází k oslabení profilu krokev (osedlání se provádí do 1/3 výšky krokev). Vzhledem k nízkému poměru tuhostí oslabeného k neoslabenému profilu krokev (0,296) je toto napojení modelováno kloubem.

$$\frac{EI_{OSL}}{EI} = \frac{\frac{1}{12}b \cdot \left(\frac{2}{3}h\right)^3}{\frac{1}{12}bh^3} = \frac{8}{27} = 0,296 \quad (2.6)$$

Kleština je kloubově připojena v místě uložení vaznice.



Obr. 2.32. Výpočtový model krokev a kleštiny (nahore), detail osedlání schematicky [Zdroj:10, str. 98] a detail modelu osedlání

Kleština je modelována jako průřez složený symetricky ze dvou stejných profilů. Prostor nad kleštinou může být využit ke skladovacím účelům, bude tedy třeba počítat se zatížením záklopem z OSB desek a podhledem z SDK desek.

Celkové zatížení tvoří 10 zatěžovacích stavů (ZS):

- ZS1 – vlastní tíha (standard)
- ZS2 – ostatní stálé zatížení (standard)
- ZS3 – sníh plný (výběrová – sníh)
- ZS4 – sníh pravý (výběrová – sníh)
- ZS5 – sníh levý (výběrová – sníh)
- ZS6 – vítr příčný – zleva tlak, zprava sání (výběrová – vítr)
- ZS7 – vítr příčný – zleva tlak, zprava tlak (výběrová – vítr)
- ZS8 – vítr příčný – zleva sání, zprava tlak (výběrová – vítr)
- ZS9 – vítr příčný – zleva sání, zprava sání (výběrová – vítr)
- ZS10 – vítr podélný (výběrová – vítr)

V závorkách je uvedeno nastavení *Skupiny zatížení* (standard – ze skupiny může být použito pro kombinaci více zatěžovacích stavů; výběrová – ze skupiny může být použit maximálně jeden zatěžovací stav)

Hodnoty zatížení v charakteristických hodnotách:

- Vlastní tíha generuje program
- Ostatní stálé zatížení $g_1=0,829 \text{ kN/m}^2$
- Zatížení sněhem $s_k=1,33 \text{ kN/m}^2$ (včetně součinitele tvaru střechy)
(IV. sněhová oblast)
- Zatížení větrem $q_p=0,698 \text{ kN/m}^2$ (bez součinitele vnějšího tlaku)
(II. větrová oblast)

Kombinace zatížení dle ČSN EN 1990:

$$6.10.a \quad \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

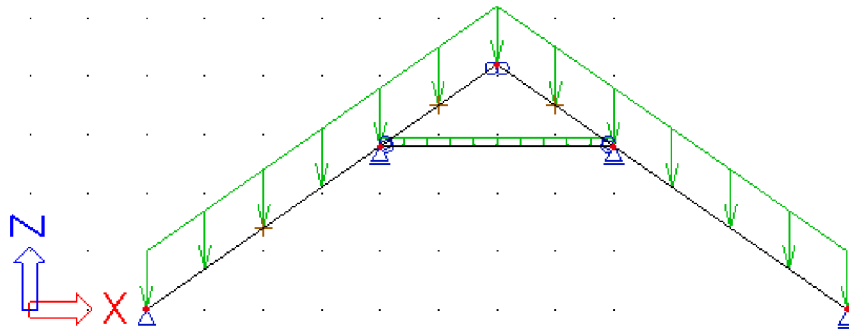
$$6.10.b \quad \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Součinitele zatížení

- $\gamma_G = 1,00$ příznivé účinky
- $= 1,35$ nepříznivé účinky
- $\gamma_Q = 1,00$ příznivé účinky
- $= 1,50$ nepříznivé účinky

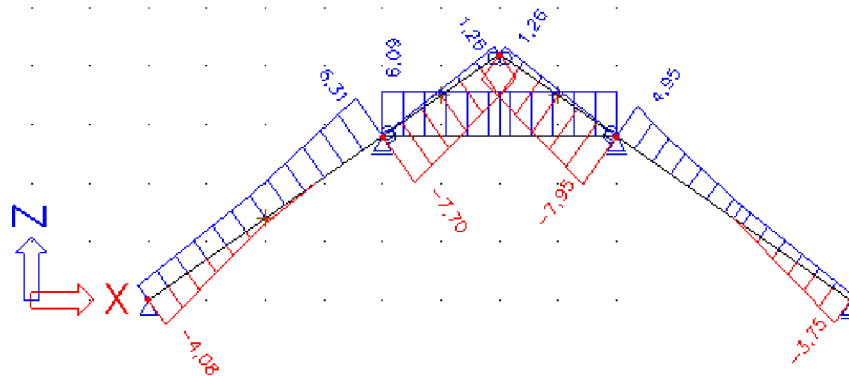
Kombinační součinitele

- $\psi_0 = 0,7$ nahodilé zatížení v budovách, kromě skladovacích prostor
- $= 0,6$ zatížení větrem
- $= 0,5$ zatížení sněhem

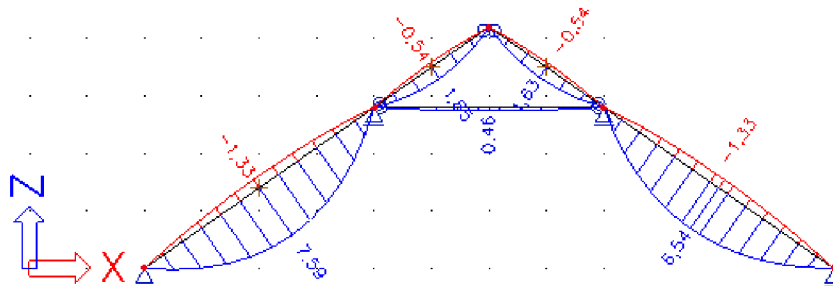


Obr. 2.33. Zatížení krokve a kleštiny ostatním stálým zatížením [kN/m]

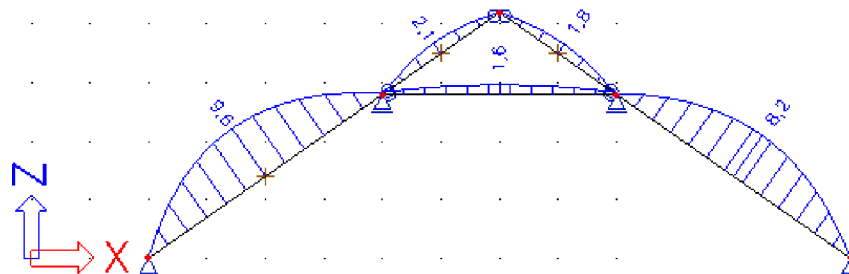
Vnitřní síly a posuny



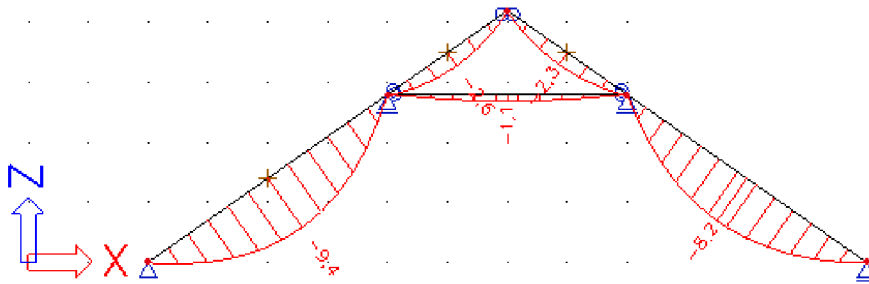
Obr. 2.34. Průběh normálových sil – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kN]



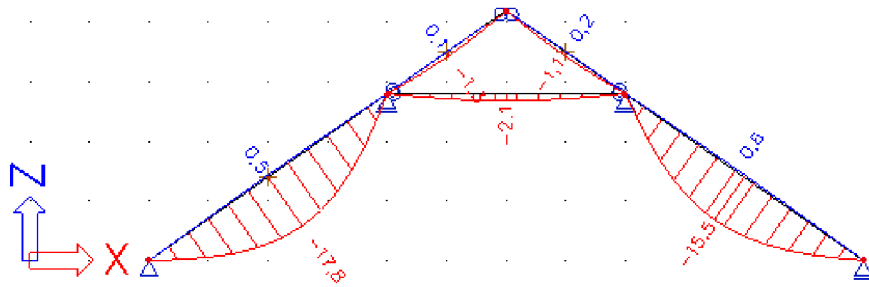
Obr. 2.35. Průběh ohybových momentů – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kNm]



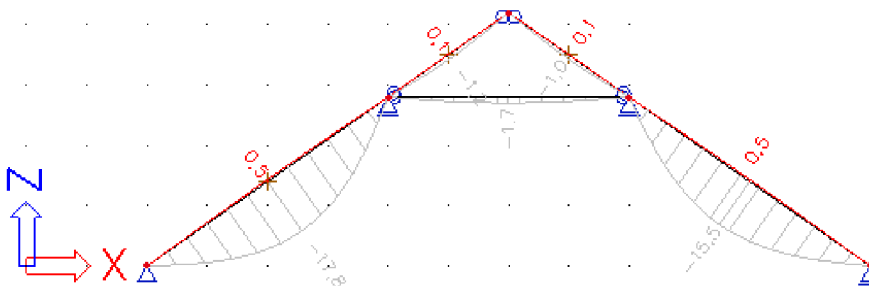
Obr. 2.36. a) Průběh normálových napětí+ od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.36.b) Průběh normálových napětí- od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.37. Posuny uz od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]



Obr. 2.38. Relativní posuny uz od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

Krokev je namáhána ohybem a osovou silou, pro mezní stav únosnosti platí vztah (2.1):

$$\frac{0,15}{9,69} + \frac{9,49}{1 \cdot 16,62} = 0,59 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení krokev na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$17,80\text{mm} \leq 19,53\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

V tomto případě byla za limitní hodnotu zvolena $\frac{L}{250}$ rozpětí.

Rozhodujícím stavem pro dimenzování krokev byl mezní stav použitelnosti.

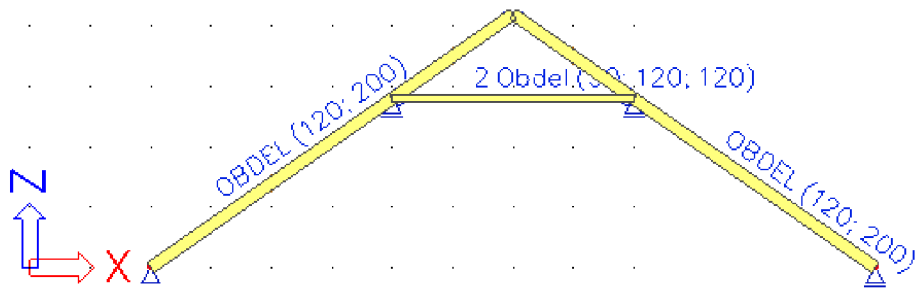
Kleština je namáhána ohybem a osovou silou, pro mezní stav únosnosti platí vztah:

$$\frac{0,51}{9,69} + \frac{1,92}{1 \cdot 16,62} = 0,17 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení krokev na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

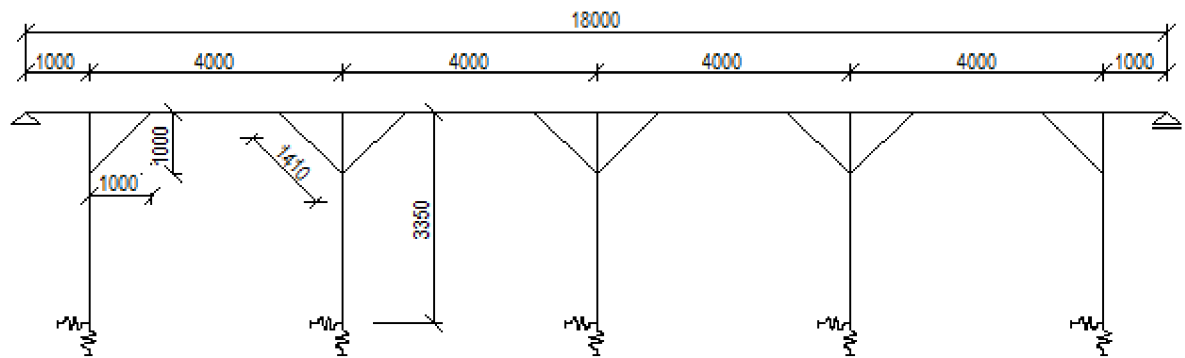
$$1,70\text{mm} \leq 13,33\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím stavem pro dimenzování kleštiny byl mezní stav únosnosti.



Obr. 2.39. Navržené průřezy prvků [mm]

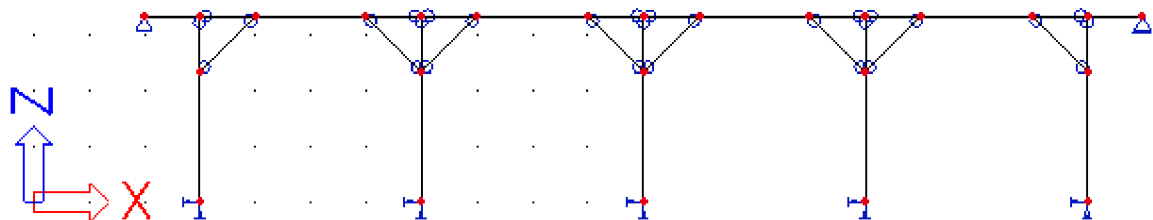
2.2.2 Vaznice



Obr. 2.40. Geometrie vaznice [mm]

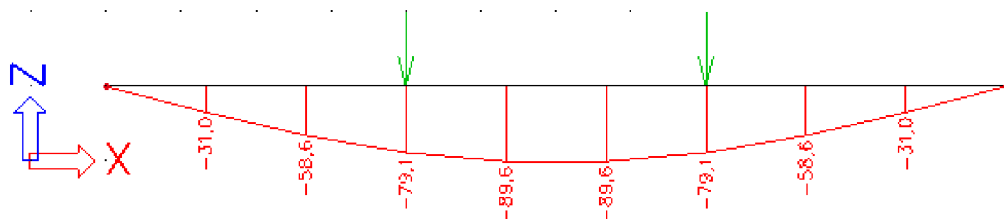
Výpočtový model

Výpočtový model vaznice je opět shodný s předešlou částí 2.1.

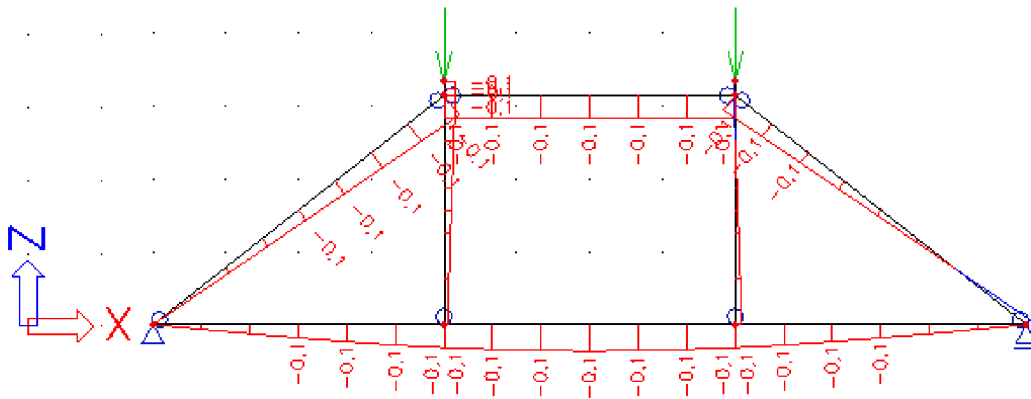


Obr. 2.41. Výpočtový model vaznice

Pro stanovení tuhosti podpor je třeba určit pérové konstanty ve směru X a Z. Ve směru Z určíme pérovou konstantu zatížením sloupků v plné příčné vazbě.

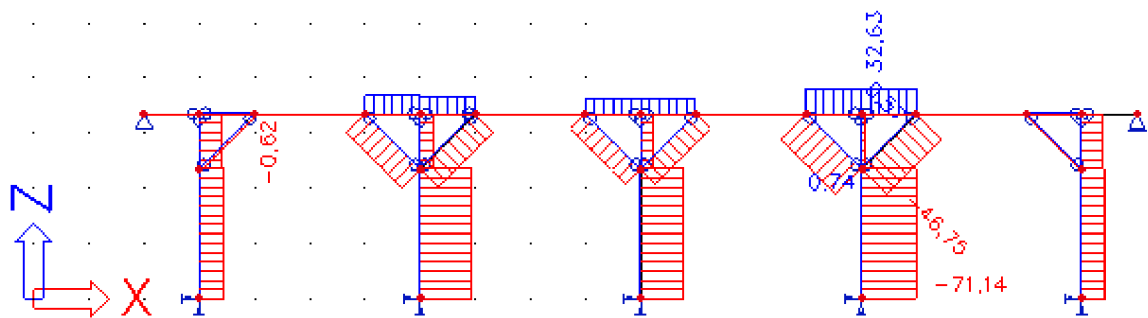


Obr. 2.42. Stanovení pérové konstanty ve směru X od zatížení jednotkovou silou [mm]

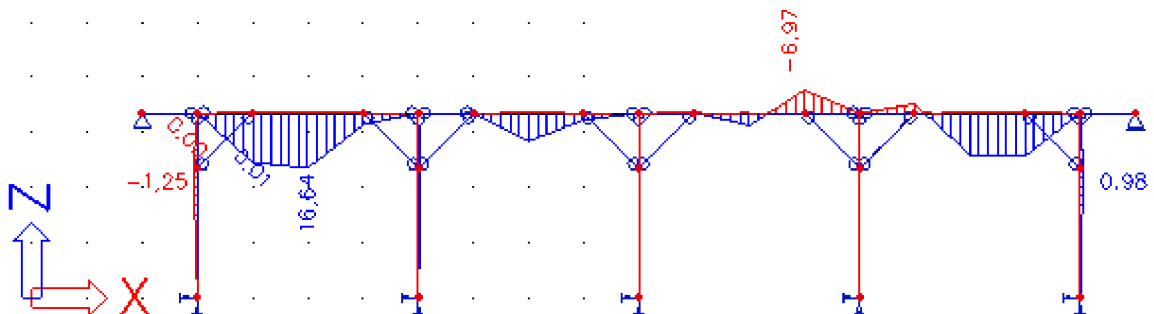


Obr. 2.43. Stanovení pérové konstanty ve směru Z od zatížení jednotkovou silou [mm]

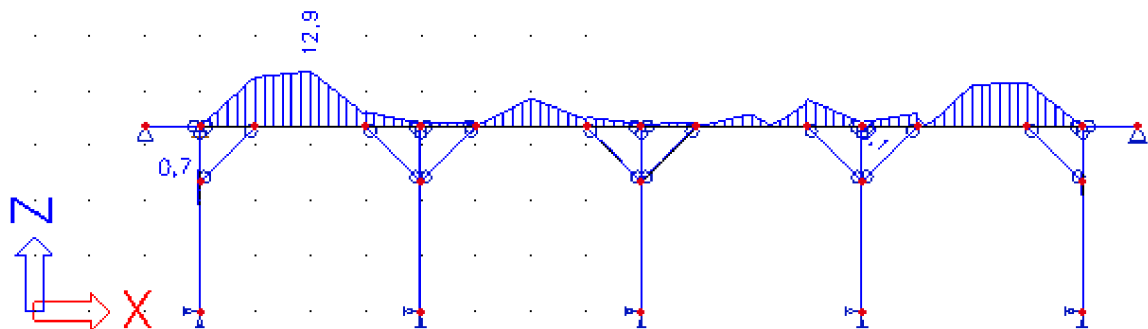
Vnitřní síly a posuny



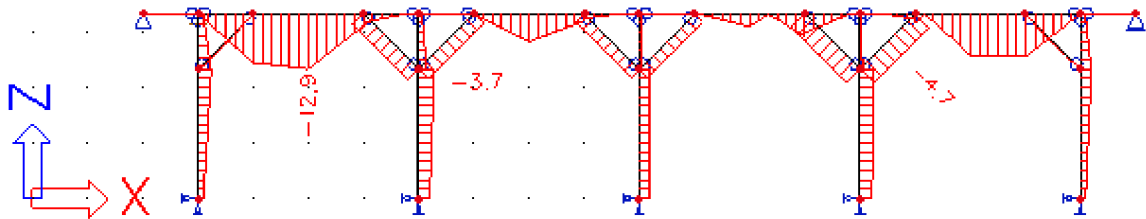
Obr. 2.44. Průběh normálových sil – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kN]



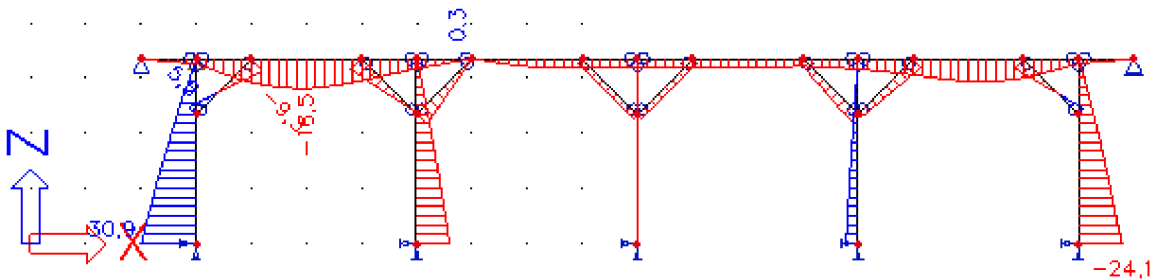
Obr. 2.45. Průběh ohybových momentů - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kNm]



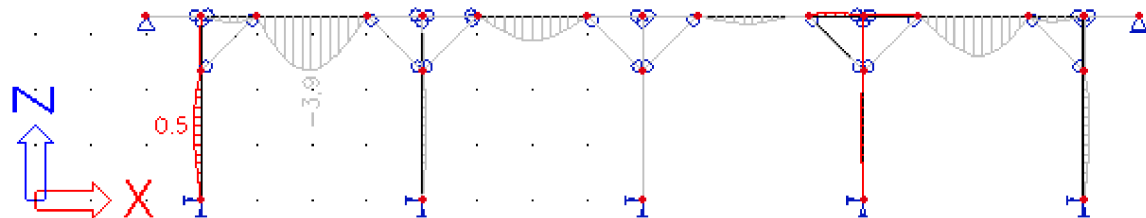
Obr. 2.46. a) Průběh normálových napětí+ od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.46. b) Průběh normálových napětí- od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.47. Posuny uz od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]



Obr. 2.48. Relativní posuny uz od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

Vaznice je namáhána ohybem a osovou silou, pro mezní stav únosnosti platí vztah

(2.5):

$$\frac{0,02}{0,939 \cdot 14,54} + \frac{12,89}{1 \cdot 16,62} = 0,78 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vaznice na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

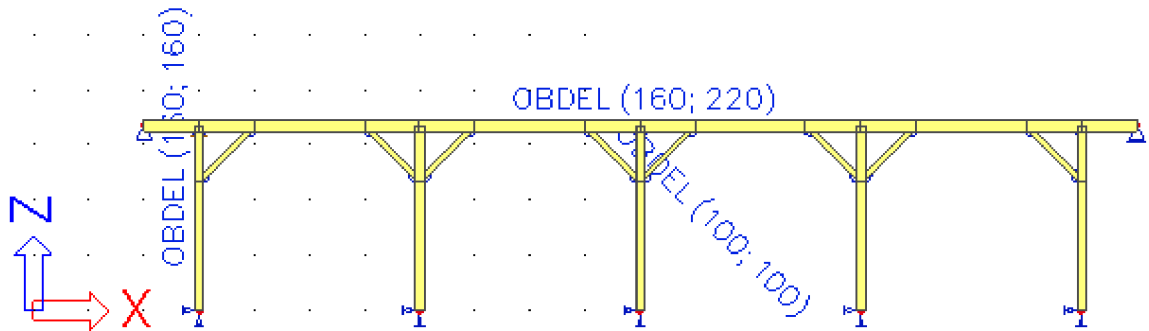
$$3,9 \text{ mm} \leq 6,67 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím mezním stavem pro dimenzování prvku je zde mezní stav únosnosti.

Posouzení pásku na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.4):

$$\frac{4,68}{0,805 \cdot 14,54} = 0,40 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Mezní stav únosnosti je vzhledem k zanedbatelným posunům rovněž stavem rozhodujícím pro dimenzování prvku.

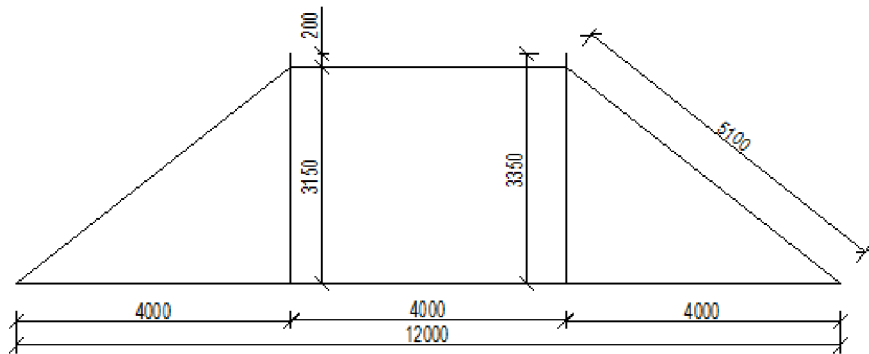


Obr. 2.49. Navržené průřezy prvků [mm]

2.2.3 Plná příčná vazba

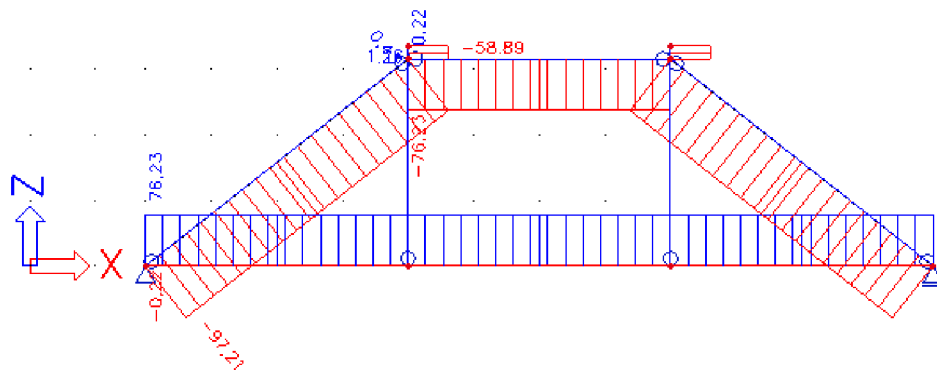
Výpočtový model a zatížení

Model příčné vazby se skládá z rozpěry, sloupků, vzpěr a vazného trámu. Připojení vzpěr na sloupky i na vazný trám je kloubové stejně, jako připojení kleštín na sloupky a sloupků na vazný trám.

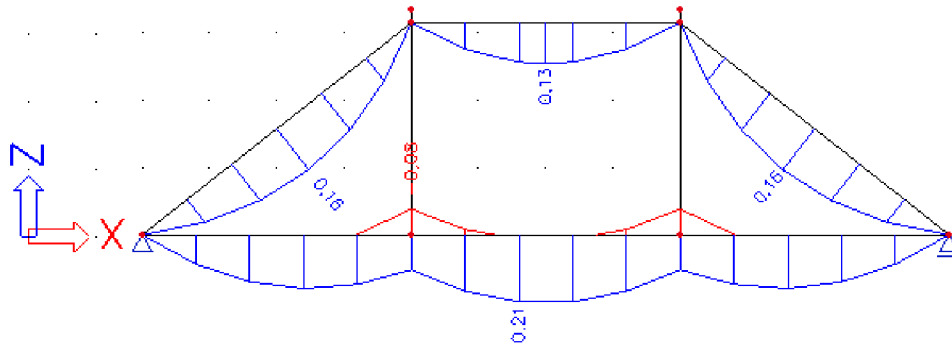


Obr. 2.50. Geometrie příčné vazby [mm]

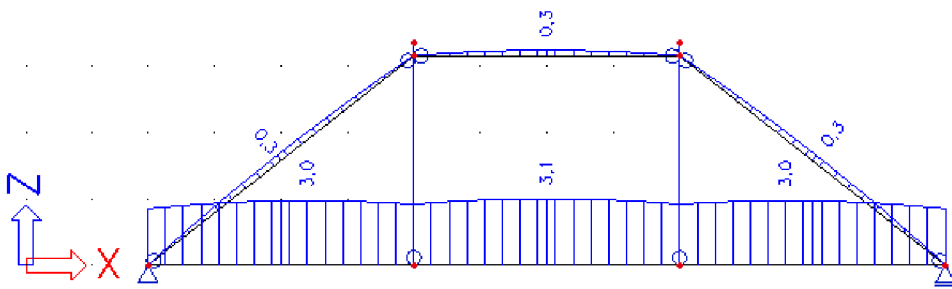
Vnitřní síly a posuny



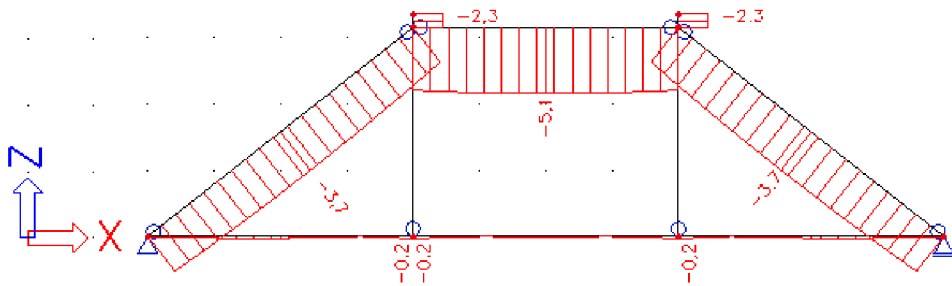
Obr. 2.51. Průběh normálových sil – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kN]



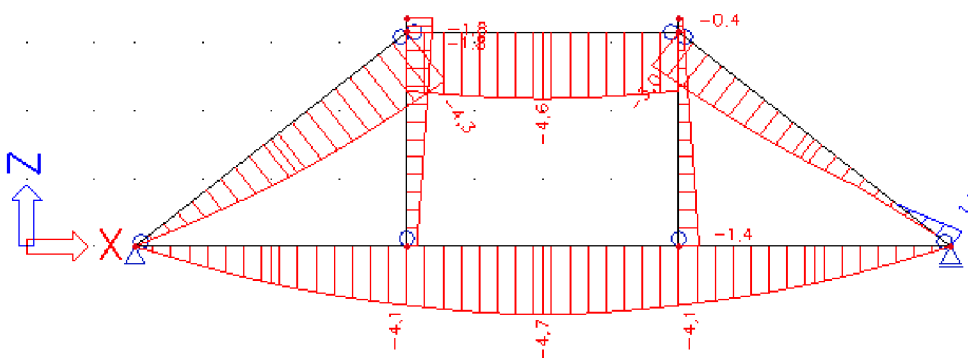
Obr. 2.52. Průběh ohybových momentů – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kNm]



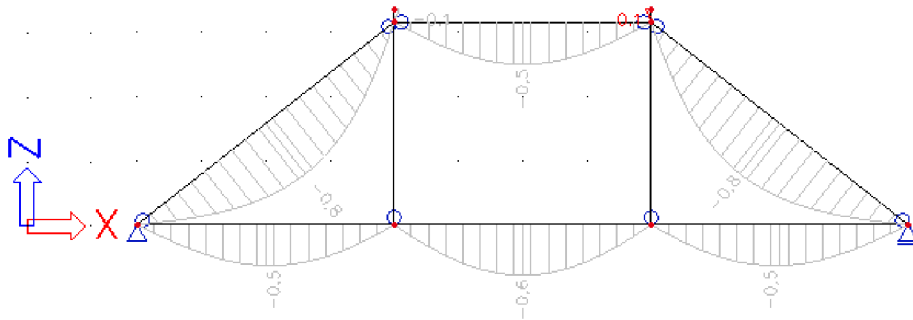
Obr. 2.53. a) Průběh normálových napětí+ od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.53. b) Průběh normálových napětí- od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.54. Posuny uz od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]



Obr. 2.55. Relativní posuny uz od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

Posouzení sloupku na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.5):

$$\frac{2,30}{1 \cdot 14,54} + \frac{0,37}{1 \cdot 16,62} = 0,18 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení sloupku na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$0,50\text{mm} \leq 11,17\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení rozpěry na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.5):

$$\frac{3,89}{0,308 \cdot 14,54} + \frac{0,28}{1 \cdot 16,62} = 0,88 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení rozpěry na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$0,50\text{mm} \leq 13,33\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vzpěry na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.4):

$$\frac{3,38}{0,314 \cdot 14,54} = 0,74 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vzpěry na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$0,80\text{mm} \leq 16,97\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

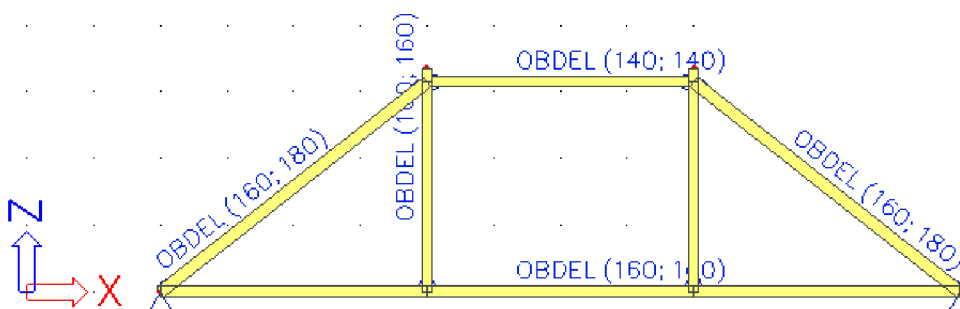
Posouzení vazného trámu na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.1):

$$\frac{2,98}{9,69} + \frac{0,31}{1 \cdot 16,62} = 0,33 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vazného trámu na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$0,60\text{mm} \leq 13,33\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

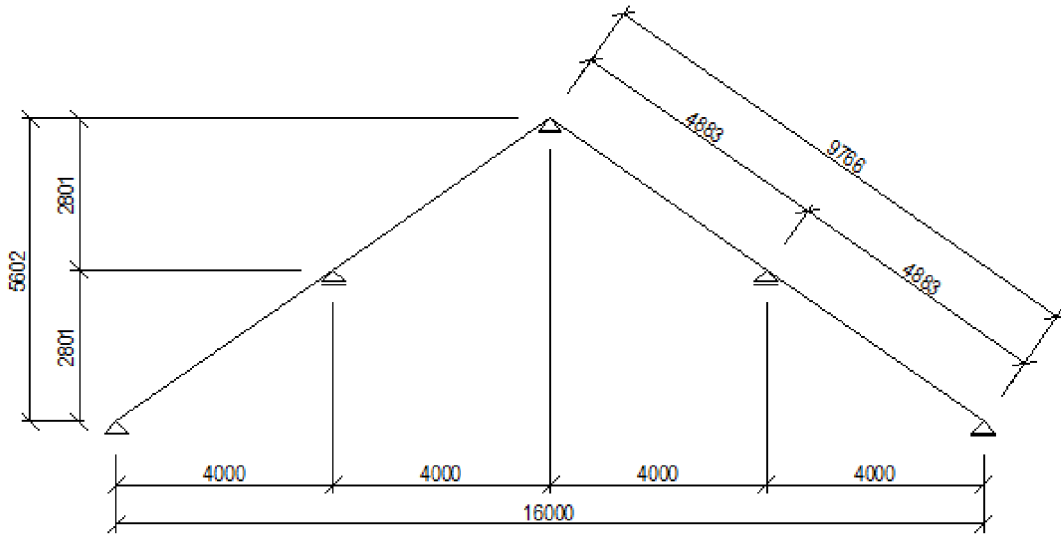
Pro dimenzování sloupku, rozpěry, vzpěry i vazného trámu byl rozhodující mezní stav únosnosti.



Obr. 2.56. Navržené průřezy prvků [mm]

2.3 Trojité věšadlo

2.3.1 Krokev



Obr. 2.57. Geometrie krokve [mm]

Výpočtový model a zatížení

Výpočtový model krokve se skládá z krokví podepřených pozednicemi na dolních okrajích, středovými vaznicemi uprostřed rozpětí a vrcholovou vaznicí. Zatížení je shodné s předchozími modely.

Celkové zatížení tvoří 10 zatěžovacích stavů (ZS):

- ZS1 – vlastní tíha (standard)
- ZS2 – ostatní stálé zatížení (standard)
- ZS3 – sníh plný (výběrová – sníh)
- ZS4 – sníh pravý (výběrová – sníh)
- ZS5 – sníh levý (výběrová – sníh)
- ZS6 – vítr příčný – zleva tlak, zprava sání (výběrová – vítr)
- ZS7 – vítr příčný – zleva tlak, zprava tlak (výběrová – vítr)
- ZS8 – vítr příčný – zleva sání, zprava tlak (výběrová – vítr)
- ZS9 – vítr příčný – zleva sání, zprava sání (výběrová – vítr)
- ZS10 – vítr podélný (výběrová – vítr)

Hodnoty zatížení v charakteristických hodnotách:

- Vlastní tíha generuje program
- Ostatní stálé zatížení $g_1=0,829 \text{ kN/m}^2$
- Zatížení sněhem $s_k=1,33 \text{ kN/m}^2$ (včetně součinitele tvaru střechy)
(IV. sněhová oblast)
- Zatížení větrem $q_p=0,747 \text{ kN/m}^2$ (bez součinitele vnějšího tlaku)
(II. větrová oblast)
- Podhled $0,120 \text{ kN/m}^2$

Kombinace zatížení dle ČSN EN 1990:

$$6.10.a \quad \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$6.10.b \quad \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

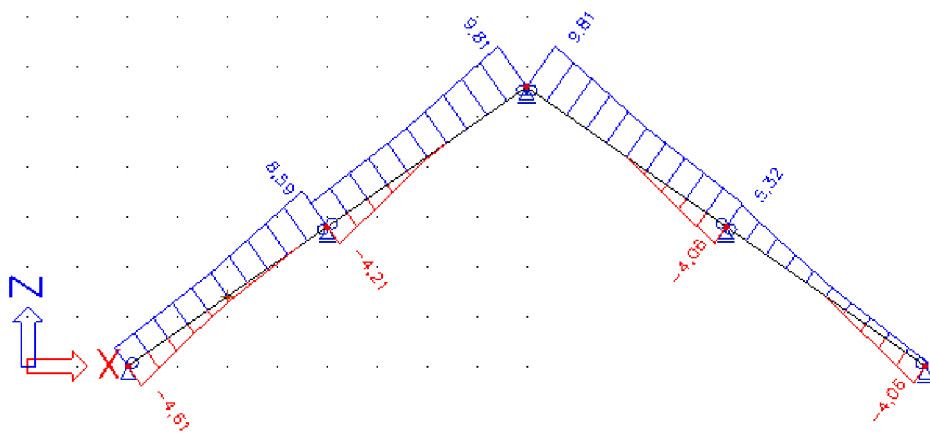
Součinitele zatížení

$\gamma_G = 1,00$	příznivé účinky
$= 1,35$	nepříznivé účinky
$\gamma_Q = 1,00$	příznivé účinky
$= 1,50$	nepříznivé účinky

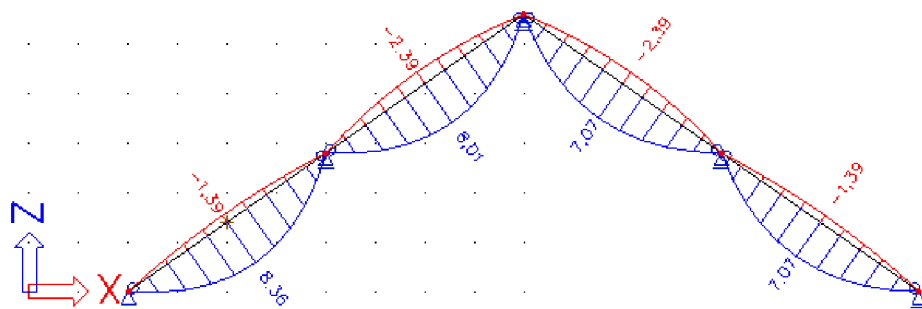
Kombinační součinitele

$\psi_0 = 0,7$	nahodilé zatížení v budovách, kromě skladovacích prostor
$= 0,6$	zatížení větrem
$= 0,5$	zatížení sněhem

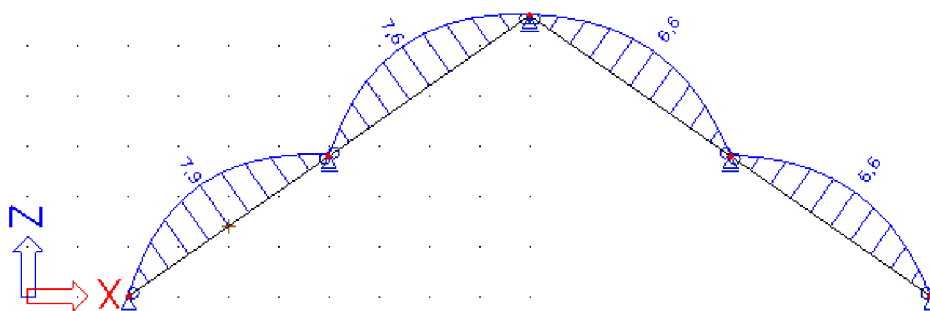
Vnitřní síly a posuny



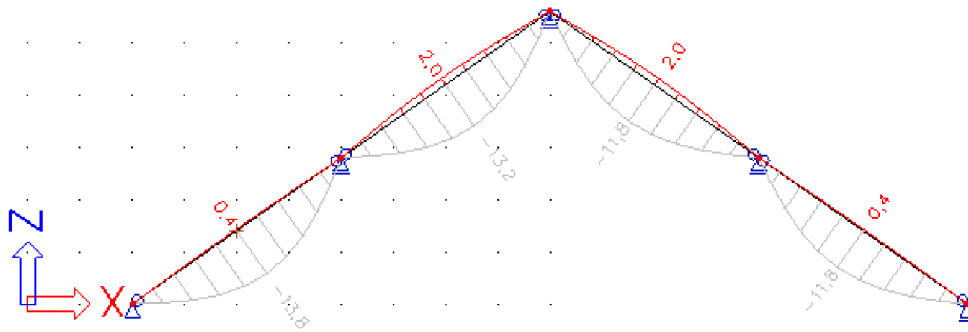
Obr. 2.58. Průběh normálových sil - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kN]



Obr. 2.59. Průběh ohybových momentů - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kNm]



Obr. 2.60. Průběh normálových napětí - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.61. Relativní posuny uz od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

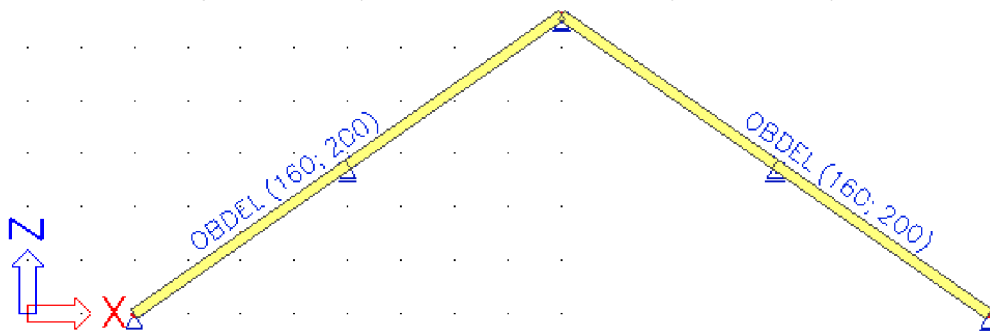
Krokev je namáhána ohybem a osovou silou, pro mezní stav únosnosti platí vztah (2.1):

$$\frac{0,18}{9,69} + \frac{7,41}{1 \cdot 16,62} = 0,77 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení krokev na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

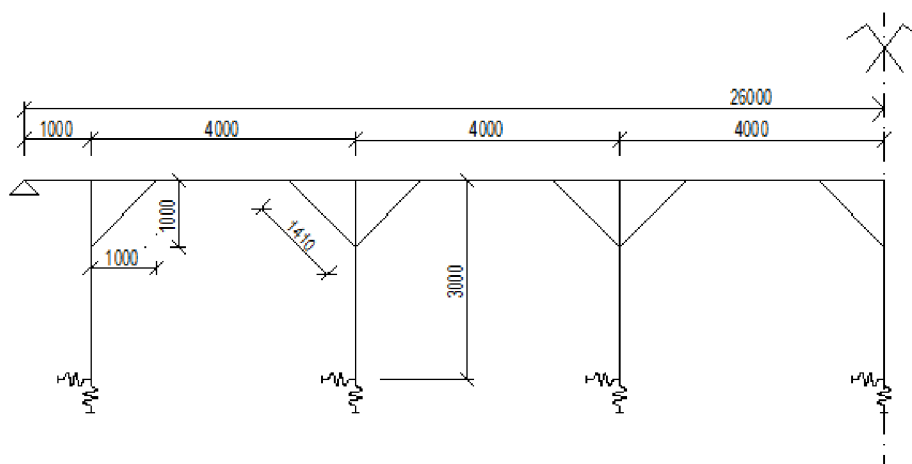
$$13,80\text{mm} \leq 16,28\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím stavem pro dimenzování krokev byl mezní stav použitelnosti.



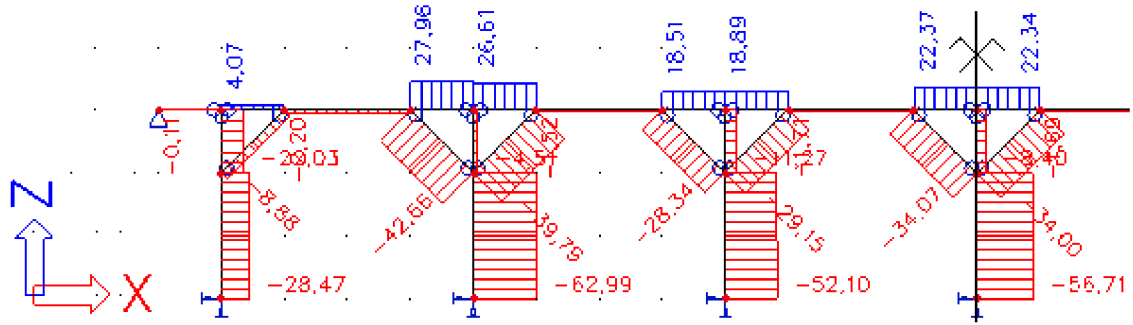
Obr. 2.62. Navržené průřezy prvků [mm]

2.3.2 Vaznice – vrcholová

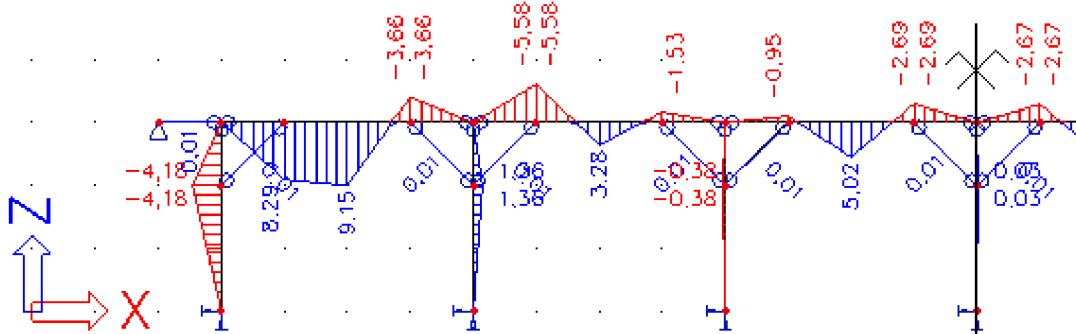


Obr. 2.63. Geometrie vaznice [mm]

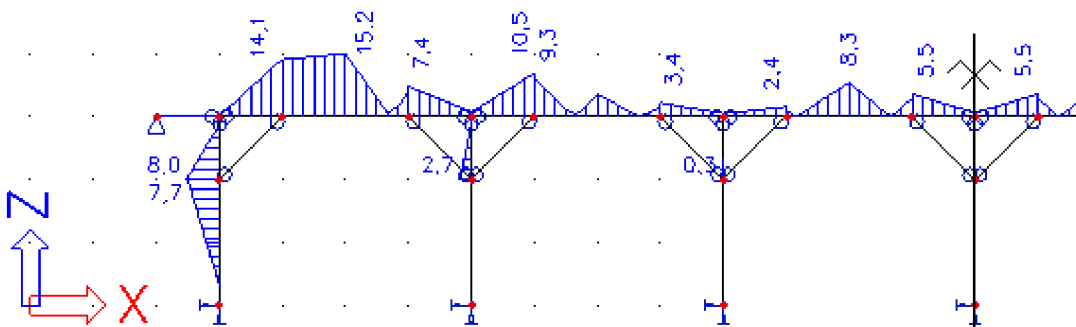
Vnitřní síly a posuny



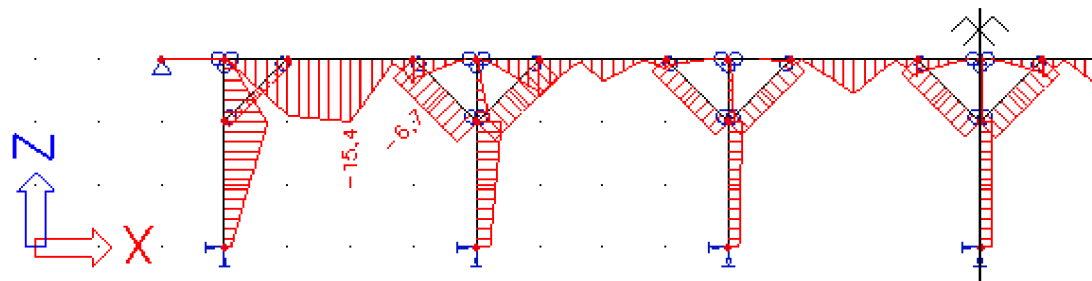
Obr. 2.64. Průběh normálových sil - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kN]



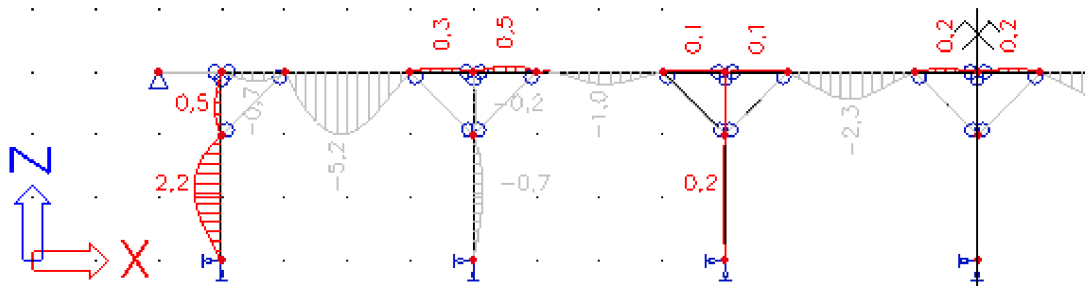
Obr. 2.65. Průběh ohybových momentů - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kNm]



Obr. 2.66.a) Průběh normálových napětí+ extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.66.b) Průběh normálových napětí- extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.67. Relativní posuny uz v lokálních souřadnicích od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

Posouzení vaznice na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.5):

$$\frac{0,1}{0,859 \cdot 14,54} + \frac{15,32}{1 \cdot 16,62} = 0,93 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vaznice na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

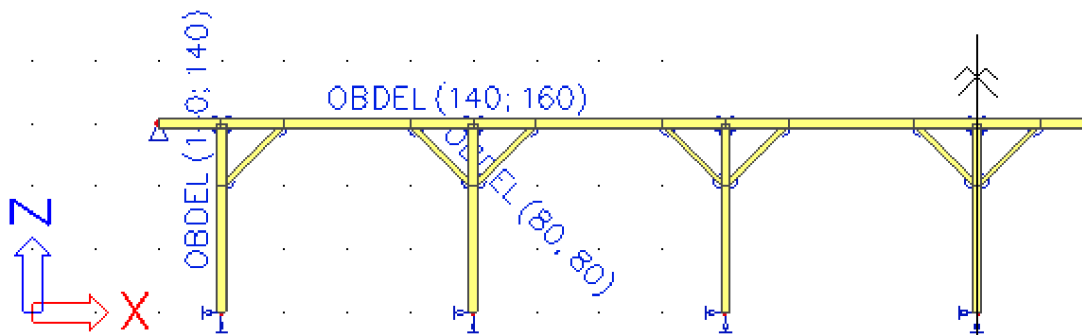
$$5,2 \text{ mm} \leq 6,67 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím mezním stavem pro dimenzování prvku je zde mezní stav únosnosti.

Posouzení pásku na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.4):

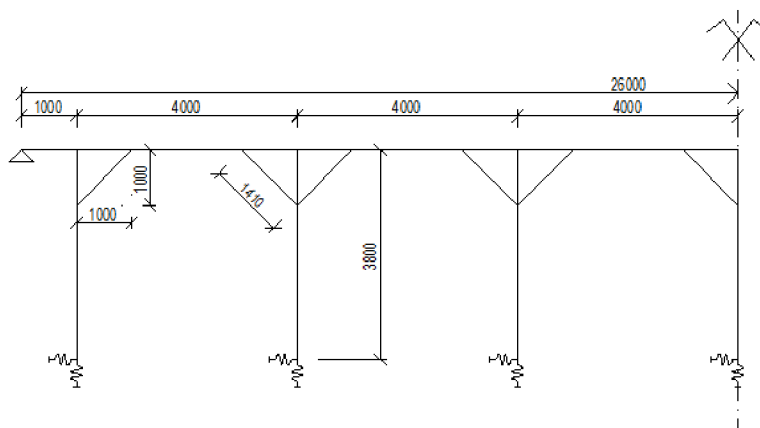
$$\frac{4,27}{0,805 \cdot 14,54} = 0,36 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Mezní stav únosnosti je vzhledem k zanedbatelným posunům rovněž stavem rozhodujícím pro dimenzování prvku.



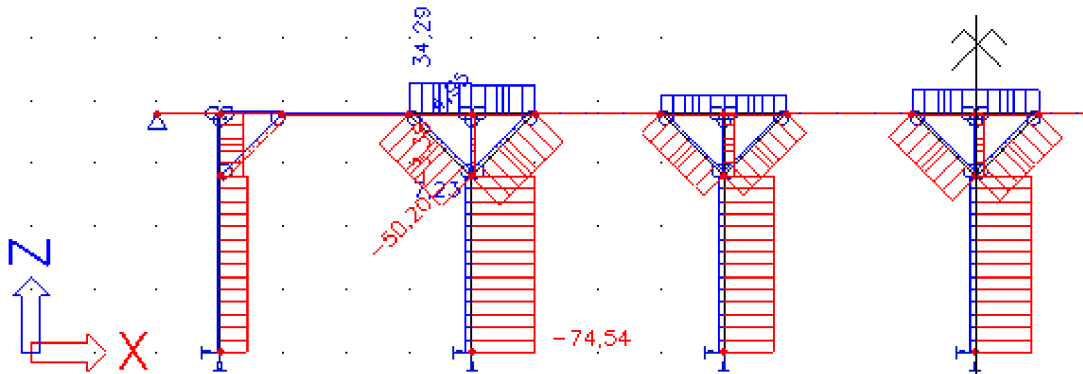
Obr. 2.68. Navržené průřezy prvků [mm]

2.3.3 Vaznice - mezilehlá

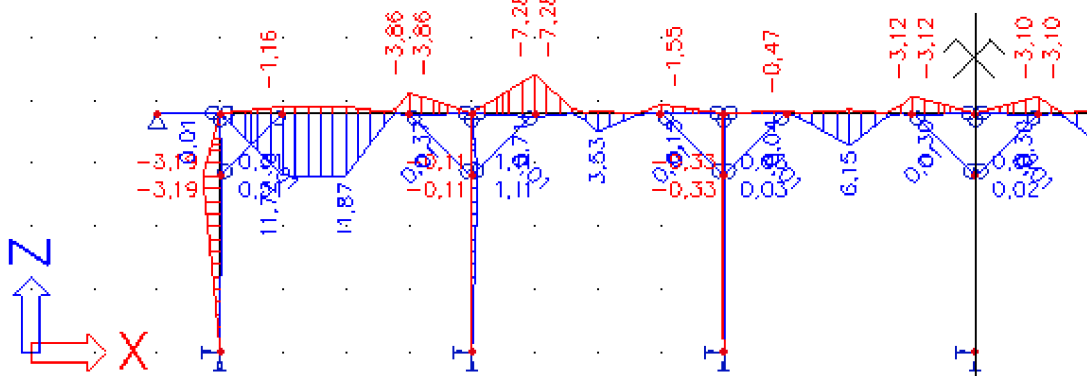


Obr. 2.69. Geometrie vaznice [mm]

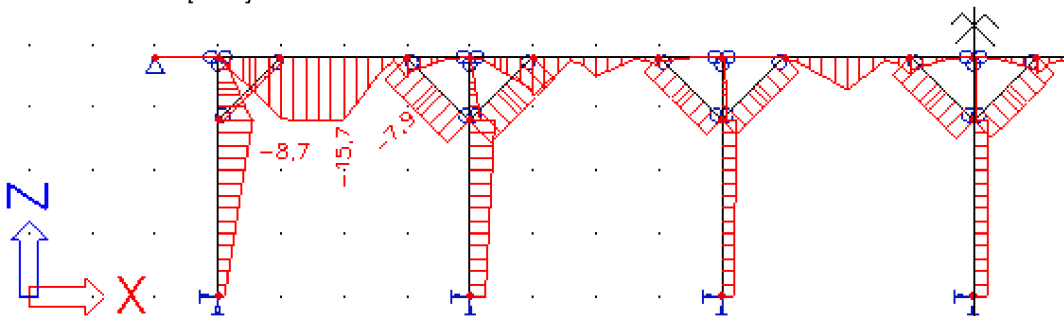
Vnitřní síly a posuny



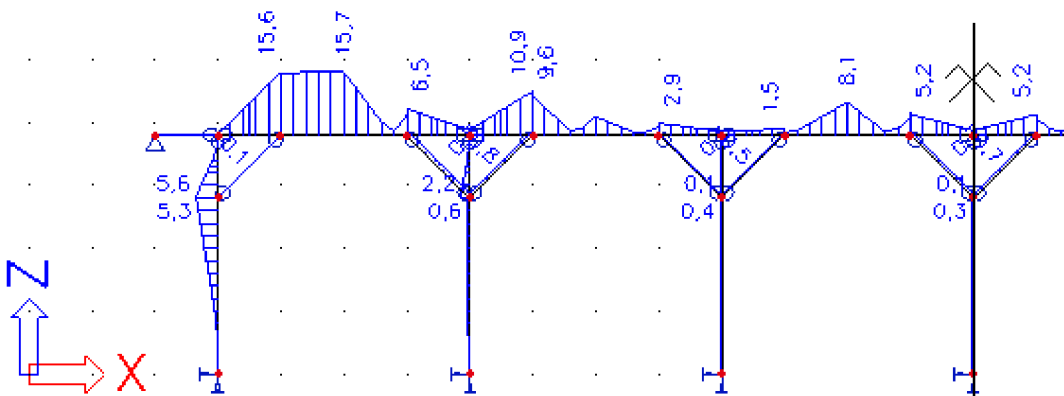
Obr. 2.70. Průběh normálových sil - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kN]



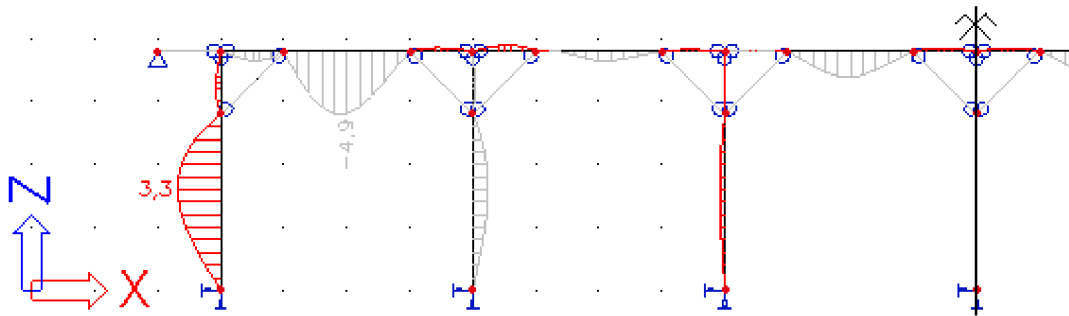
Obr. 2.71. Průběh ohybových momentů - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kNm]



Obr. 2.72.a) Průběh normálových napětí- extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.72.b) Průběh normálových napětí+ extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.73. Relativní posuny uz v lokálních souřadnicích od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

Posouzení vaznice na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.5):

$$\frac{0,05}{0,896 \cdot 14,54} + \frac{15,73}{1 \cdot 16,62} = 0,95 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vaznice na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

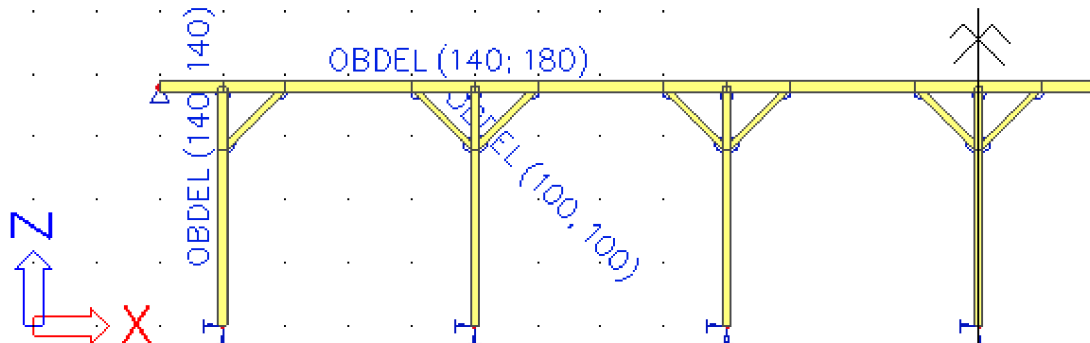
$$4,9 \text{ mm} \leq 6,67 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím mezním stavem pro dimenzování prvku je zde mezní stav únosnosti.

Posouzení pásku na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.4):

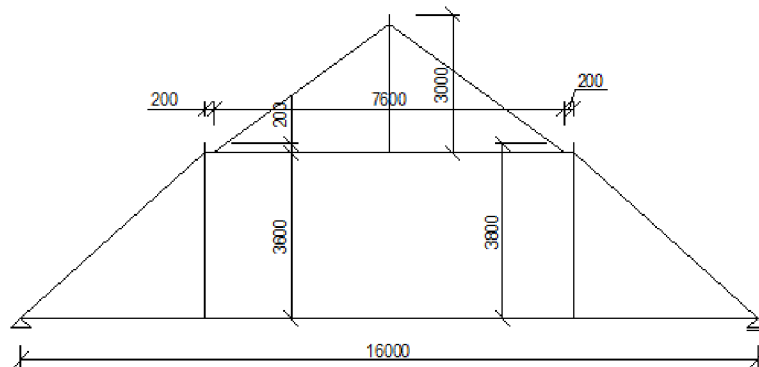
$$\frac{5,02}{0,805 \cdot 14,54} = 0,43 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Mezní stav únosnosti je vzhledem k zanedbatelným posunům rovněž stavem rozhodujícím pro dimenzování prvku.



Obr. 2.74. Navržené průřezy prvků [mm]

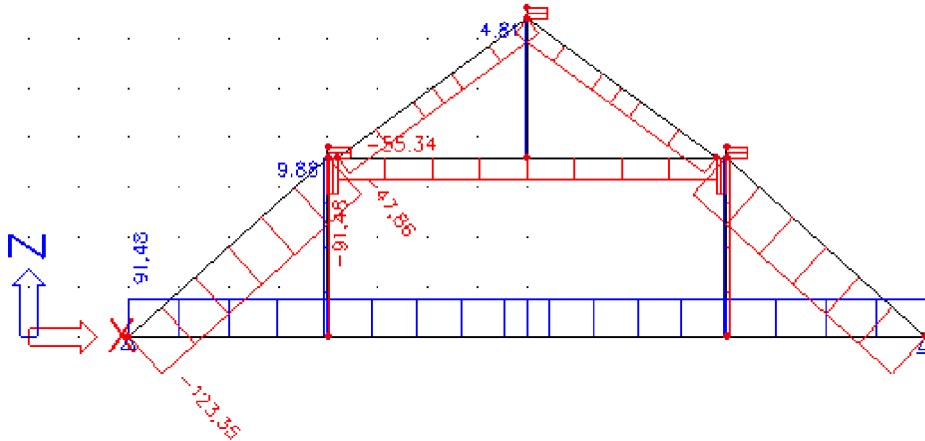
2.3.4 Plná příčná vazba



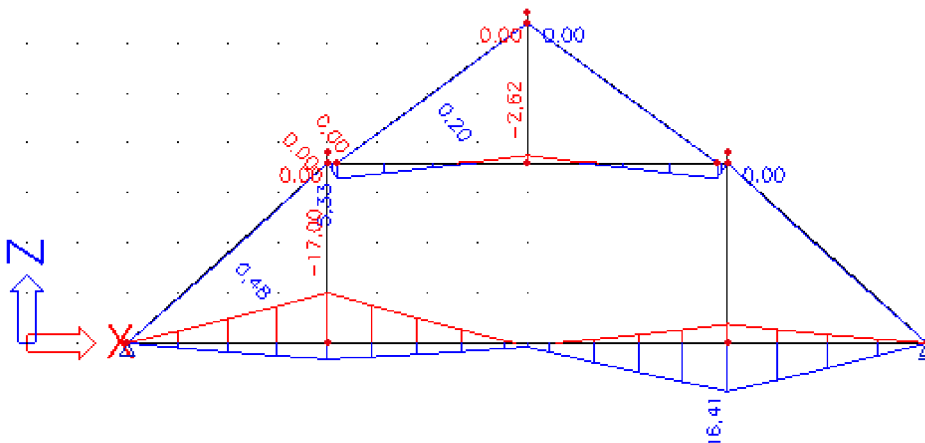
Obr. 2.75. Geometrie Příčné vazby [mm]

Výpočtový model

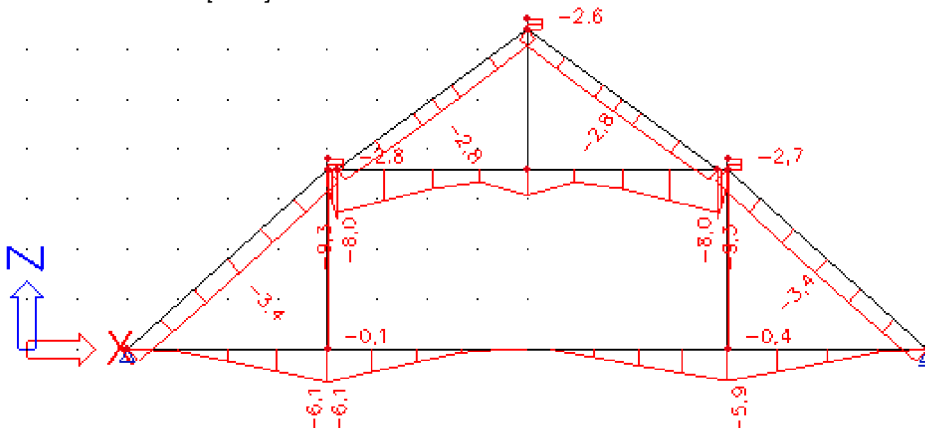
Model příčné vazby bychom mohli rozdělit na dvě části. Část horní funguje jako samostatné jednoduché věšadlo tvořené vzpěrami, sloupkem a rozpěrou. Problém zde tvoří uložení vzpěr, které nejsou osově vedené do „podpory“ – spojení rozpěry a sloupku, ale jsou začepovány přímo do rozpěry. V tomto místě je třeba ověřit smyková napětí. Spodní část funguje jako dvojité věšadlo tvořené vzpěrami, sloupky a vazným trámem.



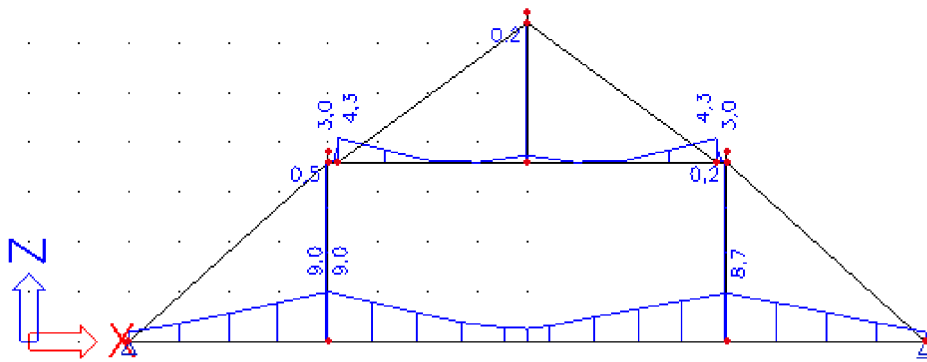
Obr. 2.76. Průběh normálových sil - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kN]



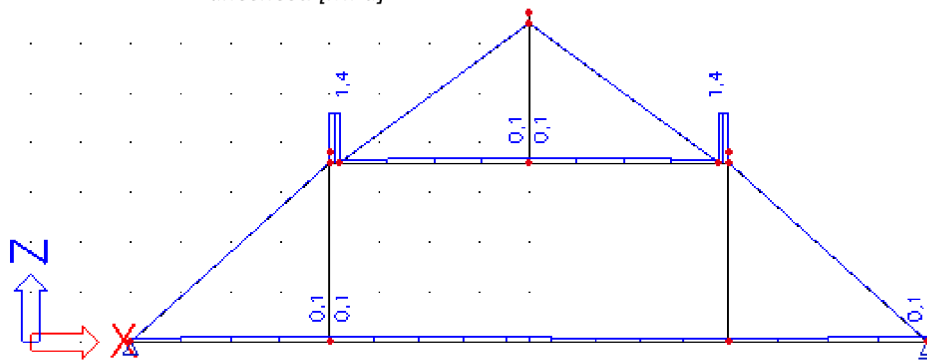
Obr. 2.77. Průběh ohybových momentů - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kNm]



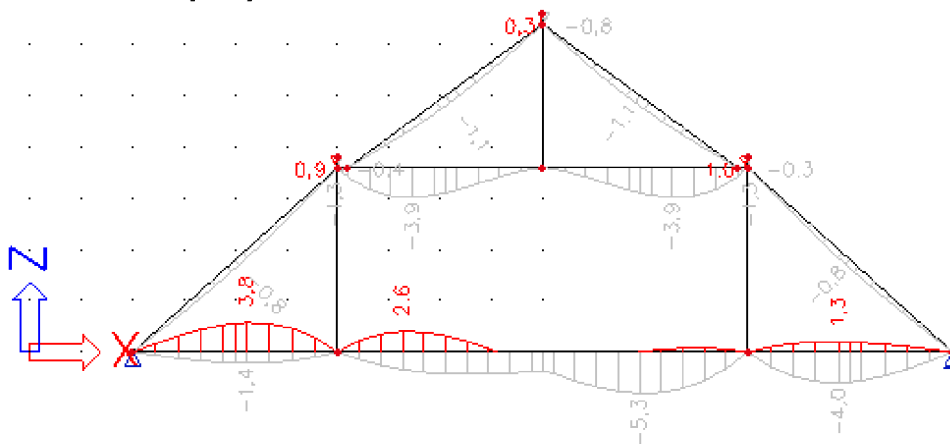
Obr. 2.78.a) Průběh normálových napětí- extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.78.b) Průběh normálových napětí+ extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.79. Průběh smykových napětí - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.80. Relativní posuny uz v lokálních souřadnicích - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [mm]

Posouzení horního sloupku na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.5):

$$\frac{2,63}{1 \cdot 14,54} + \frac{9,14}{1 \cdot 16,62} = 0,73 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení horního sloupku na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$2,20\text{mm} \leq 10,00\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení dolního sloupku na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.5):

$$\frac{2,82}{1 \cdot 14,54} + \frac{6,98}{1 \cdot 16,62} = 0,61 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení dolního sloupku na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$3,40mm \leq 12,67mm \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení horní vzpěry na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.4):

$$\frac{2,44}{0,228 \cdot 14,54} = 0,74 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení horní vzpěry na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$1,10mm \leq 15,73mm \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení dolní vzpěry na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.5):

$$\frac{3,50}{0,405 \cdot 14,54} + \frac{0,37}{1 \cdot 16,62} = 0,97 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení dolní vzpěry na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$0,80mm \leq 17,94mm \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení rozpěry na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.5):

$$\frac{3,17}{0,515 \cdot 14,54} + \frac{6,17}{1 \cdot 16,62} = 0,79 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení rozpěry na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$3,90mm \leq 12,67mm \quad \text{VYHOVÍ}$$

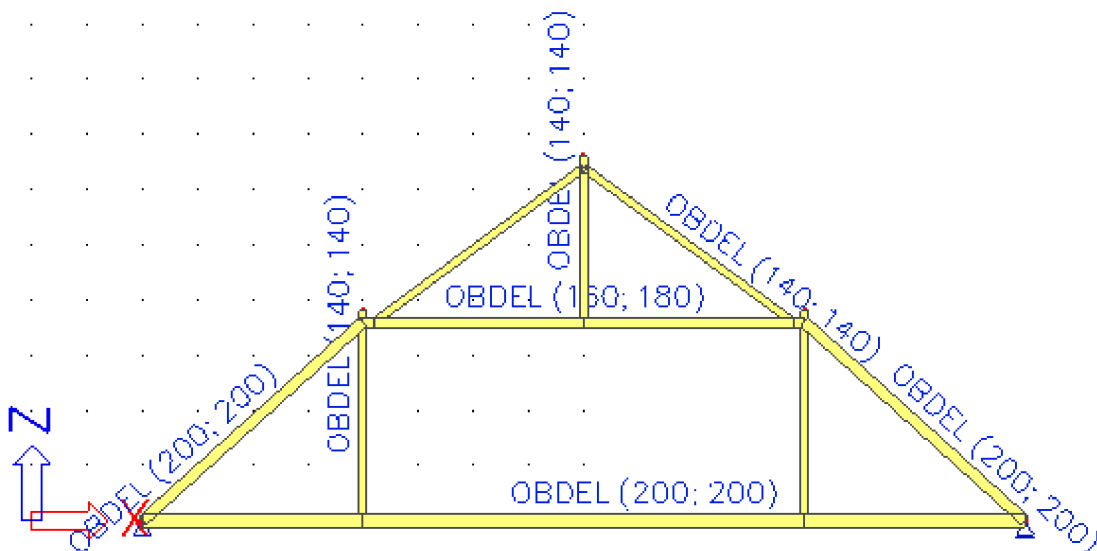
Posouzení vazného trámu na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.1):

$$\frac{2,29}{9,69} + \frac{12,75}{1 \cdot 16,62} = 0,92 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vazného trámu na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

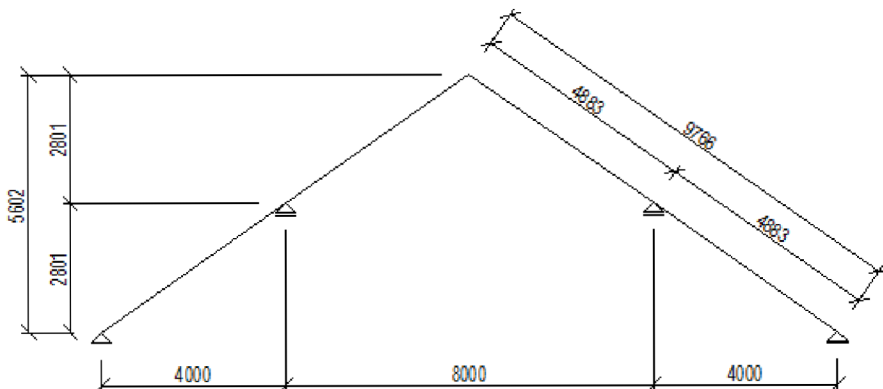
$$5,30mm \leq 26,67mm \quad \text{VYHOVÍ}$$

Pro dimenzování všech prvků byl rozhodující mezní stav únosnosti.



Obr. 2.81. Navržené průřezy prvků [mm]

2.4 Variantní řešení pro rozpětí 16m bez vrcholové vaznice

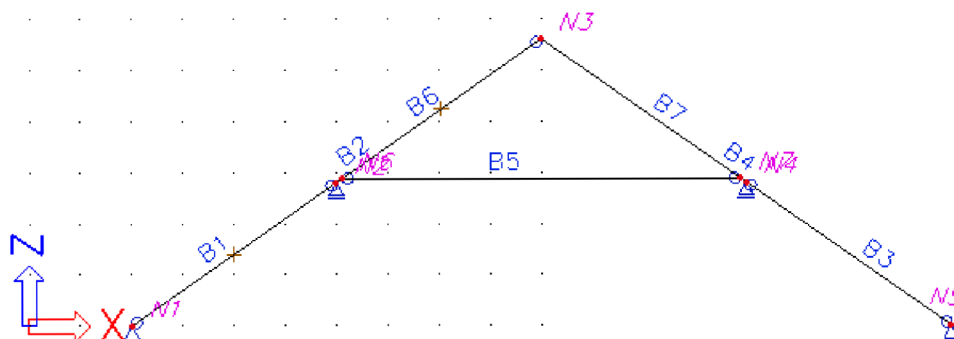


Obr. 2.82. Geometrie krokví [mm]

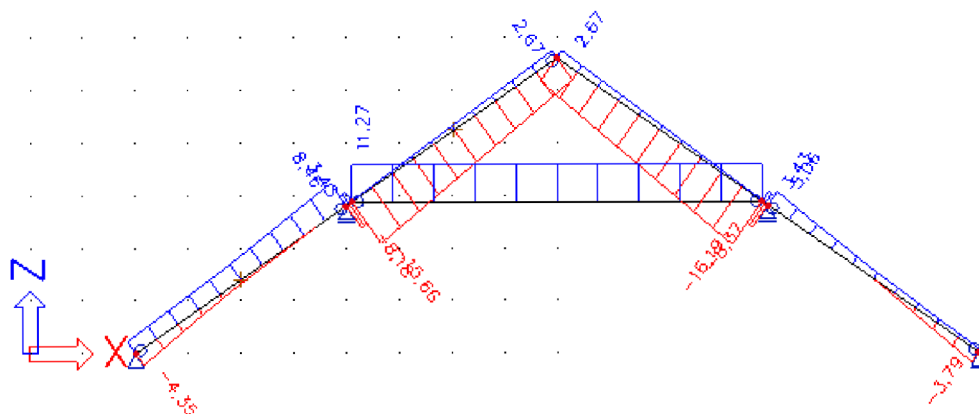
2.4.1 Krokev

Výpočtový model

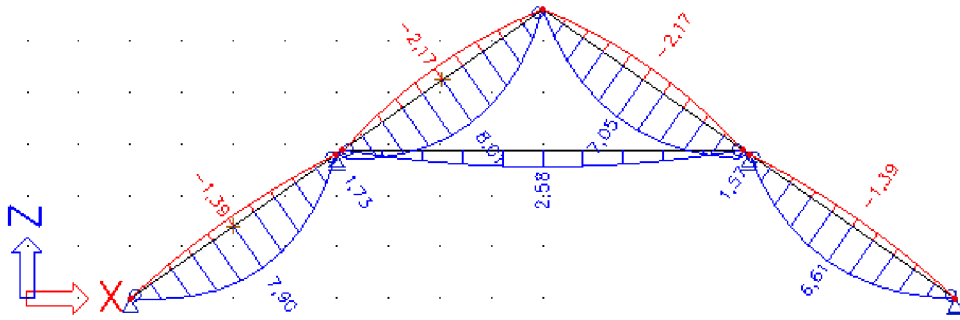
Výpočtový model je obdobný jako u dvojitého věšadla. Je zde geometricky přesněji modelováno osedlání a připojení kleštín na krokev.



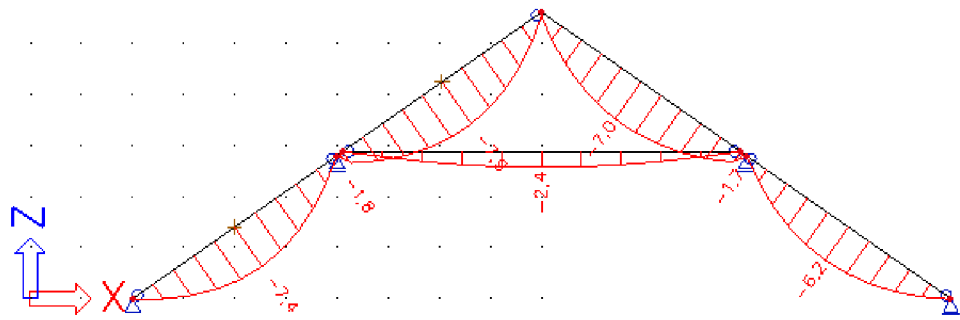
Obr. 2.83. Model krokví a kleštiny



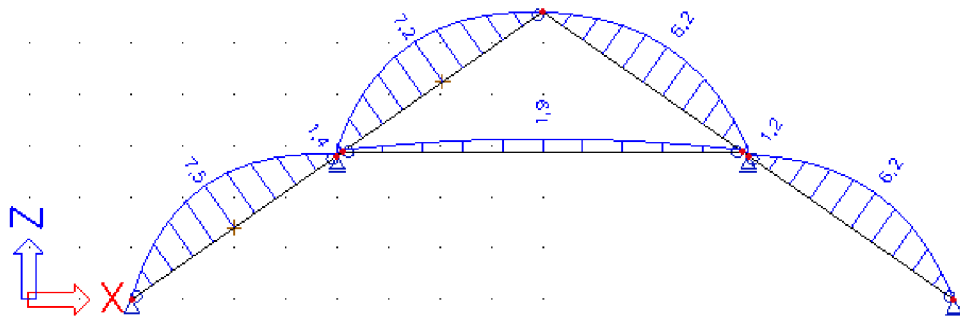
Obr. 2.84. Průběh normálových sil - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kN]



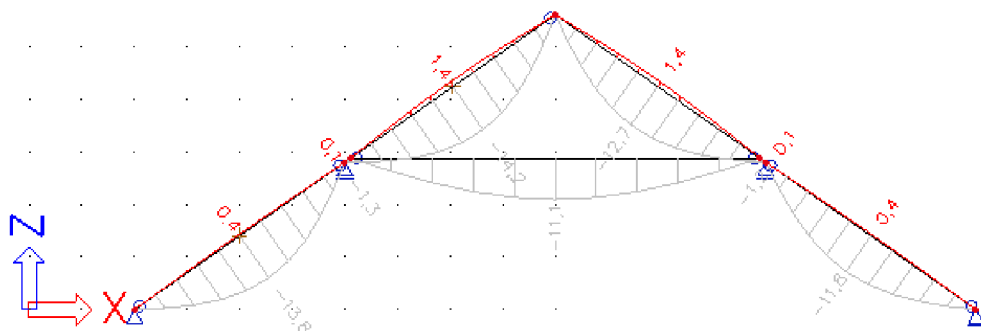
Obr. 2.85. Průběh ohybových momentů - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kNm]



Obr. 2.86.a) Průběh normálových napětí- extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.86.b) Průběh normálových napětí+ extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.87. Relativní posuny uz - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

Posouzení krokve na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.5):

$$\frac{0,37}{0,426 \cdot 14,54} + \frac{7,5}{1 \cdot 16,62} = 0,51 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení krokve na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$14,20\text{mm} \leq 15,84\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím stavem pro dimenzování krokve byl mezní stav použitelnosti.

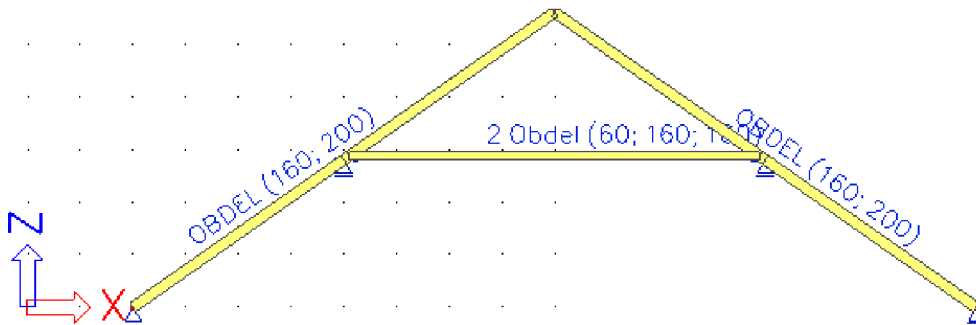
Posouzení kleštiny na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.1):

$$\frac{0,59}{9,69} + \frac{5,04}{1 \cdot 16,62} = 0,36 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení krokve na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

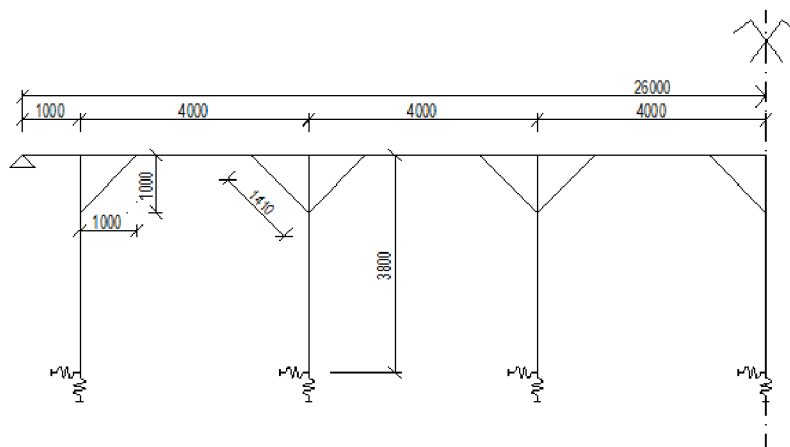
$$11,10\text{mm} \leq 25,95\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím stavem pro dimenzování kleštiny byl mezní stav únosnosti.

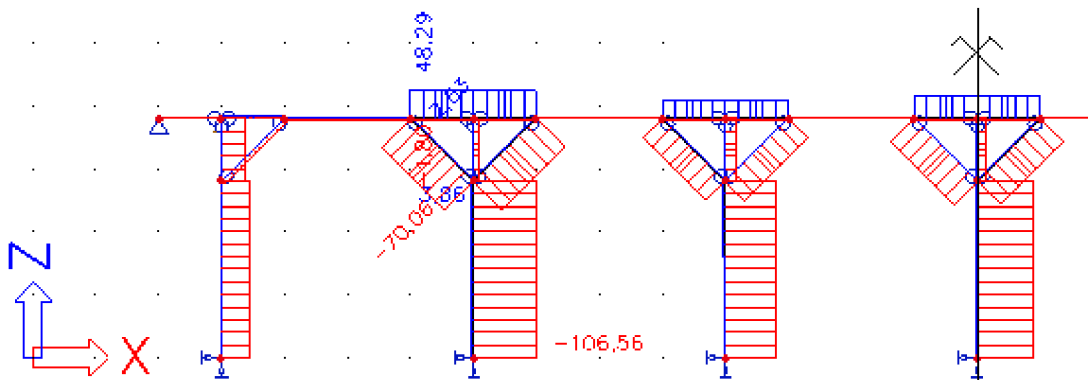


Obr. 2.88. Navržené průřezy prvků [mm]

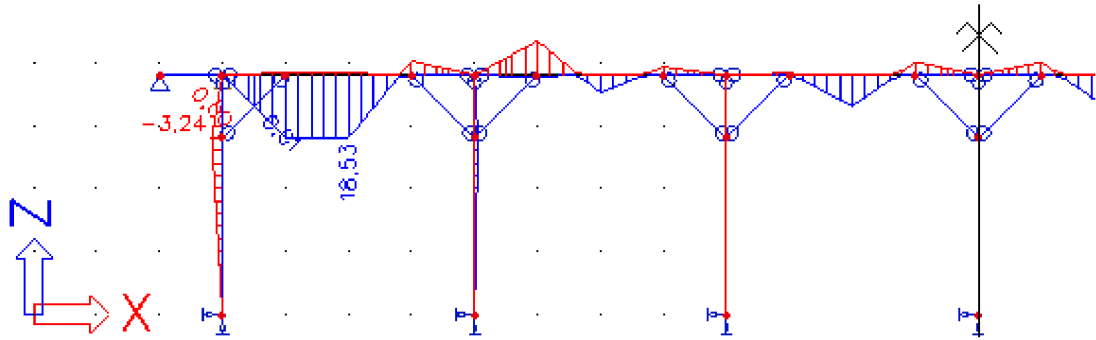
2.4.2 Vaznice



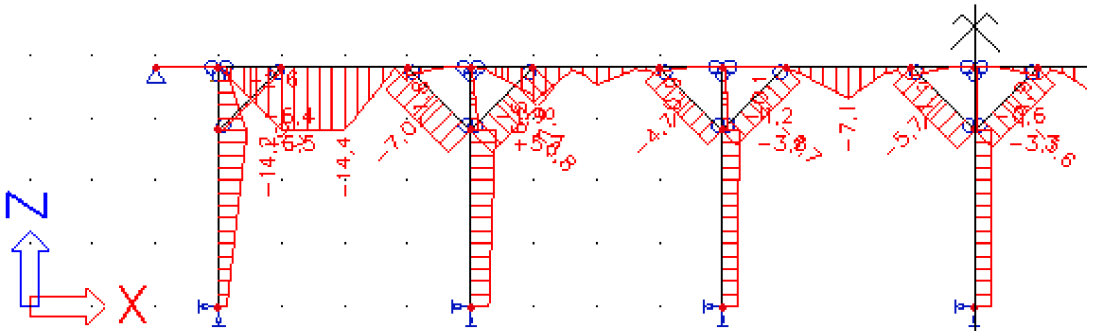
Obr. 2.89. Geometrie vaznice [mm]



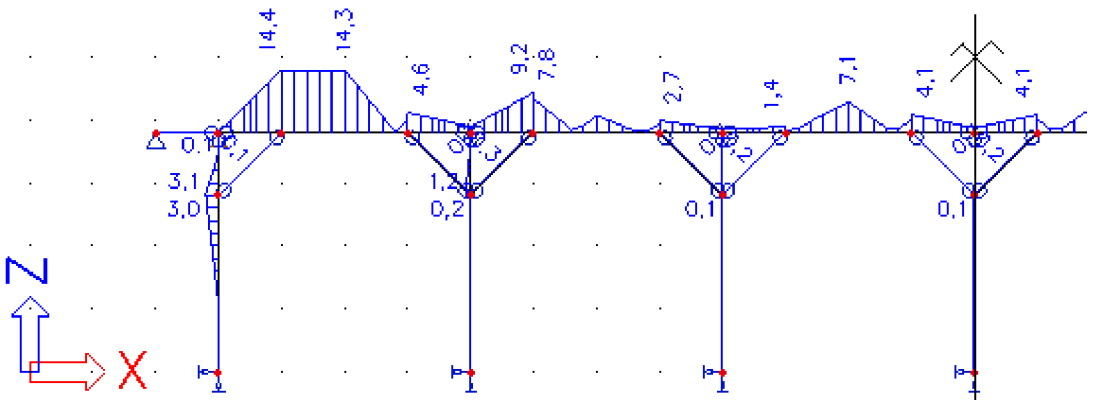
Obr. 2.90. Průběh normálových sil - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kN]



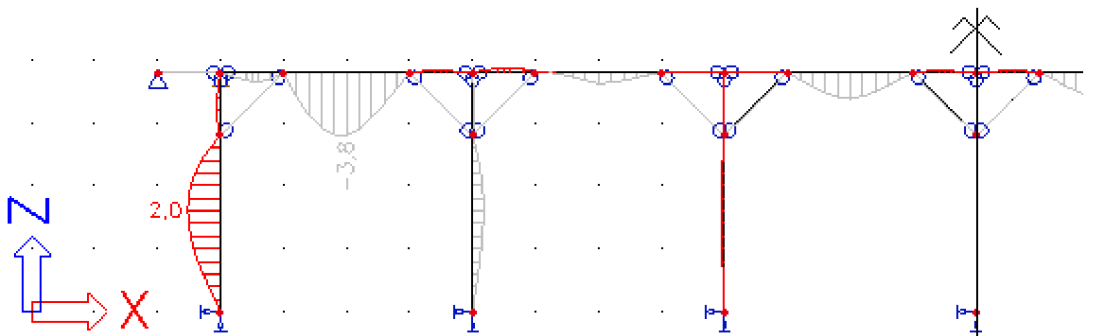
Obr. 2.91. Průběh ohybových momentů - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kNm]



Obr. 2.92.a) Průběh normálových napětí- extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.92.b) Průběh normálových napětí- extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.93. Relativní posuny uz v lokálních souřadnicích - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

Posouzení vaznice na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.5):

$$\frac{0,03}{0,939 \cdot 14,54} + \frac{18,53}{1 \cdot 16,62} = 0,87 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vaznice na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

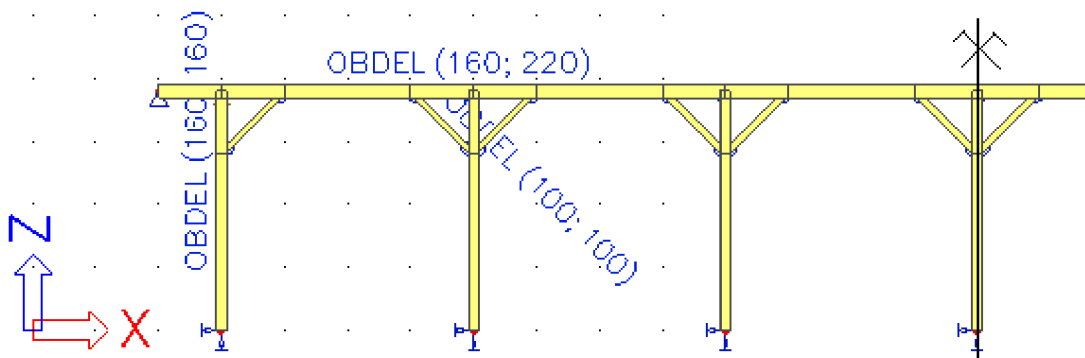
$$3,8\text{mm} \leq 6,67\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím mezním stavem pro dimenzování prvku je mezní stav únosnosti.

Posouzení pásku na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.4):

$$\frac{7,01}{0,805 \cdot 14,54} = 0,60 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

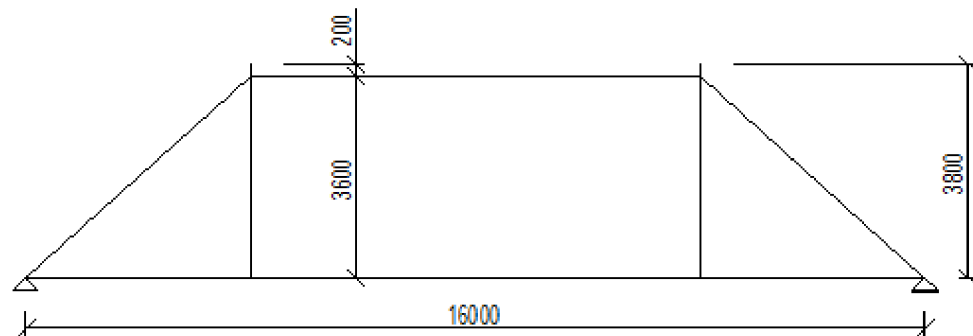
Mezní stav únosnosti je vzhledem k zanedbatelným posunům rovněž stavem rozhodujícím pro dimenzování prvku.



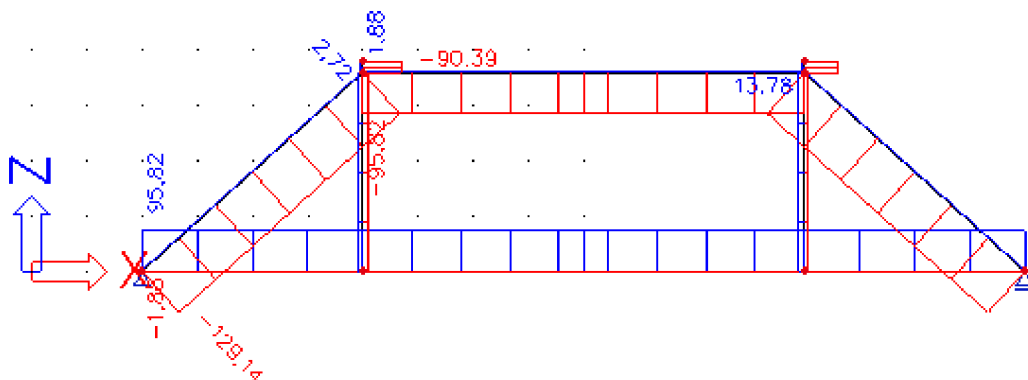
Obr. 2.94. Navržené průřezy prvků [mm]

2.4.3 Plná příčná vazba

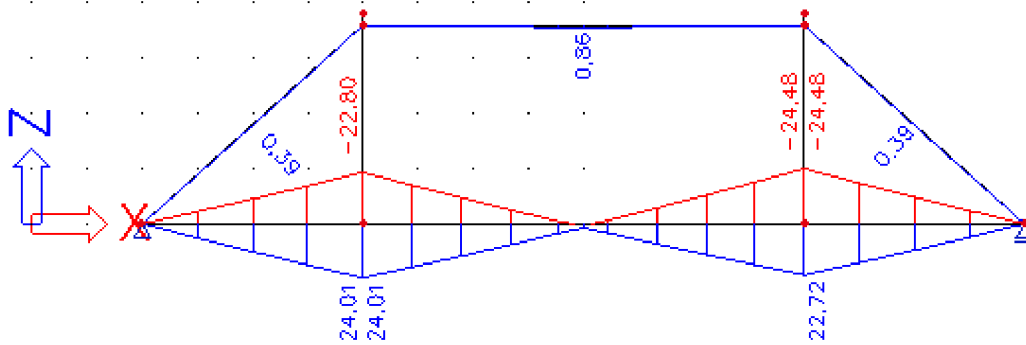
Skladba prvků a umístění kloubů je opět shodné s dvojitým věšadlem.



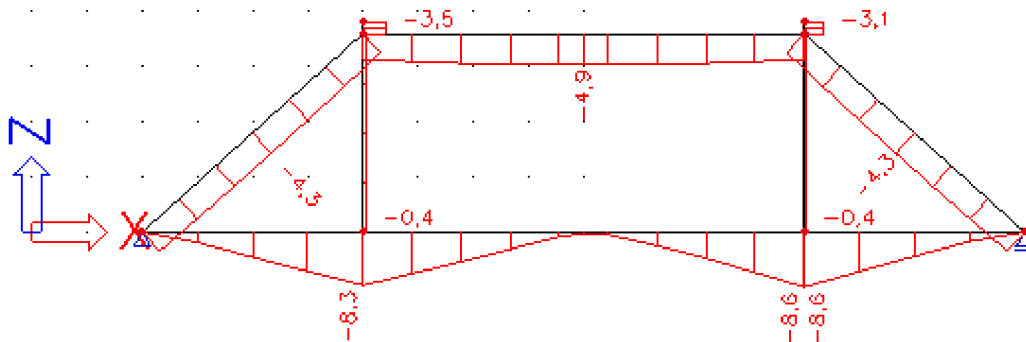
Obr. 2.95. Geometrie příčné vazby [mm]



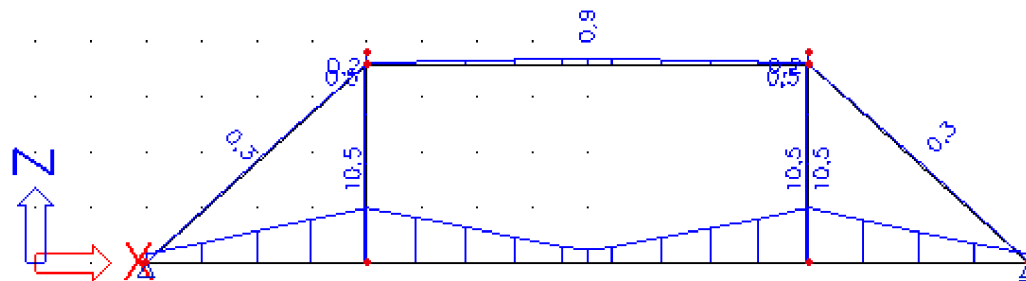
Obr. 2.96. Průběh normálových sil - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kN]



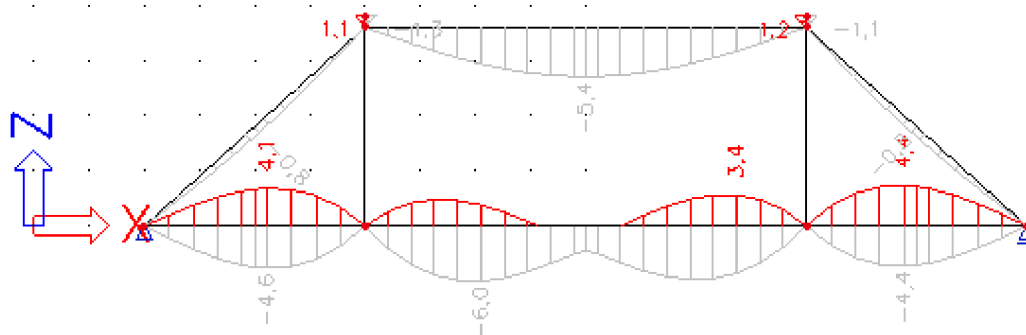
Obr. 2.97. Průběh ohybových momentů - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kNm]



Obr. 2.98.a) Průběh normálových napětí- extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.98.b) Průběh normálových napětí- extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 2.99. Relativní posuny uz v lokálních souřadnicích - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

Posouzení sloupku na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.1):

$$\frac{0,51}{9,69} + \frac{7,91}{1 \cdot 16,62} = 0,53 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení sloupku na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$2,00\text{mm} \leq 12,67\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení rozpěry na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.5):

$$\frac{2,42}{0,197 \cdot 14,54} + \frac{0,59}{1 \cdot 16,62} = 0,88 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení rozpěry na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$5,40\text{mm} \leq 26,67\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vzpěry na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.4):

$$\frac{4,03}{0,343 \cdot 14,54} = 0,81 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vzpěry na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$1,10\text{mm} \leq 17,94\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

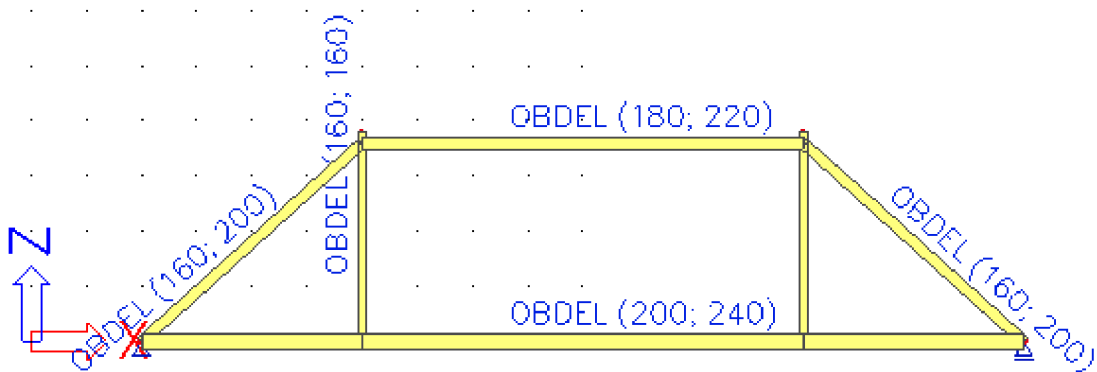
Posouzení vazného trámu na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.1):

$$\frac{2,00}{9,69} + \frac{12,77}{1 \cdot 16,62} = 0,97 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vazného trámu na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$5,30\text{mm} \leq 26,67\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

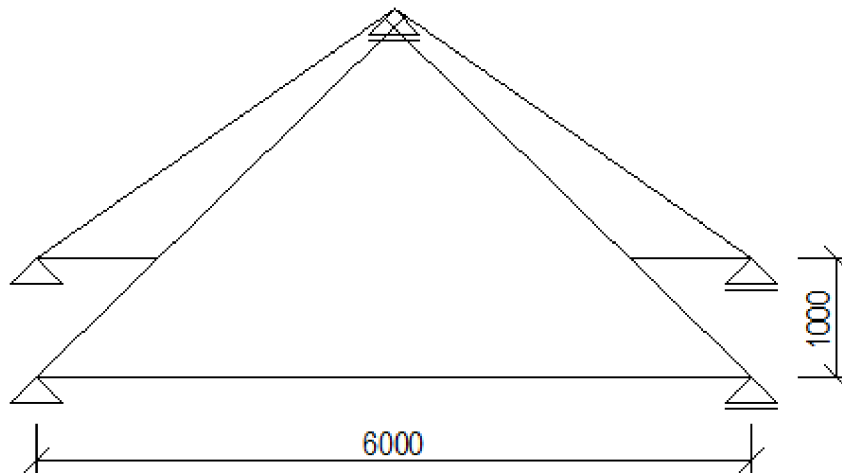
Pro dimenzování sloupku, rozpěry, vzpěry i vazného trámu byl rozhodující mezní stav únosnosti.



Obr. 2.100. Navržené průřezy prvků [mm]

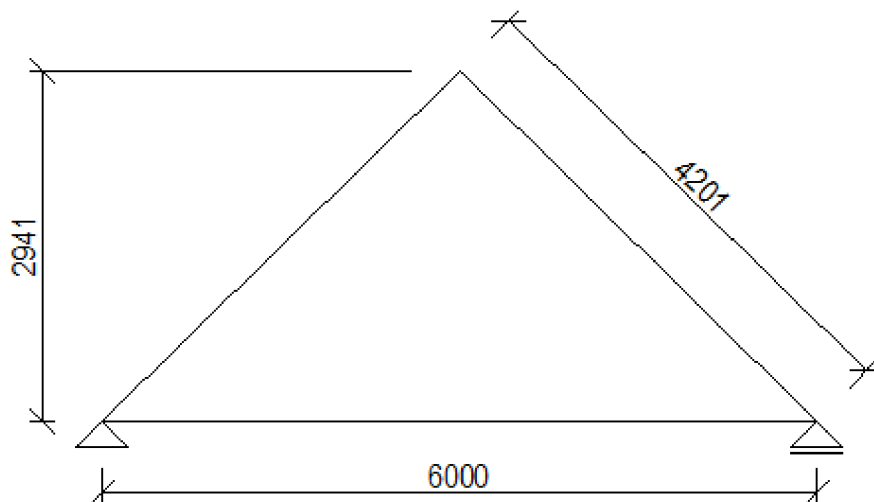
3. KROVY SOUSTAVY VAZNICOVÉ S LEŽATOU STOLICÍ

3.1 Ležatá stolice na rozpětí 6 m



Obr. 3.1. Geometrie ležaté stolice na rozpětí 6 m [mm]

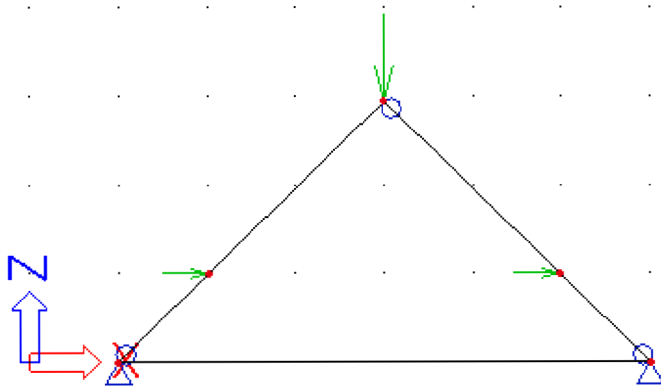
3.1.1 Plná příčná vazba



Obr. 3.2. Geometrie příčné vazby [mm]

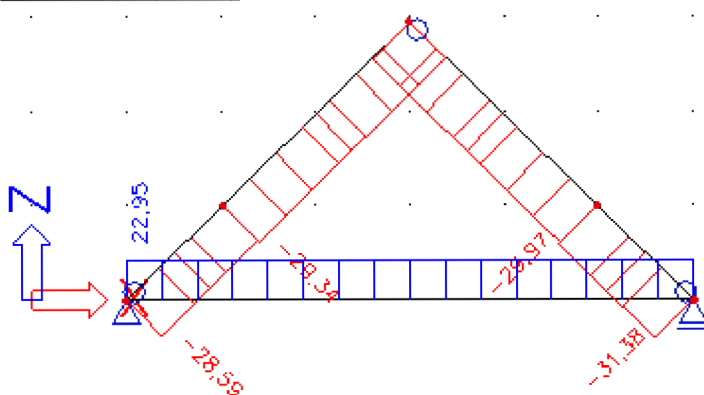
Výpočtový model a zatížení

Výpočtový model příčné vazby tvoří sloupky a vazný trám. Síla, kterou zatěžujeme sloupky, působí v uzlu v místě uložení vaznice. Hodnoty zatížení byly převzaty z výpočtového modelu krokve pro jednoduché věšadlo. Zatížení větrem přenáší částečně kleštiny v úrovni uložení krokví na pozednice.

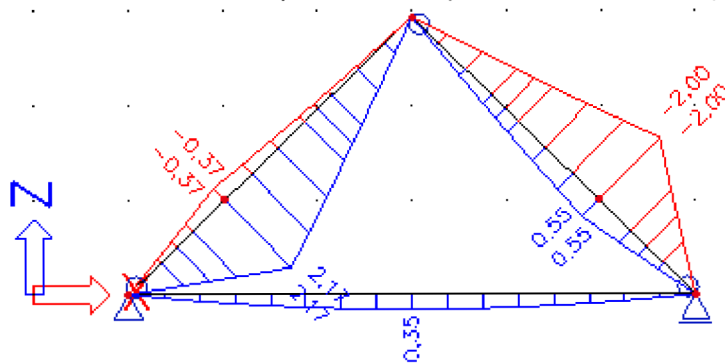


Obr. 3.3. Výpočtový model a zatížení větrem při kombinaci tlaku na návětrnou i závětrnou stranu [kN]

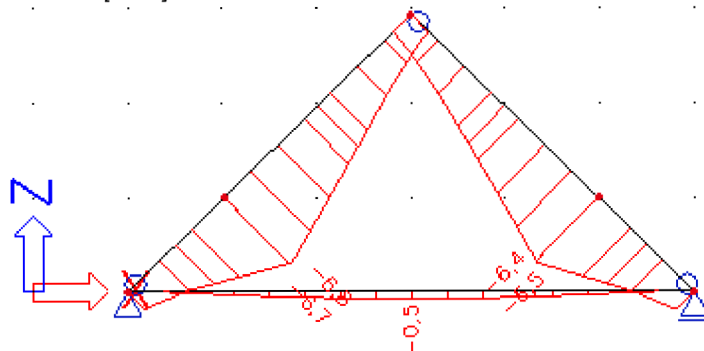
Vnitřní síly a posuny



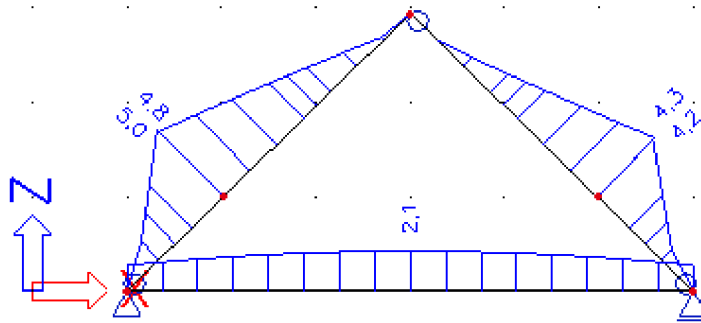
Obr. 3.4. Průběh normálových sil – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kN]



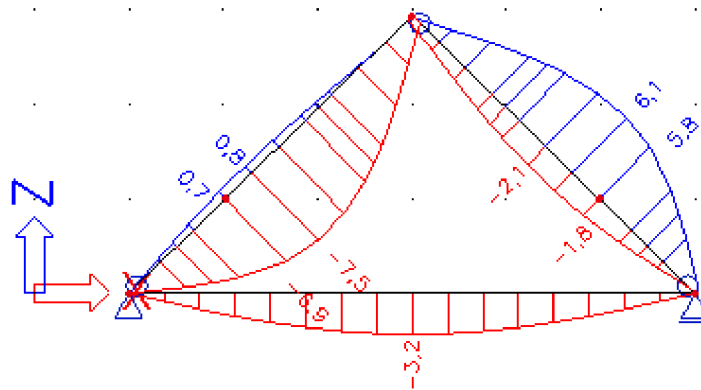
Obr. 3.5. Průběh ohybových momentů – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kNm]



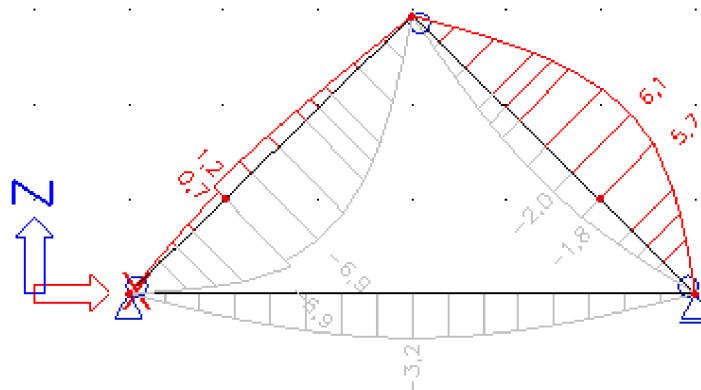
Obr. 3.6. a) Průběh normálových napětí- extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 3.6. b) Průběh normálových napětí+ extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 3.7. Posuny uz v lokálních souřadnicích - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]



Obr. 3.8. Relativní posuny uz v lokálních souřadnicích - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

Posouzení sloupku na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.5):

$$\frac{1,75}{0,282 \cdot 14,54} + \frac{5,54}{1 \cdot 16,62} = 0,76 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení sloupku na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$6,90 \text{ mm} \leq 14,00 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vazného trámu na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.1):

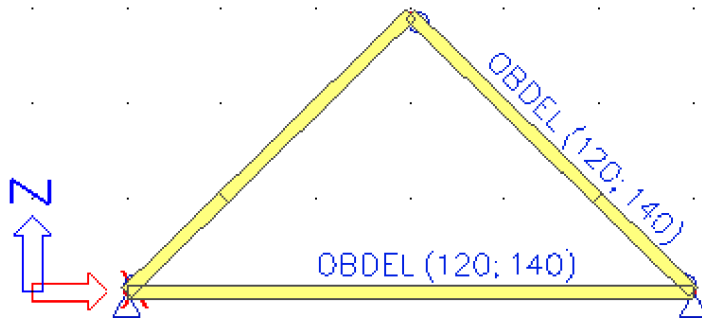
$$\frac{1,37}{9,69} + \frac{0,89}{1 \cdot 16,62} = 0,19 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vazného trámu na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$3,20mm \leq 20,00mm$$

VYHOVÍ

Pro dimenzování sloupku i vazného trámu byl rozhodující mezní stav únosnosti.



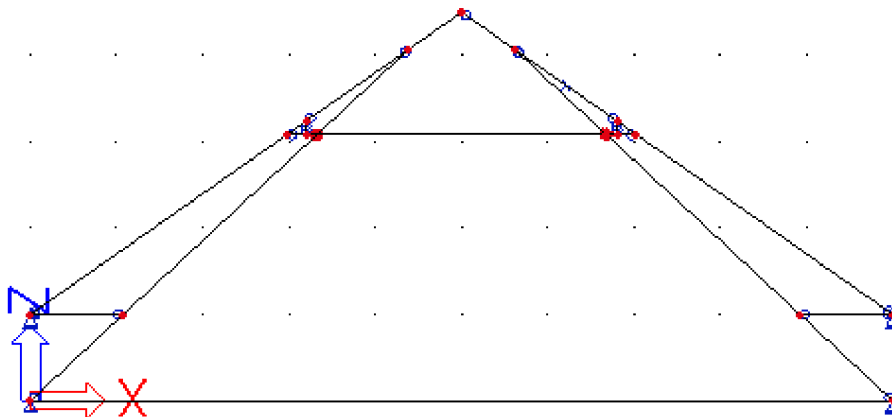
Obr. 3.9. Navržené průřezy prvků [mm]

3.2 Ležatá stolice na rozpětí 10m

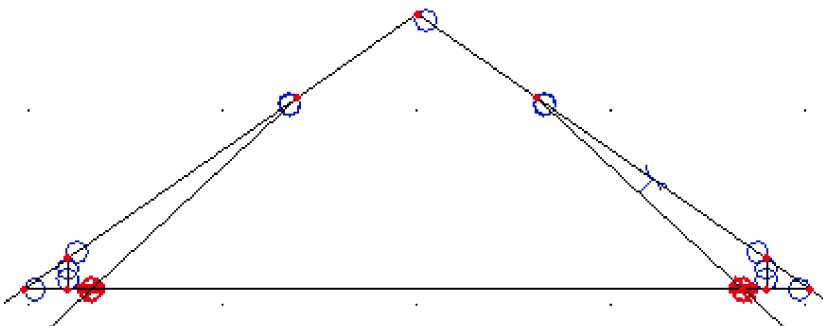
3.2.1 Plná příčná vazba

Výpočtový model

Pro vytvoření fungujícího modelu ležaté stolice bylo potřeba vymodelovat příčnou vazbu včetně krokví. Varianta pouze se sloupky a kleštinou totiž tvoří mechanismus. Všechna spojení prvků jsou modelována kloubem. Výjimku tvoří průnik sloupku a kleštiny, který byl modelován kloubovým křížením tak, aby se prvky mohly pootáčet pouze kolem na ně kolmé osy.



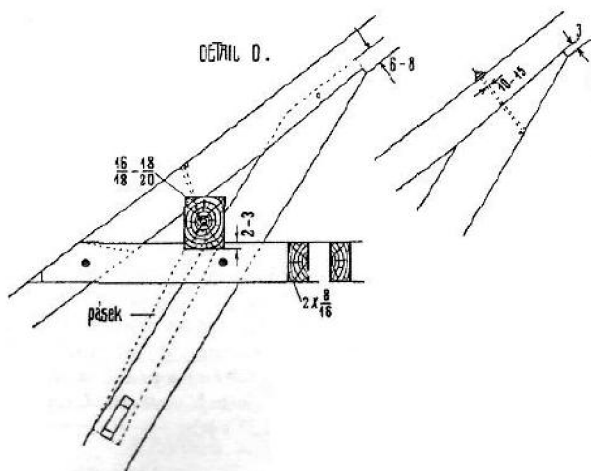
Obr. 3.10. Výpočtový model



Obr. 3.11. Detail spojení sloupků a krokví, křížení sloupků a kleštiny a vyloučení části pravého sloupku z tahu

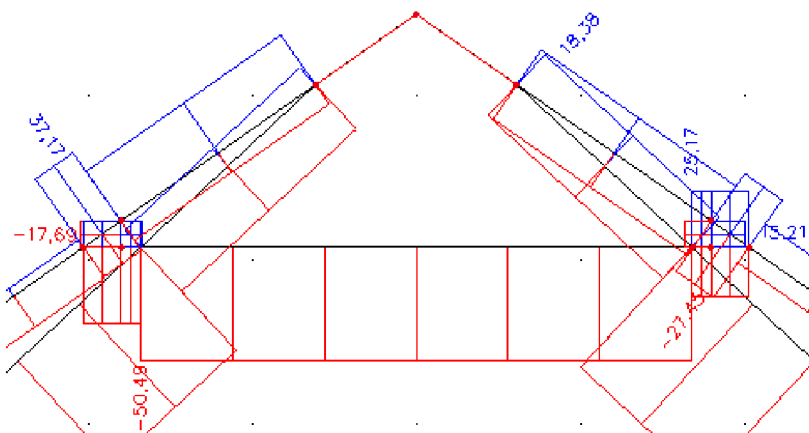
Vnitřní síly a posuny

V této příčné vazbě je třeba vyřešit problematiku tesařského spoje v místě napojení sloupku na krokev. V klasickém lineárním výpočtu kombinace pro mezní stav únosnosti v místě uložení sloupů vychází tah i tlak. Tento tesařský spoj však tah nepřenáší a tuto skutečnost je třeba zavést do modelu. V tomto konkrétním případě byl problém vyřešen použitím nelineárního výpočtu. Těsně nad místem křížení byl vytvořen řez na prutu a od tohoto řezu po uložení sloupku na krokev byl prut vyloučen z tahu.

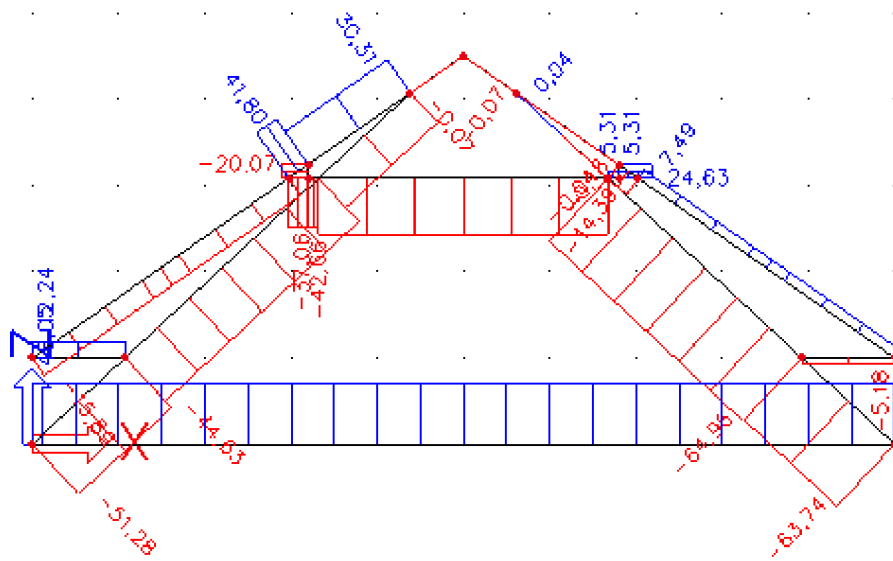


Obr. 3.12. Ukázka sloupku na krokev.

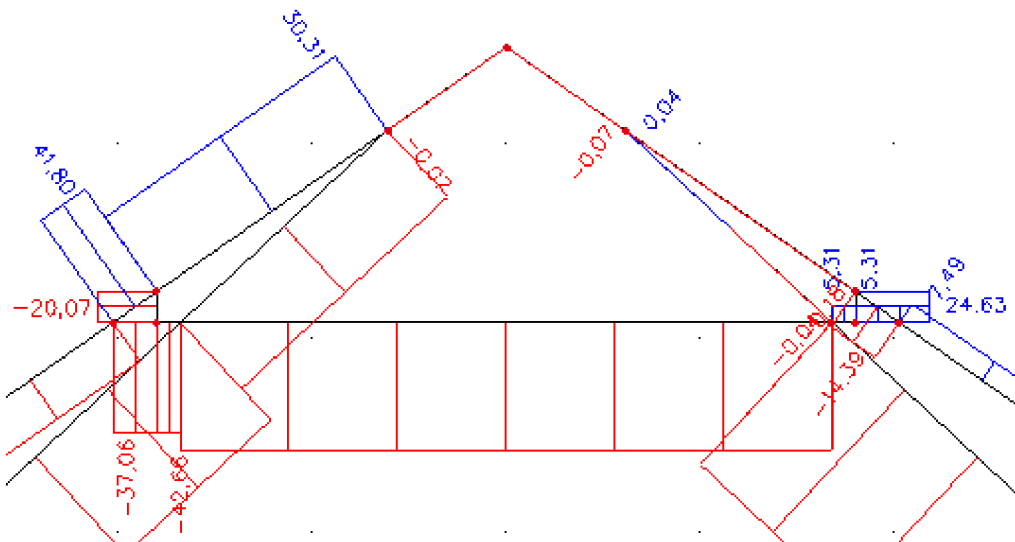
Zdroj: [10], str.100



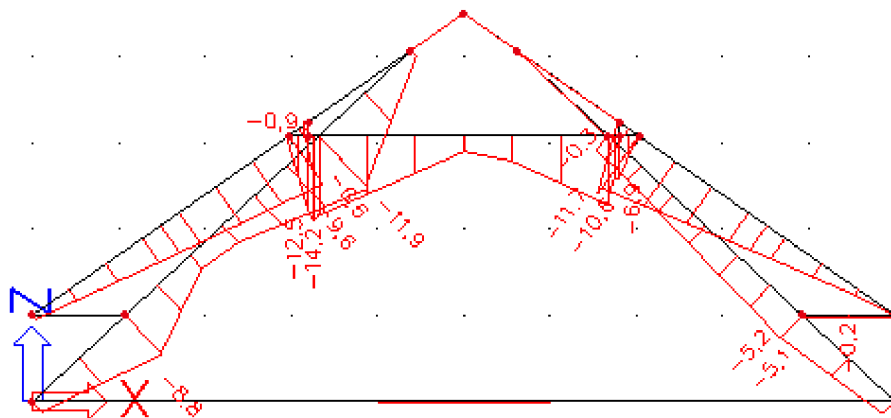
Obr. 3.13. Detail průběhu normálových sil v místě uložení sloupků na krokve – lineární výpočet [kN]



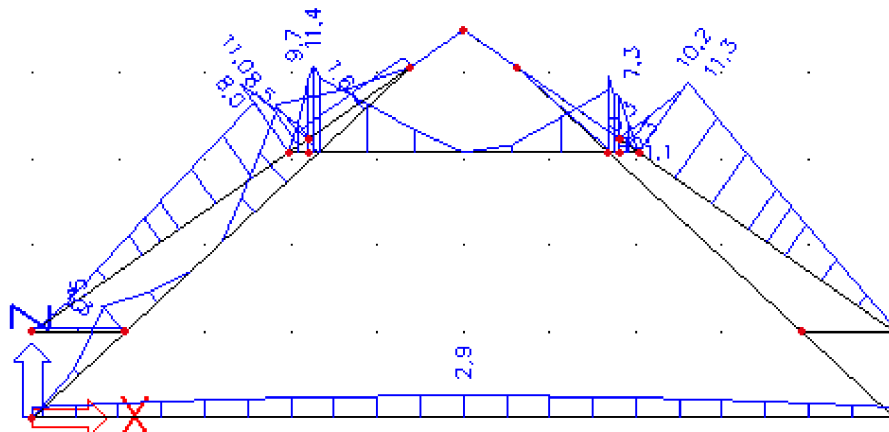
Obr. 3.14. Průběh normálových sil – extrémy od nelineární kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kN]



Obr. 3.15. Detail průběhu normálových sil v místě uložení sloupků na krokve – nelineární výpočet s vyloučením tahu u části sloupku [kN]

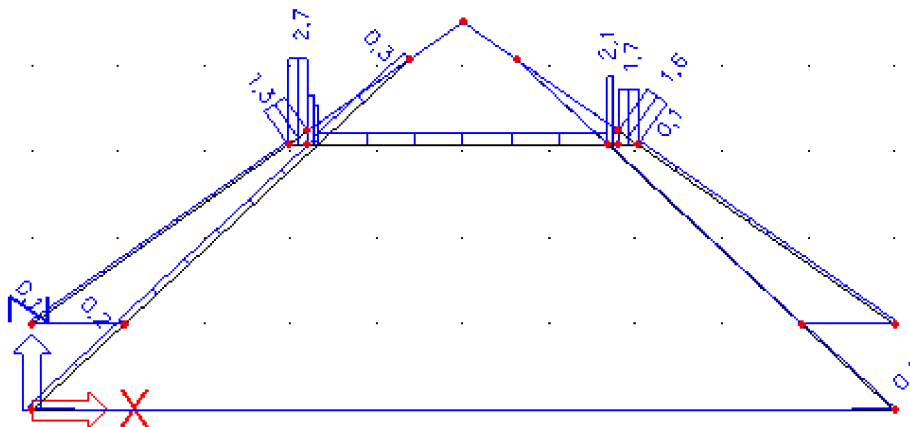


Obr. 3.16.a) Průběh normálových napětí – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



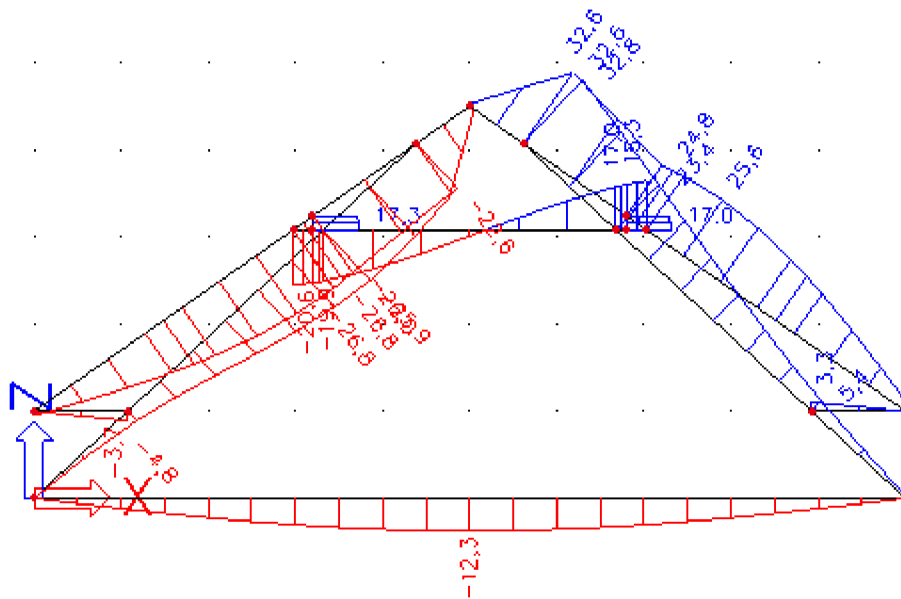
Obr. 3.16.b) Průběh normálových napětí - - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]

Průběh smykového napětí v místě zatížení příčné vazby vaznicí může být zkreslený, pro jeho přesnější popis by bylo třeba vytvořit detailnější model. Tímto se však v tomto textu nebudeme zabývat.

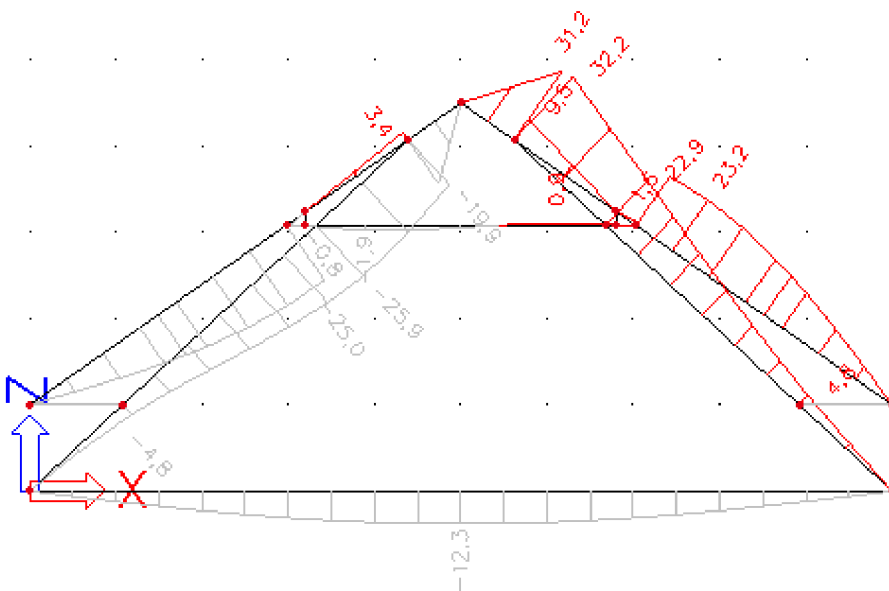


Obr. 3.17. Průběh smykových napětí - - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]

Při posouzení na mezní stav použitelnosti některé části konstrukce nevyhoví. Tento normový posudek by však neměl mít vliv na funkčnost krovu jako celku.



Obr. 3.18. Posuny uz - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]



Obr. 3.19. Relativní posuny uz - extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

Posouzení krokve na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.1):

$$\frac{2,18}{9,69} + \frac{8,79}{1 \cdot 16,62} = 0,75 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení krokve na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$31,20 \text{ mm} > 6,67 \text{ mm} \quad \text{NEVYHOVÍ}$$

Posouzení kleštiny na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.5):

$$\frac{1,62}{0,715 \cdot 14,54} + \frac{12,77}{1 \cdot 16,62} = 0,92 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení kleštiny na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$2,50\text{mm} \leq 13,33\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení sloupku na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.5):

$$\frac{2,58}{0,234 \cdot 14,54} + \frac{1,79}{1 \cdot 16,62} = 0,87 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení sloupku na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$44,10\text{mm} > 23,94\text{mm} \quad \text{NEVYHOVÍ}$$

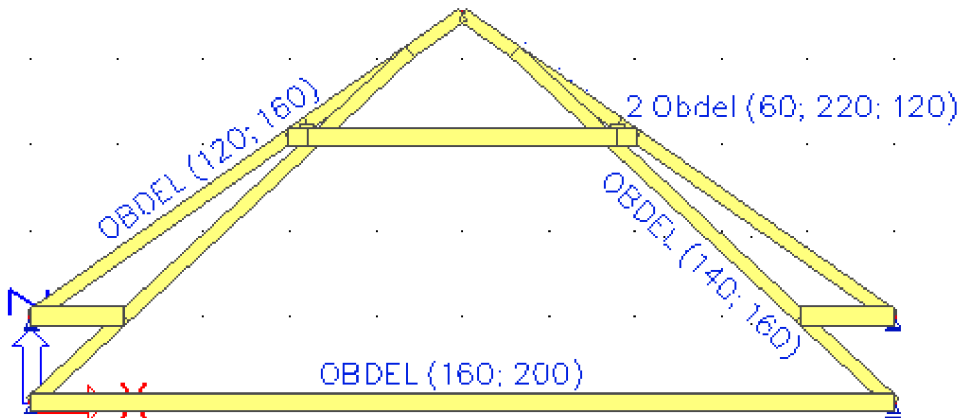
Posouzení vazného trámu na mezní stav únosnosti dle vzorce (2.1):

$$\frac{1,44}{9,69} + \frac{1,48}{1 \cdot 16,62} = 0,19 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vazného trámu na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$4,10\text{mm} \leq 33,33\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Pro dimenzování krokve, kleštiny, sloupku i vazného trámu byl rozhodující mezní stav únosnosti.

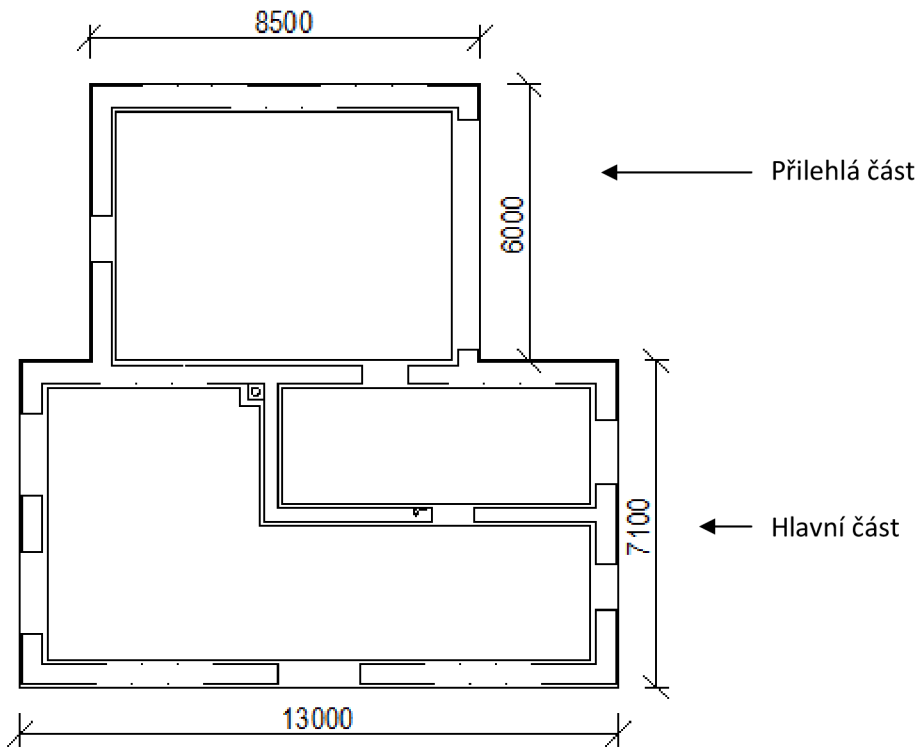


Obr. 3.20 Navržené průřezy prvků [mm]

4. KROV SOUSTAVY VAZNICOVÉ – RODINNÝ DŮM

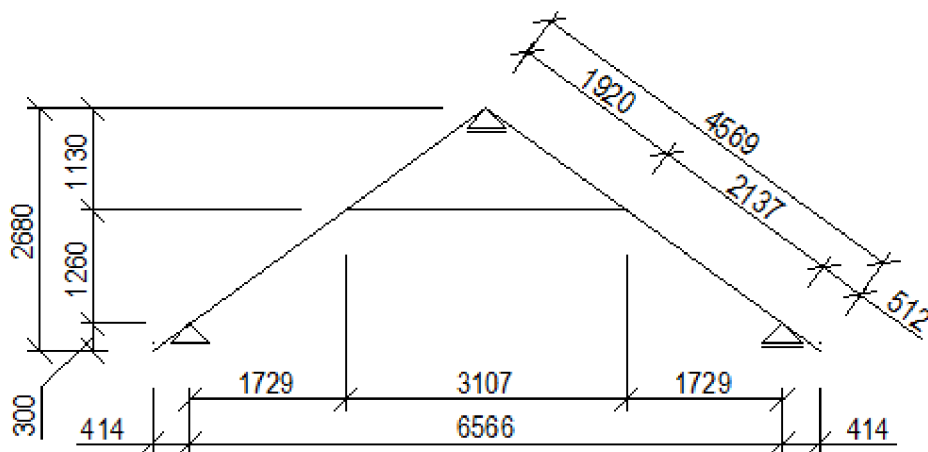
4.1 Koncept rodinného domu – 2D

Zastřešovaný půdorys



Obr. 4.1. Půdorys zastřešovaného rodinného domu [mm]

4.1.1 Krokve a kleština



Obr. 4.2. Geometrie krokve [mm]

Jedná se o krov rodinného domu se soustavou vaznicovou, který se bude realizovat. Krokve jsou ve vzdálenostech 750 až 970 mm. Podepření vaznic tvoří štíty a sloupek, který dělí vaznici na 2 pole 5,85 m a 7,35 m. Objekt se nachází ve III. sněhové oblasti a ve II. větrové oblasti.

Kombinaci zatížení tvoří celkem 11 zatěžovacích stavů (ZS):

- ZS1 – vlastní tíha (standard)
- ZS2 – ostatní stálé zatížení (standard)
- ZS3 – užité zatížení (standard)
- ZS4 – sníh plný (výběrová – sníh)
- ZS5 – sníh pravý (výběrová – sníh)
- ZS6 – sníh levý (výběrová – sníh)
- ZS7 – vítr příčný – zleva tlak, zprava sání (výběrová – vítr)
- ZS8 – vítr příčný – zleva tlak, zprava tlak (výběrová – vítr)
- ZS9 – vítr příčný – zleva sání, zprava tlak (výběrová – vítr)
- ZS10 – vítr příčný – zleva sání, zprava sání (výběrová – vítr)
- ZS11 – vítr podélný (výběrová – vítr)

Hodnoty zatížení v charakteristických hodnotách:

- Vlastní tíha generuje program
- Ostatní stálé zatížení $g_1=0,829 \text{ kN/m}^2$
- Zatížení sněhem $s_k=0,96 \text{ kN/m}^2$ (včetně součinitele tvaru střechy)
(III. sněhová oblast)
- Zatížení větrem $q_p=0,586 \text{ kN/m}^2$ (bez součinitele vnějšího tlaku)
(II. větrová oblast)
- Podhled $g_2=0,120 \text{ kN/m}^2$
- Užité zatížení $q=1,500 \text{ kN/m}^2$

Kombinace zatížení dle ČSN EN 1990:

$$6.10.a \quad \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

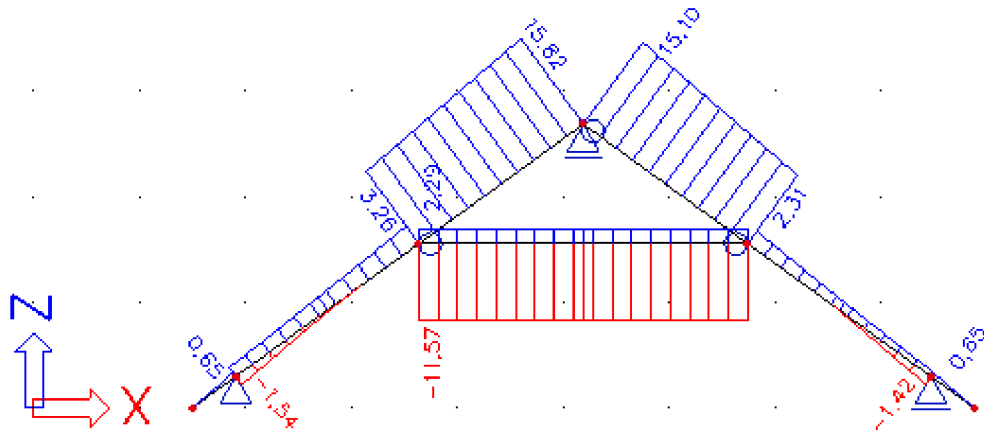
$$6.10.b \quad \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Součinitele zatížení

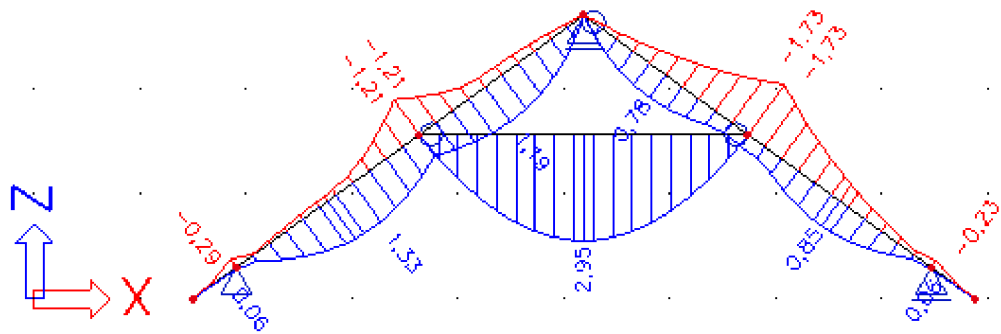
- $\gamma_G = 1,00$ příznivé účinky
- $= 1,35$ nepříznivé účinky
- $\gamma_Q = 1,00$ příznivé účinky
- $= 1,50$ nepříznivé účinky

Kombinační součinitele

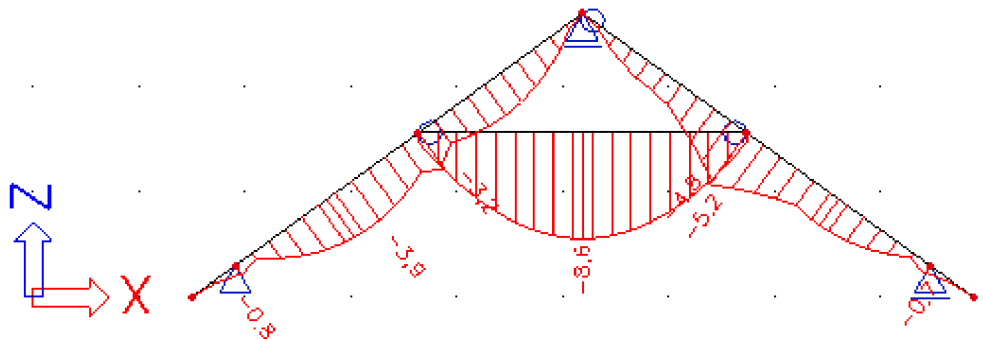
- $\psi_0 = 0,7$ nahodilé zatížení v budovách, kromě skladovacích prostor
- $= 0,6$ zatížení větrem
- $= 0,5$ zatížení sněhem



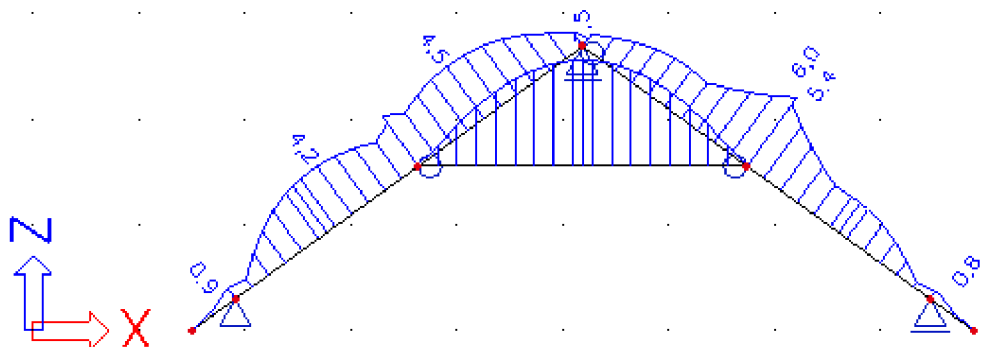
Obr. 4.3. Průběh normálových sil – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kN]



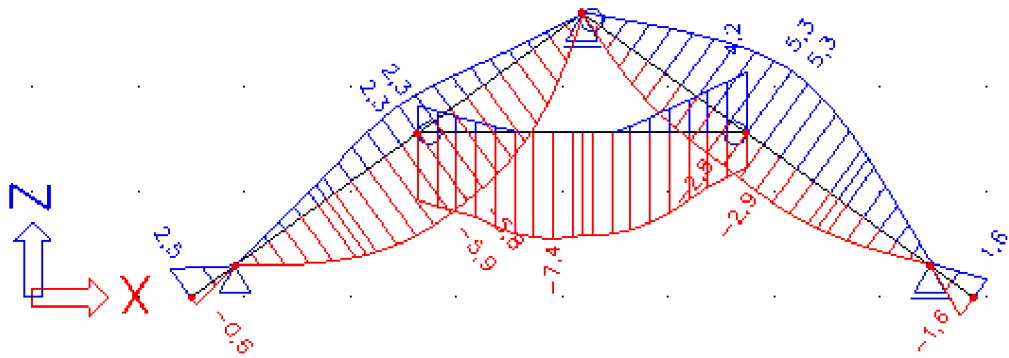
Obr. 4.4. Průběh ohybových momentů – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kNm]



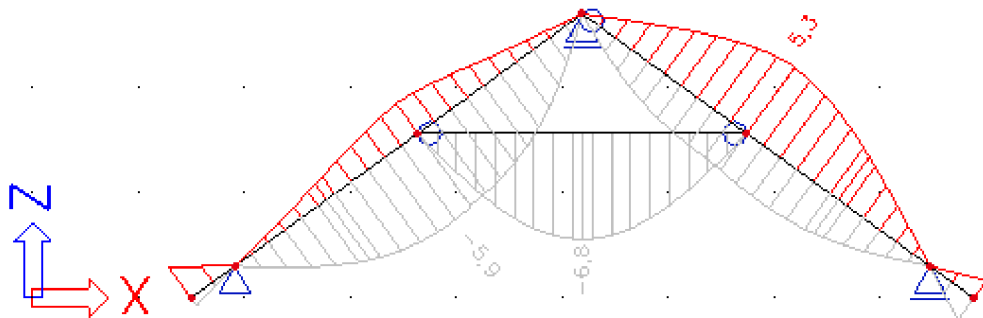
Obr. 4.5.a) Napětí normálová- od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 4.5.b) Napětí normálová+ od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 4.6. Posuny v lokálním směru uz od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]



Obr. 4.7. Relativní posuny v lokálním směru uz od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

Posouzení krokve na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.1):

$$\frac{1,05}{9,69} + \frac{7,21}{1 \cdot 16,62} = 0,54 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení krokve na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$5,30\text{mm} \leq 13,52\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím stavem pro dimenzování krokve byl mezní stav únosnosti.

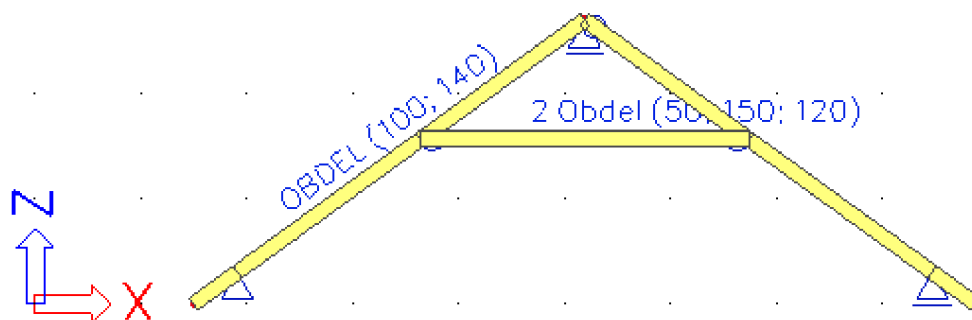
Posouzení kleštiny na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.5):

$$\frac{0,77}{0,53 \cdot 14,54} + \frac{7,87}{1 \cdot 16,62} = 0,57 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení kleštiny na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$6,80\text{mm} \leq 10,36\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

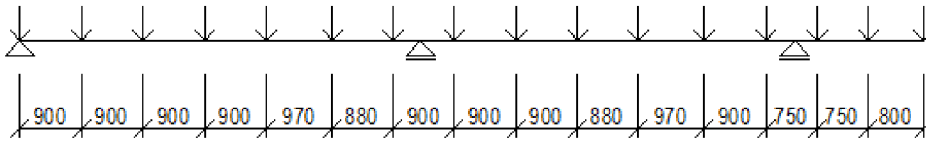
Rozhodujícím stavem pro dimenzování kleštiny byl mezní stav únosnosti.



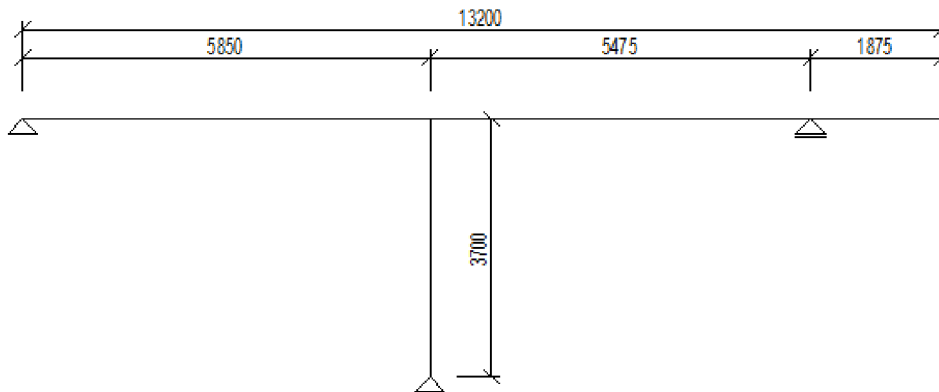
Obr. 4.8. Navržené průřezy prvků [mm]

4.1.2 Vaznice

Rozměry a způsob zatěžování



Obr. 4.9. Vzdálenosti jednotlivých krokví a způsob zatěžování [mm]

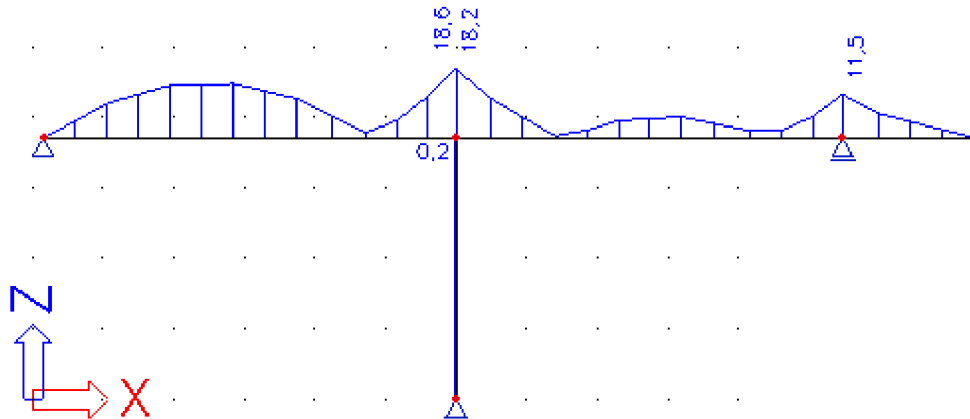


Obr. 4.10. Geometrie vaznice [mm]

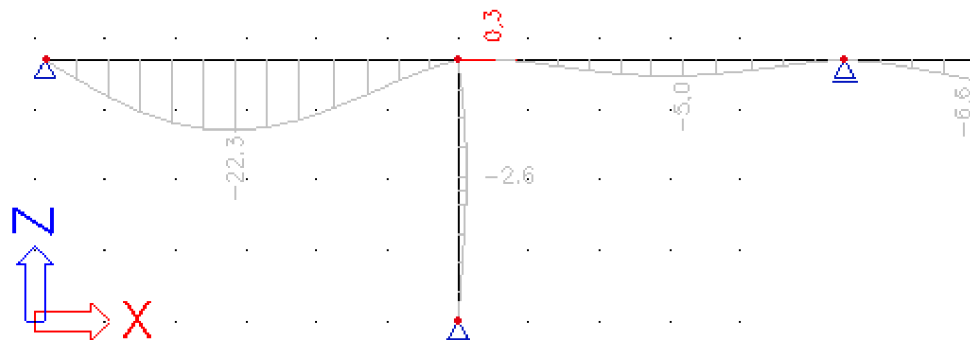
Vnitřní síly a posuny

Vaznice je řešena ve 3 variantách:

- Dřevěná vaznice podepřená dřevěným sloupem



Obr. 4.11. Normálové napětí od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 4.12. Relativní posuny uz v lokálních souřadnicích - od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [mm]

Posouzení vaznice na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.5):

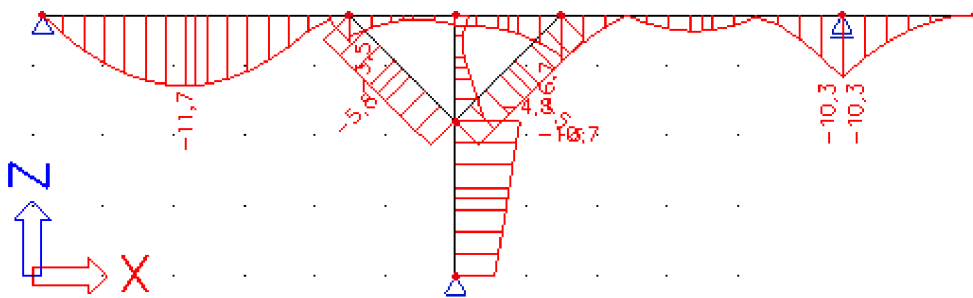
$$\frac{0,01}{0,579 \cdot 14,54} + \frac{18,63}{1 \cdot 16,62} = 1,12 > 1 \quad \text{NEVYHOVÍ}$$

Posouzení vaznice na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

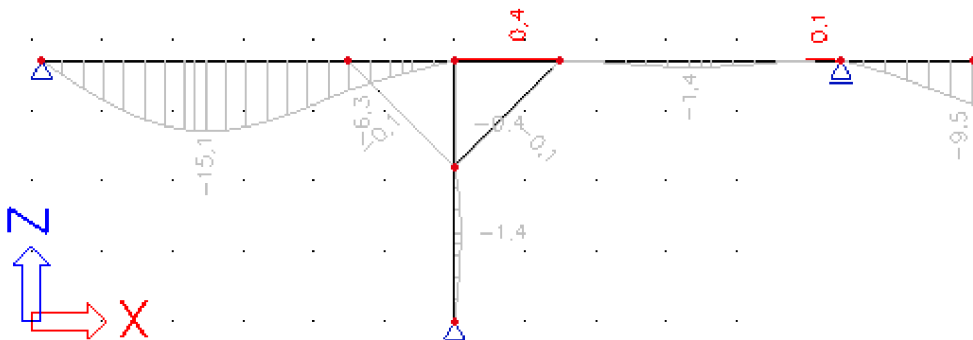
$$22,30\text{mm} > 19,50\text{mm} \quad \text{NEVYHOVÍ}$$

Rozhodujícím mezním stavem pro dimenzování prvku je mezní stav únosnosti. Prvek nevyhoví, je třeba hledat jiné řešení.

b) Dřevěná vaznice s pásky podepřená dřevěným sloupkem



Obr. 4.13. Normálové napětí od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



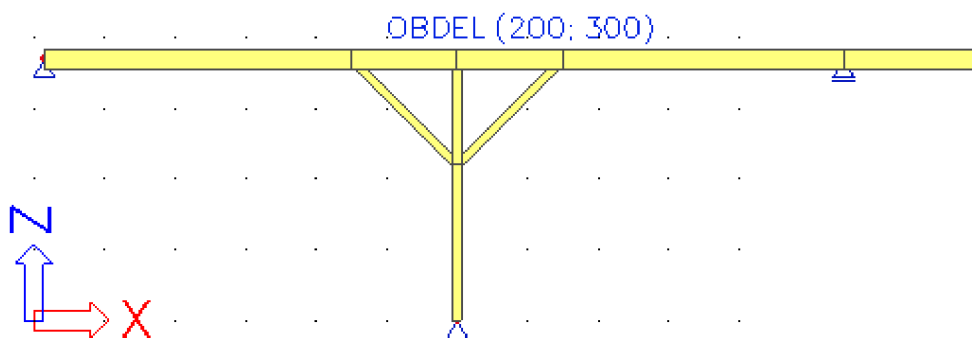
Obr. 4.14. Relativní posuny uz v lokálních souřadnicích - od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [mm]

Posouzení vaznice na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.5):

$$\frac{0,00}{0,579 \cdot 14,54} + \frac{11,95}{1 \cdot 16,62} = 0,72 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vaznice na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

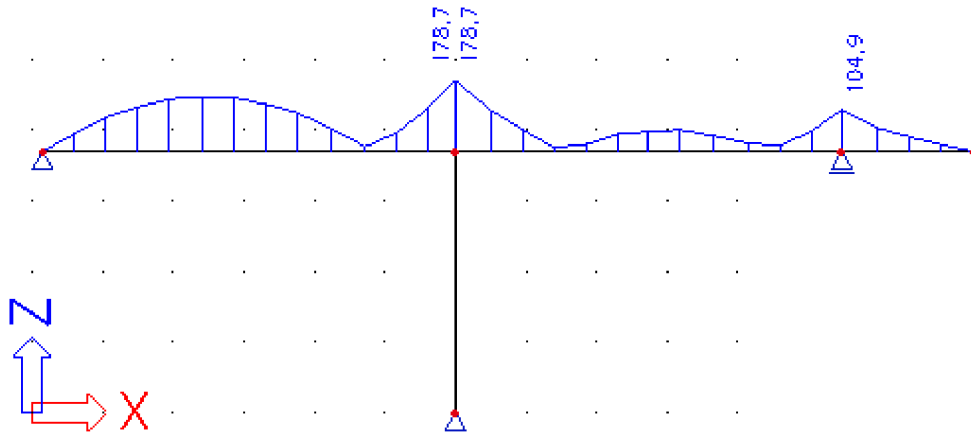
$$15,70\text{mm} \leq 19,50\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$



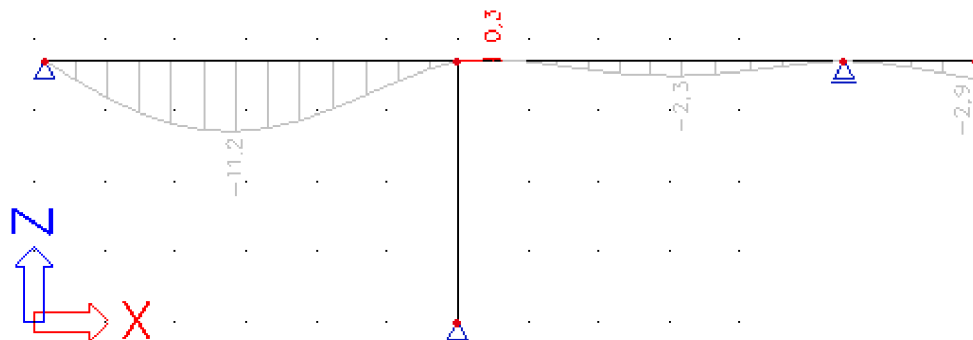
Obr. 4.15 Navržené průřezy prvků [mm]

Řešení dřevěné vaznice s pásky vede na příznivější výsledky, ovšem stále je profil 300x200 neekonomický a budeme tedy hledat řešení v použití jiných vhodných materiálů.

c) Ocelová vaznice podepřená ocelovým sloupkem



Obr. 4.16. Normálové napětí od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 4.17. Relativní posuny uz v lokálních souřadnicích - od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [mm]

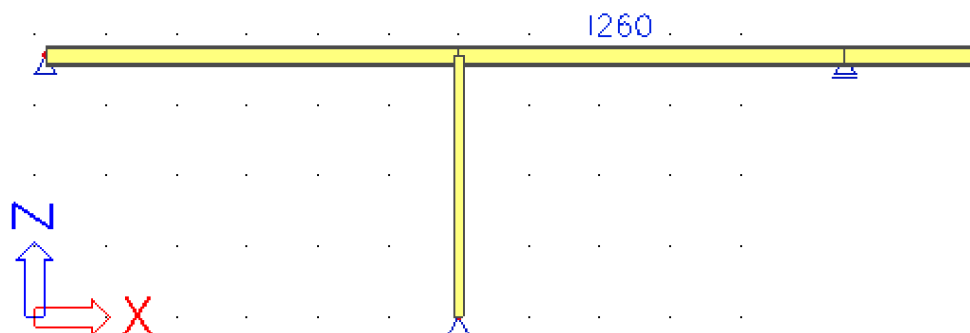
Posouzení vaznice na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.7):

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (2.7)$$

$$\frac{178,93}{1 \cdot 16,62} = 0,88 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vaznice na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$11,20 \text{ mm} \leq 19,50 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$



Obr. 4.18. Navržené průřezy prvků [mm]

4.2 Koncept rodinného domu – 3D

Výpočtový model a zatížení

Pro ověření přesnosti 2D modelu byl vytvořen také 3D model daného krovu. V tomto modelu bylo třeba vyřešit středovou část v okolí sloupku, kde, jak se ukázalo, bylo třeba zachovat konstrukci trojúhelníku krokev-kleština-krokev. Pro tento účel byl mezi středové vaznice přilehlé části krovu vložen trámek, na který jsou krokve uloženy.

Celkové zatížení tvoří 16 zatěžovacích stavů (ZS):

- ZS1 – vlastní tíha (standard)
- ZS2 – ostatní stálé zatížení (standard)
- ZS3 – užité zatížení (standard)
- ZS4 – sníh plný (výběrová – sníh)
- ZS5 – sníh poloviční 1 (výběrová – sníh)
- ZS6 – sníh poloviční 2 (výběrová – sníh)
- ZS7 – sníh poloviční 3 (výběrová – sníh)
- ZS8 – sníh poloviční 4 (výběrová – sníh)
- ZS9 – vítr příčný ve směru X – zleva tlak, zprava sání (výběrová – vítr)
- ZS10 – vítr příčný ve směru X – zleva tlak, zprava tlak (výběrová – vítr)
- ZS11 – vítr příčný ve směru X – zleva sání, zprava tlak (výběrová – vítr)
- ZS12 – vítr příčný ve směru X – zleva sání, zprava sání (výběrová – vítr)
- ZS13 – vítr příčný ve směru Y – zleva tlak, zprava sání (výběrová – vítr)
- ZS14 – vítr příčný ve směru Y – zleva tlak, zprava tlak (výběrová – vítr)
- ZS15 – vítr příčný ve směru Y – zleva sání, zprava tlak (výběrová – vítr)
- ZS16 – vítr příčný ve směru Y – zleva sání, zprava sání (výběrová – vítr)

Hodnoty zatížení v charakteristických hodnotách:

- Vlastní tíha generuje program
- Ostatní stálé zatížení $g_1=0,829 \text{ kN/m}^2$
- Podhled $g_2=0,120 \text{ kN/m}^2$
- Užité zatížení $q=1,50 \text{ kN/m}^2$
- Zatížení sněhem hlavní část $s_k=0,96 \text{ kN/m}^2$ (včetně součinitele tvaru střechy)
- Zatížení sněhem přilehlá část $s_k=1,16 \text{ kN/m}^2$ (včetně součinitele tvaru střechy)
(III. sněhová oblast)
- Zatížení větrem hlavní část $q_p=0,586 \text{ kN/m}^2$ (bez součinitele vnějšího tlaku)
- Zatížení větrem hlavní část $q_p=0,586 \text{ kN/m}^2$ (bez součinitele vnějšího tlaku)
(II. větrová oblast)

Kombinace zatížení dle ČSN EN 1990:

$$6.10.a \quad \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$6.10.b \quad \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Součinitele zatížení

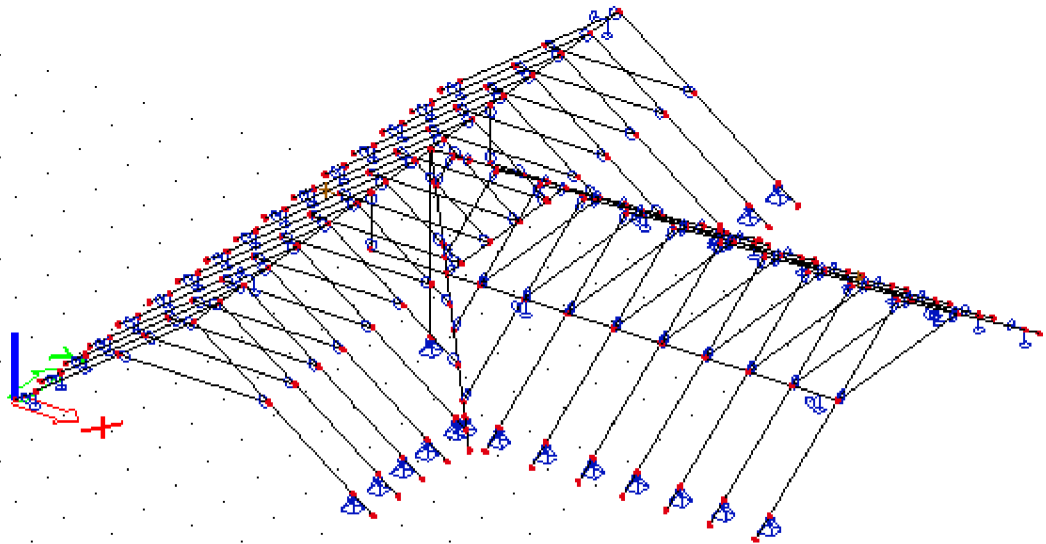
$\gamma_G = 1,00$	příznivé účinky
$= 1,35$	nepříznivé účinky
$\gamma_Q = 1,00$	příznivé účinky
$= 1,50$	nepříznivé účinky

Kombinační součinitele

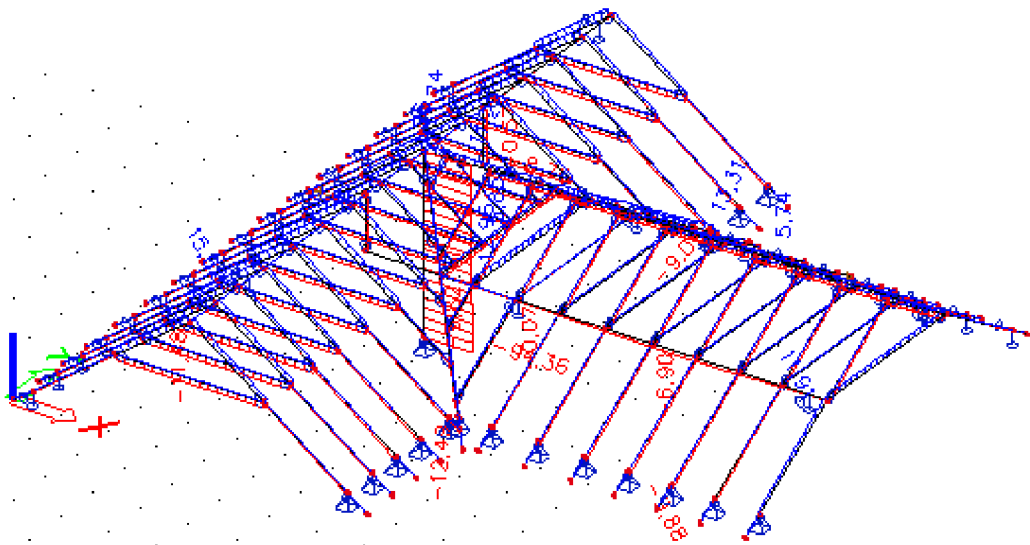
$\psi_0 = 0,7$	nahodilé zatížení v budovách, kromě skladovacích prostor
$= 0,6$	zatížení větrem
$= 0,5$	zatížení sněhem

Uložení prvků je volné pro všechna pootočení. Uložení na pozednici je modelováno bodovými podporami v místech uložení krokví. Uložení vaznic na obvodové zdi je modelováno posuvnou podporou. Uložení sloupku je neposuvné, sloupek bude uchycen k betonovému stropu.

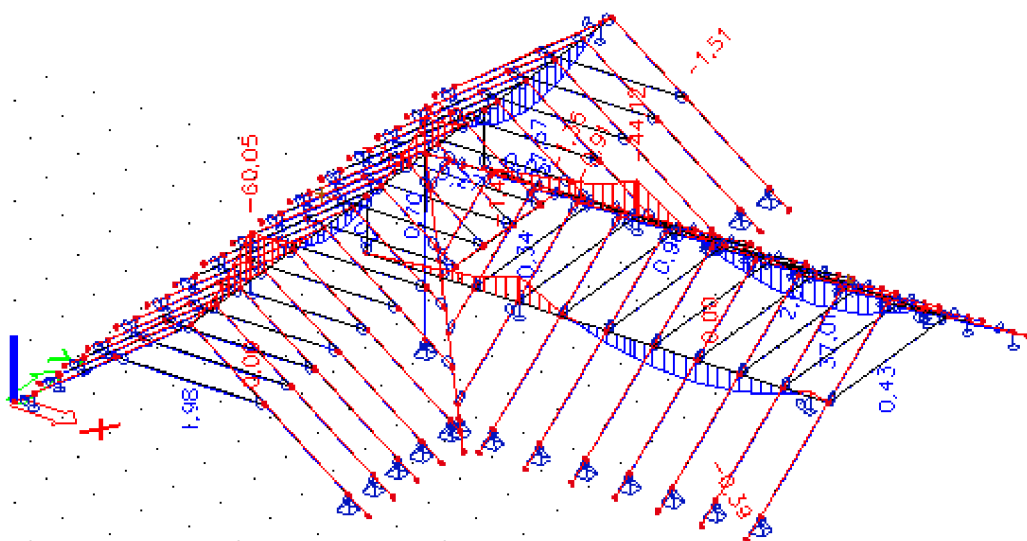
Zajímavým konstrukčním prvkem tohoto řešení je úžlabní krokev. Je to prvek, na který se napojují zkrácené krokve ve střední části krovu. Zatížení tohoto prvku tedy bývá značné a je tedy třeba mu věnovat pozornost. Konstrukčně se tento prvek provádí čtvercového průřezu, který vychází z rozměrů ostatních krokví.



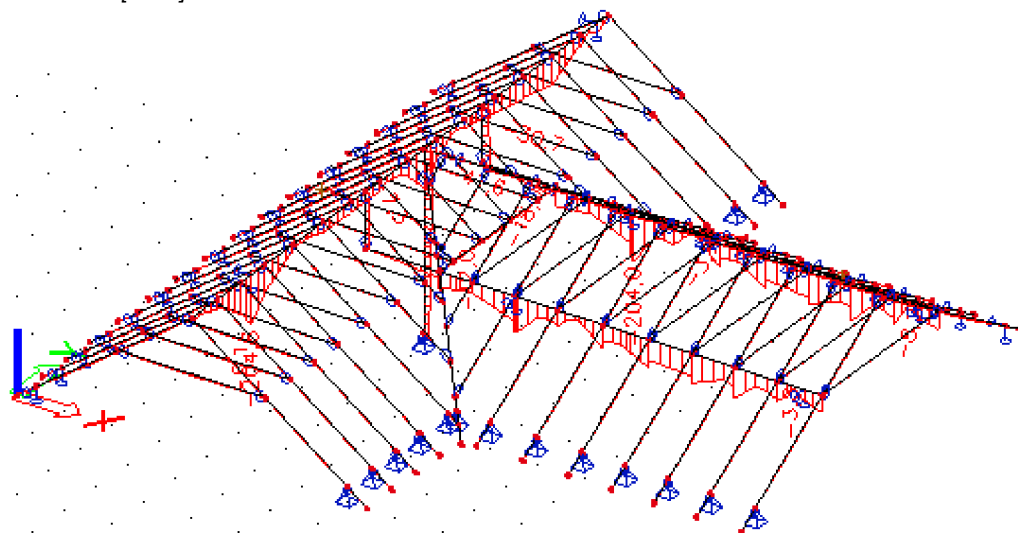
Obr. 4.19. Výpočtový model krovu



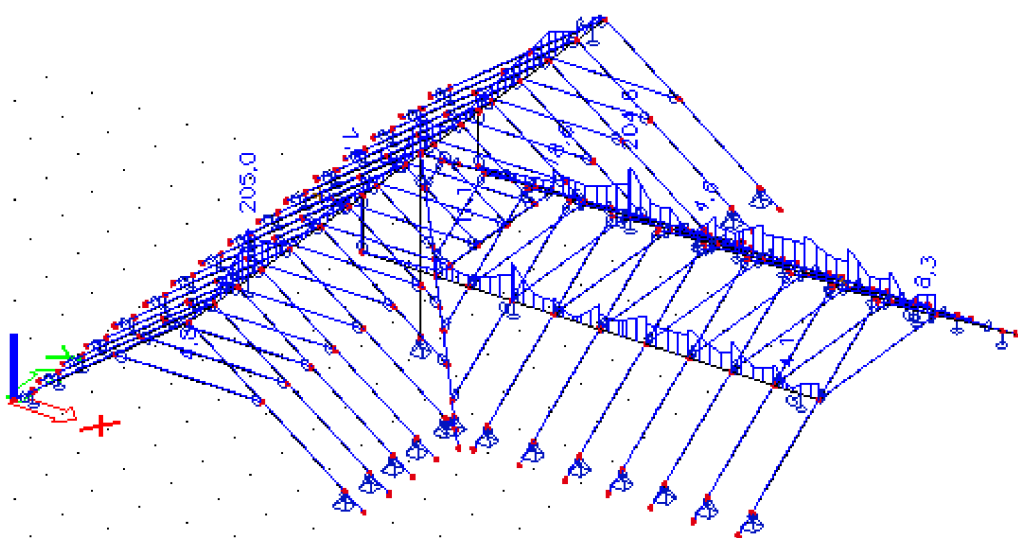
Obr. 4.20. Průběh normálových sil – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kN]



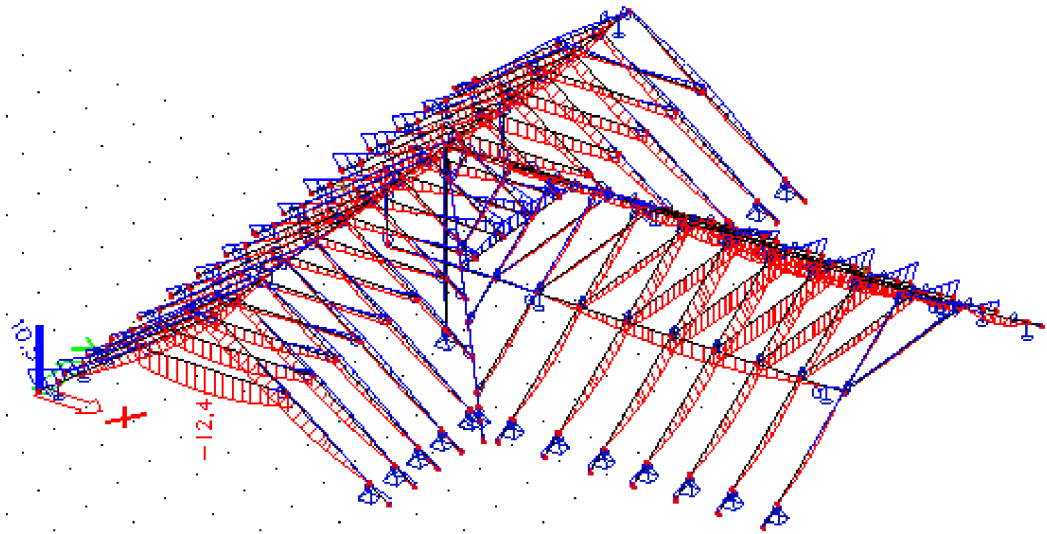
Obr. 4.21. Průběh ohybových momentů – extrémy od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [kNm]



Obr. 4.22.a) Napětí normálová- od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 4.22.b) Napětí normálová+ od kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti [MPa]



Obr. 4.23. Posuny v lokálním směru uz od kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti [mm]

Hlavní část:

Posouzení krokve na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.5):

$$\frac{0,07}{0,301 \cdot 14,54} + \frac{6,15}{1 \cdot 16,62} = 0,39 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení krokve na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$10,20\text{mm} \leq 13,52\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím pro dimenzování byl mezní stav použitelnosti.

Posouzení kleštiny na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.5):

$$\frac{0,76}{0,530 \cdot 14,54} + \frac{5,28}{1 \cdot 16,62} = 0,42 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení kleštiny na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$4,60\text{mm} \leq 10,36\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím pro dimenzování byl mezní stav únosnosti.

Posouzení vaznice na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.7):

$$\frac{136,12}{235/1,15} = 0,67 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vaznice na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$11,20\text{mm} \leq 19,50\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím pro dimenzování byl mezní stav únosnosti.

Posouzení sloupku na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.4):

$$\frac{22,66}{0,512 \cdot 14,54} = 0,22 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Vzhledem k zanedbatelným posunům byl rozhodujícím stavem pro dimenzování mezní stav únosnosti.

Vedlejší část:

Posouzení krokve na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.5):

$$\frac{0,01}{0,193 \cdot 14,54} + \frac{1,19}{1 \cdot 16,62} = 0,38 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení krokve na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$11,30\text{mm} \leq 17,19\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím pro dimenzování byl mezní stav použitelnosti.

Posouzení kleštiny na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.1):

$$\frac{0,86}{9,69} + \frac{1,15}{1 \cdot 16,62} = 0,16 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení kleštiny na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$1,00\text{mm} \leq 12,33\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím pro dimenzování byl mezní stav únosnosti.

Posouzení vaznice na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.7):

$$\frac{3,25 + 124,63}{235/1,15} = 0,63 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vaznice na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$0,30\text{mm} \leq 19,50\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím pro dimenzování byl mezní stav únosnosti.

Posouzení úžlabní krokve na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.5):

$$\frac{0,68}{0,337 \cdot 14,54} + \frac{2,10}{1 \cdot 16,62} = 0,20 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení úžlabní krokve na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$0,30\text{mm} \leq 12,69\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím pro dimenzování byl mezní stav únosnosti.

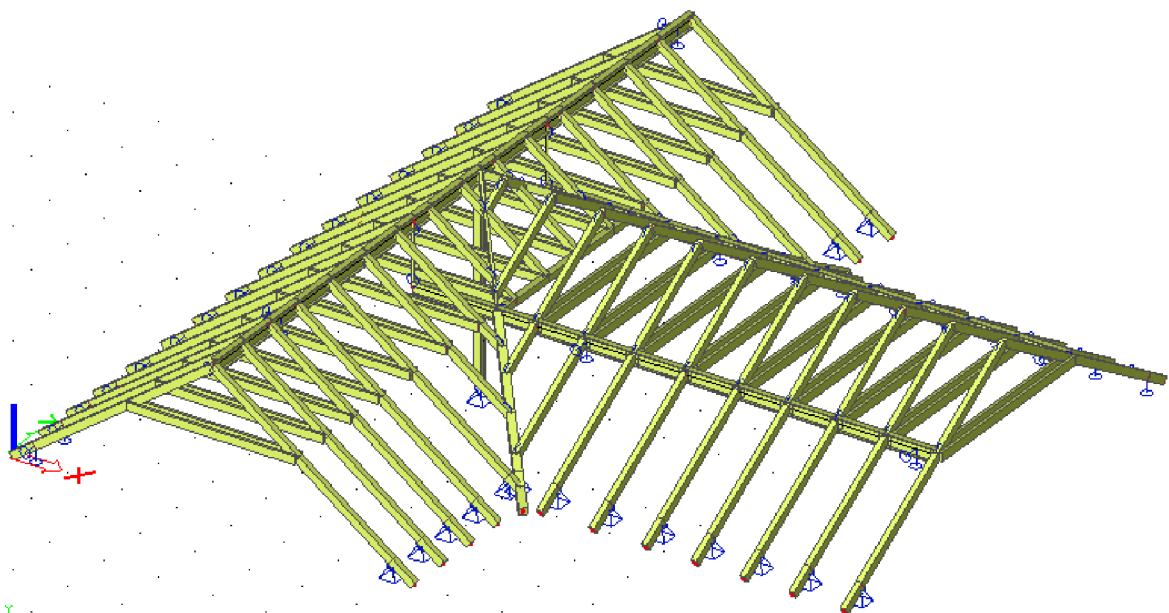
Posouzení trámečku na mezní stav únosnosti dle vztahu (2.5):

$$\frac{0,58}{0,268 \cdot 14,54} + \frac{8,33}{1 \cdot 16,62} = 0,65 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení vaznice na mezní stav použitelnosti dle vzorce (2.2):

$$7,40\text{mm} \leq 12,33\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodujícím pro dimenzování byl mezní stav únosnosti.



Obr. 4.24. Navržené průřezy [mm]

5. SPOJE

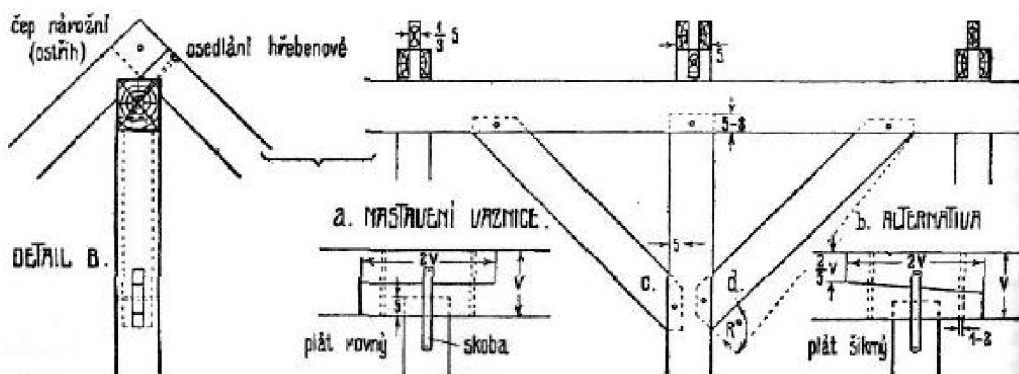
Důležitou součástí dřevěných konstrukcí jsou spoje jednotlivých konstrukčních prvků. V této kapitole se budu zabývat především spojením krokví ve vrcholu krovu, připojením kleštín na krokve, spojením vaznic a zapuštěním vzpěry do vazného trámu.

Svorníky definuje Kuklík ve své odborné publikaci Dřevěné konstrukce [7](str. 68) takto:

Svorníky jsou kolíkové spojovací prostředky z oceli, které jsou opatřeny hlavou a maticí. Svorníky se osazují do předvrtaných otvorů a potom se utahují tak, aby dřevěné prvky byly v těsném kontaktu. V případě potřeby se svorníky musí dotahovat, když dřevo dosáhne svoji rovnovážnou vlhkost. Předvrtané otvory mohou být maximálně o 1 mm větší, než je průměr svorníku. Je-li svorník zaražen do otvoru, jehož průměr odpovídá průměru svorníku (těsný svorníkový spoj), potom působí jako kolík a je možné použít pravidla navrhování pro kolíkové spoje. Ke každému svorníkovému spoji patří oboustranné podložky, jejichž délka strany, popř. průměr má být nejméně 3d a tloušťka nejméně 0,3d (d je průměr svorníku). Podložky mají mít styčnou (dotykovou) plochu.

5.1 Spojení krokví ve vrcholu krovu

Spojení u krovů s vrcholovou vaznicí zajišťují částečně tesařské spoje – přeplátování a osedlání krokví na vaznici a částečně mechanický spoj – svorník. U krovů bez vrcholové vaznice je tento spoje realizován přeplátováním a svorníkem.

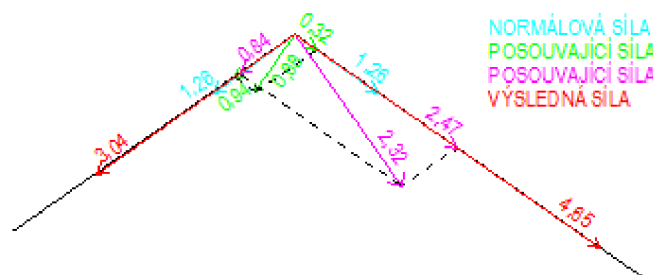


Obr. 5.1. Ukázka osedlání vrcholové vaznice.

Zdroj: [10], str.96

Výpočet kolíkového spoje – svorníku je uveden v normě ČSN 73 1702: Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Pro praktický příklad byl vybrán spoj krokví u dvojitého věšadla. Ve vrcholu působí jak normálové, tak posouvající síly, které je třeba transformovat do jednoho směru.



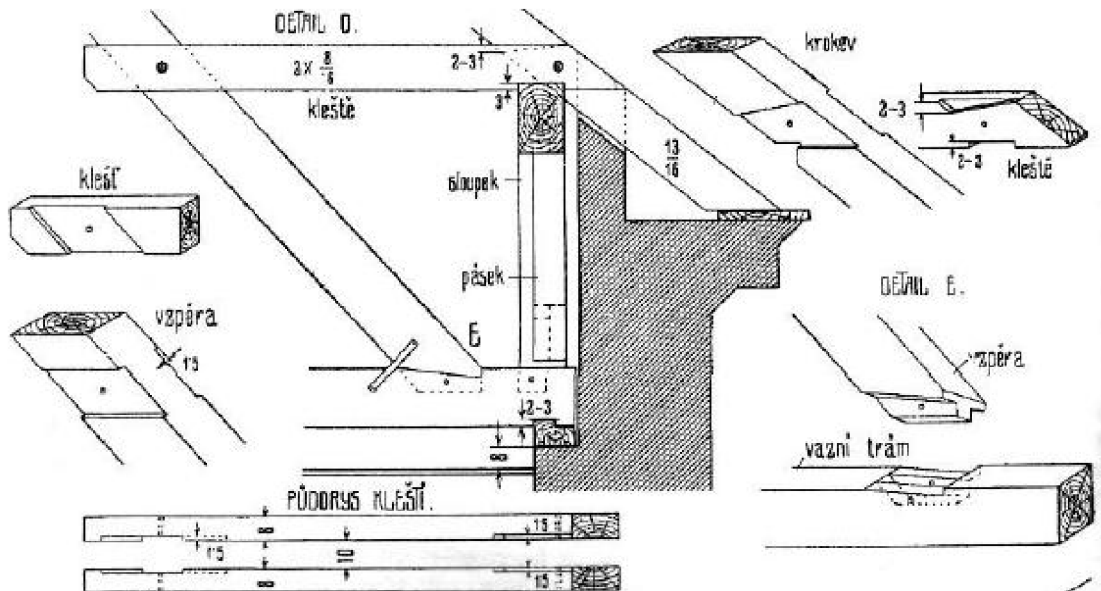
Obr. 5.2 Rozklad posouvajících sil [kN]

Spoj je jednostřížný. Navržený svorník má průměr $d=19\text{ mm}$, charakteristická hodnota pevnosti oceli v tahu je $f_{u,k}=360\text{ MPa}$. Únosnost $R_d=4,79\text{ kN}$.

Výpočet v programu Excel pro účel této bakalářské práce mi poskytl vedoucí práce.

5.2 Připojení kleštín na krokve

Kleština je prvek skládající se ze dvou stejných profilů. Prvky se připevní na krokve z vnějších stran a spojí se svorníkem.



Obr. 5.3. Ukázka připoje kleština na krokve.

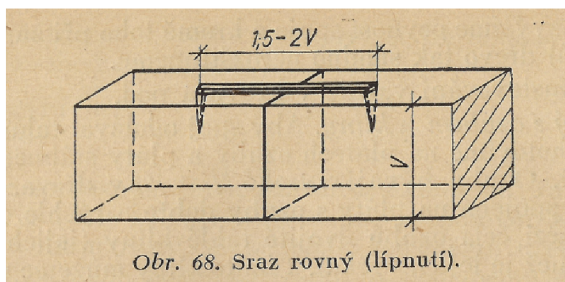
Zdroj: [10], str.98

Pro praktický příklad byl vybrán přípoj kleštiny na krokve u hambálové soustavy. Spoj je dvoustřížný. Síla v kleštině je $N=11,57\text{ kN}$. Navržený svorník má průměr $d=15\text{ mm}$, charakteristická hodnota pevnosti oceli v tahu je $f_{u,k}=360\text{ MPa}$. Únosnost $R_d=12,61\text{ kN}$.

Při posouzení původního návrhu, kdy kleština měla rozměry $2 \times 50\text{ mm}$ a 150 mm nevyhověla nejmenší tloušťka připojovaného prvku $t_{1,req}$ dle vzorce (192) normy ČSN 73 1702, dochází k redukci únosnosti součinitelem, který získáme z poměru $t_1 / t_{1,req}$. Řešením je buď zvětšení tloušťky prvku na $2 \times 80\text{ mm}$ nebo alternativní řešení - svorník plus hmoždíky Bulldog.

5.3 Připojení vaznic

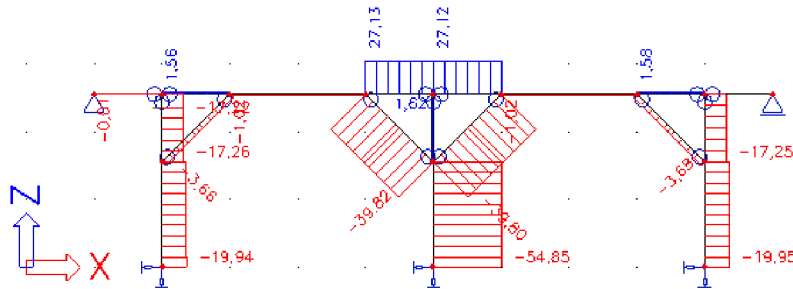
Připojení vaznic je provedeno tesařskými skobami v místě uložení vaznice na sloupek. V tomto místě působí značné tahové síly.



Obr. 5.4. Ukázka připojení vaznic tesařskou skobou.

Zdroj: [8], str.87

Spojení krokví je modelováno kloubem, který je tuhý ve směrech X a Z a volný pro pootočení f_i . Na normálovou sílu, která v tomto spoji vzniká, není možné nadimenzovat spojovací prostředek.



Obr. 5.5 Průběh normálových sil s tuhým spojením ve směru X [kN]

Tento problém vyřešíme tím, že kloubu v místě spojení vaznic přiřadíme tuhost ve směru X. Kloub se tedy ve směru X stane pružným, což vede na snížení normálových sil. Tuhost k_{ser} vypočítáme dle normy ČSN 73 1702, která uvádí vzorec:

$$k_{ser} = \rho_k^{1,5} \cdot \frac{d^{0,8}}{25} \quad (5.1)$$

$$k_{ser} = 350^{1,5} \cdot \frac{12^{0,8}}{25} = 1912 \text{ N/mm}$$

Únosnost tesařské skoby se počítá jako hřebíkový spoj dřevo – dřevo. Tento výpočet je přibližný (norma uvádí výpočet pro hřebíky do průměru 8mm).

Charakteristická pevnost v otláčení:

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 350 \cdot 12^{-0,3} = 13,62 \text{ MPa} \quad (5.2)$$

Moment na mezi kluzu:

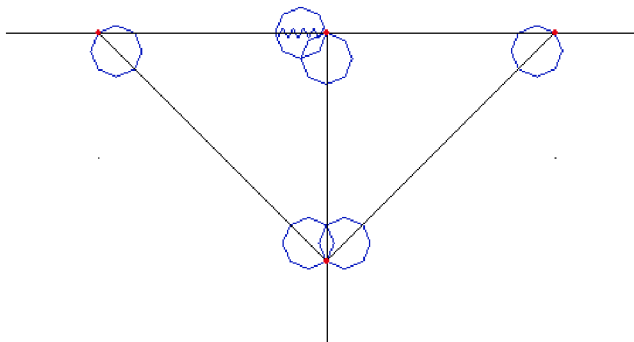
$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{h,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 12^{2,6} = 69071 \text{ Nmm} \quad (5.3)$$

Charakteristická hodnota únosnosti:

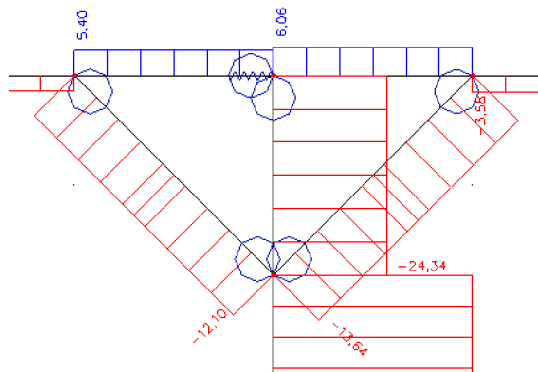
$$R_k = A \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d} = 1,4 \cdot \sqrt{2 \cdot 69071 \cdot 12,62 \cdot 12} = 6,65 \text{ kN} \quad (5.4)$$

Návrhová hodnota únosnosti:

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M} = 0,9 \frac{6,65}{1,3} = 4,6 \text{ kN} \quad (5.5)$$



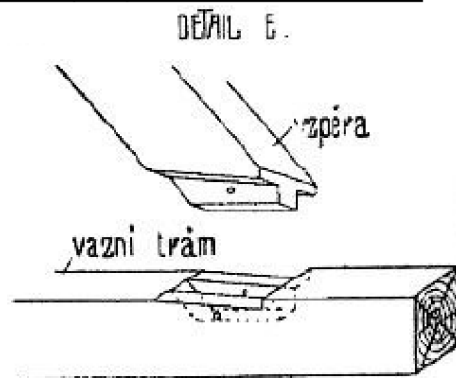
Obr. 5.6 Kloub s tuhostí ve směru X



Obr. 5.7 Průběh normálových sil s pružným spojením vaznic ve směru X [kN]

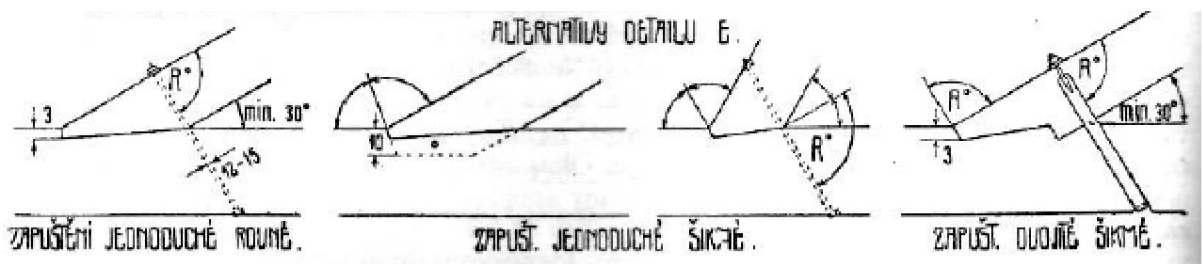
Na obrázku 5.7 jsou uvedeny výsledky při tuhosti ve směru X $k_{ser}=0,1$ MN/m. Normálová síla v místě spoje $N=6,06$ kN je stále větší než únosnost R_d . Tento výpočet by pro přesnější výsledky bylo potřeba optimalizovat, v této práci se tím ovšem nebudu dále zabývat.

5.4 Zapuštění vzpěry do vazného trámu



Obr. 5.8. Ukázka přípoje vzpěry na vazný trám.

Zdroj: [10], str.98



Obr. 5.9. Alternativy přípoje vzpěra na vazný trám.

Zdroj: [10], str.98

Zapuštění je typ tesařského spoje. Může být použit s čepem nebo bez něj, s jednou nebo více opěrnými plochami. Může být zajištěn kolíkem.

Jako příklad bude uvedeno zapuštění vzpěry do vazného trámu u dvojitého věšadla. Výpočet je převzat ze skript doc. Straky: Dřevěné konstrukce [9] (str. 35).

Tlaková síla ve vzpěře je $N=97,21$ kN. Zapuštění vzpěry bylo navrženo $t_z=67$ mm a délka zhlaví $l_z=290$ mm.

6. ZÁVĚR

V současné době roste obliba bydlení v podkroví, jsou tedy často požadovány jak rekonstrukce starších střešních konstrukcí, tak výstavba nových obytných podkroví. Zažité návody a zkušenosti však mnohdy přestávají stačit. Pro úspěšný návrh nové, či adaptaci staré konstrukce je třeba znát principy celkového statického působení i chování jednotlivých konstrukčních prvků a únosnost detailů, zejména spojů. Dimenzování spojů je třeba věnovat zvláštní pozornost s ohledem na jejich omezené možnosti přenosu zejména tahových sil.

Tato bakalářská práce poskytuje určitý přehled v chování některých známých a používaných typů tradičních tesařských konstrukcí zastřešení. Na základě studia používaných konstrukcí je možno vytvářet statická schémata nových nebo adaptovaných krovů. Z uvedených příkladů vyplývá, že tradiční dřevěné krovky jsou konstrukce promyšlené a léty prověřené, kromě toho jsou cenově příznivé. I když se jedná o konstrukce historické, lze je dobře použít i v dnešní době.

7. PŘÍLOHY

JEDNODUCHÉ VĚŠADLO	69
DVOJITÉ VĚŠADLO	78
TROJITÉ VĚŠADLO	89
VARIANTNÍ ŘEŠENÍ PRO ROZPĚTÍ 16M BEZ VRCHOLOVÉ VAZNICE	101
LEŽATÁ STOLICE NA ROZPĚTÍ 6M	112
LEŽATÁ STOLICE NA ROZPĚTÍ 10M.....	116
KONCEPT RODINNÉHO DOMU 2D	123
KONCEPT RODINNÉHO DOMU 3D – HLAVNÍ ČÁST.....	133
KONCEPT RODINNÉHO DOMU 3D – VEDLEJŠÍ ČÁST.....	140
SPOJENÍ KROKVÍ VE VRCHOLU KROVU	149
PŘIPOJENÍ KLEŠTIN NA KROKVE	151
ZAPUŠTĚNÍ VZPĚRY DO VAZNÉHO TRÁMU	152
VIZUALIZACE	153

8. LITERATURA

- [1] EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí.
- [2] EN 1991-1-1-1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.
- [3] EN 1991-1-1-3 Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem.
- [4] EN 1991-1-1-4 Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem.
- [5] EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí, Část 1-1: Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [6] ČSN 73 1702: Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [7] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2005, 171 s. ISBN 80-867-6972-0.
- [8] KYDLÍČEK, Karel a Richard SCHÄFER. *Tesař*. Vydání první. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956.
- [9] STRAKA, Bohumil a Karel SÝKORA. *Dřevěné konstrukce: BO03-M03 Spoje dřevěných konstrukcí*. Brno. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [10] KOHOUT, Jaroslav, Antonín TOBEK a Pavel MÜLLER. *Tesařství: tradice z pohledu dneška*. 8., upr. a dopl. vyd. Praha: Grada, 1996, 255 s. Stavitel. ISBN 80-716-9413-4.