



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

ANALÝZA TRADIČNÍCH DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

ANALYSIS OF TRADITIONAL TIMBER STRUCTURES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Petra Šigutová

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 Šigutová
Název	Analýza tradičních dřevěných konstrukcí
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 tradičních dřevěných konstrukcí, zejména konstrukcí halových objektů. Cílem je modelování a posouzení různých variant konstrukčního uspořádání. Dílčí cíle budou zaměřeny na tvorbu výpočtových modelů střešních konstrukcí, stanovení zatížení, kombinací zatížení, výpočtu vnitřních sil a přemístění 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

Předmětem mé bakalářské práce je studie statického působení krovu stodoly. V úvodu se věnuji vytváření rovinných modelů základních typu krovů a jejich chováním při zatížení. Hlavní část se zabývá vytvářením prostorových modelů střechy. V jednotlivých řešeních se snažím vystihnout chování konstrukce po porušení spojů. Výsledky pak posuzuji a porovnávám s reálným chováním konstrukce.

Klíčová slova

dřevěná konstrukce, krov, rovinné modely, prostorové modely, spoje, deformace

Abstract

The subject of my bachelor's thesis is the research of the statistical effect of a barn's rafter. The preface is devoted to the creating two - dimensional models of the basic types of the rafters and their behavior during the loading. The main part of my thesis deals with the composing three-dimensional models of the roof. I try to depict the behavior of the structure after the deformation of the joints. I compare the results to the real behavior of the structure.

Keywords

timber structures, rafter, two-dimensional models, three-dimensional models, joints, deformation

Bibliografická citace VŠKP

ŠIGUTOVÁ, Petra. *Analýza tradičních dřevěných konstrukcí*. Brno, 2012. 59 s., 13 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 24.5.2012

.....
podpis autora
Petra Šigutová

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 24.5.2012

.....
podpis autora
Petra Šigutová

Poděkování:

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Rostislavu Zídkovi, PhD. za ochotu, trpělivost a cenné rady. Také bych chtěla poděkovat své rodině za podporu při studiu.

V brně dne 25.5.2012

OBSAH

ÚVOD

1. POPIS KONSTRUKCE	12
1.1. GEOMETRIE KONSTRUKCE	12
1.2. GEOMETRIE JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ	13
1.3. OSEDLÁNÍ	14
1.4. VÝPOCET PRUŽNÝCH KONSTANT	15
2. ZATÍŽENÍ, ZATĚŽOVACÍ STAVY	16
3. ROVINNÉ GEOMETRICKÉ MODEL Y	18
3.1. KROKVE	18
3.1.1. MODEL č.1	18
3.1.2. MODEL č.2	20
3.1.3. MODEL č.2	21
3.1.4. MODEL č.4	23
3.1.5. ZHODNOCENÍ	25
3.2. VAZNICE	25
3.2.1. MODEL č.1	25
3.2.2. ZHODNOCENÍ	27
4. PROSTOROVÉ GEOMETRICKÉ MODEL Y	28
4.1. OBECNĚ:	28
4.2. MODELOVÁNÍ:	28
4.3. VÝSLEDKY: (vnitřní síly, deformace)	29
4.3.1. VNITŘNÍ SÍLY:	29
4.3.2. DEFORMACE:	30
4.4. MODEL č.1.	31
4.4.1. POPIS	31
4.4.2. VÝSLEDKY: PŘÍČNÉ VAZBY PLNÉ A PRÁZDNÉ	32
4.4.3. VÝSLEDKY: PODELNÁ VAZBA	37
4.5. MODEL č.2	39
4.5.1. POPIS	39
4.5.2. VÝSLEDKY: PŘÍČNÉ VAZBY PLNÉ A PRÁZDNÉ	40
4.5.3. VÝSLEDKY: PODELNÁ VAZBA	43
4.6. MODEL č.3	44

4.6.1.	POPIS	44
4.6.2.	VÝSLEDKY: PŘÍČNÉ VAZBY PLNÉ A PRÁZDNÉ	44
4.6.3.	VÝSLEDKY: PODELNÁ VAZBÁ	46
4.7.	ZHODNOCENÍ	46
5.	ÚNOSNOSTI PRVKŮ	48
5.1.	OBEČNĚ	48
5.2.	ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY NAMÁHÁNÍ	49
6.	SPOJE.....	51
6.1.	OBEČNĚ	51
6.2.	OSEDLÁNÍ	51
6.3.	ZAPUŠTĚNÍ.....	52
6.4.	OCELOVÝ PÁSEK.....	52
6.5.	ČEPOVÁNÍ	52
6.6.	RYBINOVÝ TESAŘSKÝ SPOJ	53
6.7.	SVORNÍKOVÝ SPOJ	54
7.	NÁVRH ZPEVNĚNÍ KROVU	55
8.	ZÁVĚR.....	56

ÚVOD

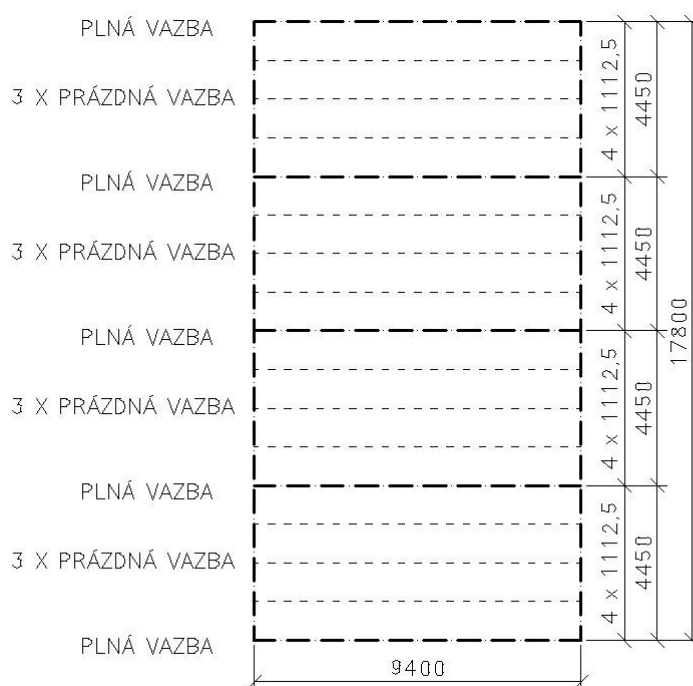
Předmětem bakalářské práce je studium statického působení dřevěného krovu stodoly. Nejprve jsou řešeny rovinné modely základních typů krovu. Výsledky od zatížení jsou mezi sebou porovnány a zhodnoceny. Chování různých typů zatížených krovů v rovinném modelování bylo inspirací pro vytváření modelů prostorových.

Na konstrukci stodoly se projevují velké deformace jednotlivých nosných prvků a spojů. Jsou vytvořeny tři případy statického uspořádání. První model charakterizuje konstrukci bez porušení spojů, druhý model vystihuje chování krovu při porušení spojení krokve s kleštinou a třetí model omezuje možnost pootočení vaznice na sloupku. Výsledky byly vyhodnoceny a porovnány s reálným chováním střechy stodoly.

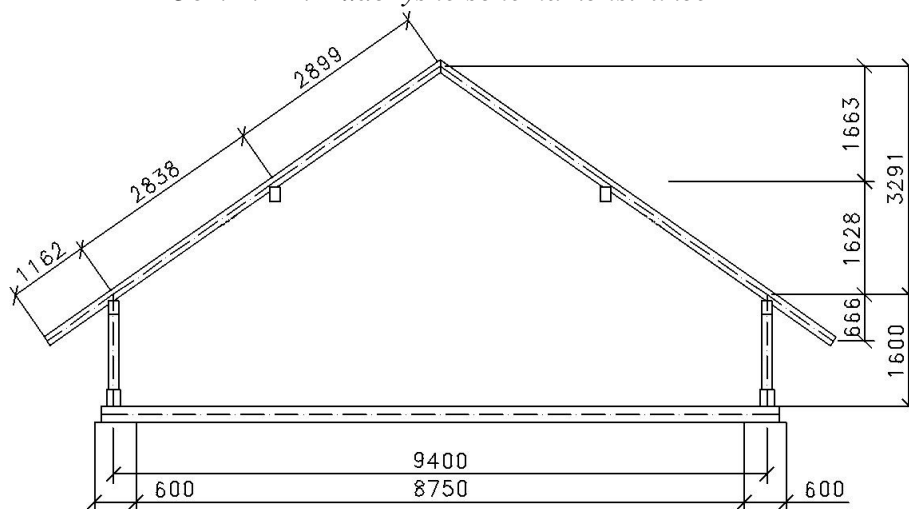
1. POPIS KONSTRUKCE

1.1. GEOMETRIE KONSTRUKCE

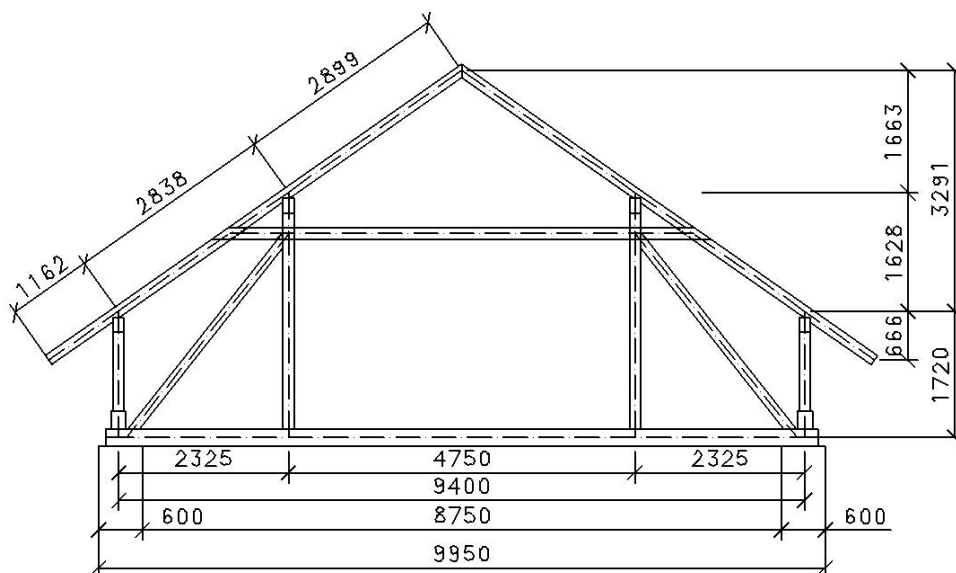
Řešeným objektem je střešní konstrukce staré stodoly. Jedná se o vaznicovou soustavu se svislými sloupky – stojatá stolice. Sklon střechy je 35° . Půdorysný rozměr je $9,4 \times 17,8$ m. Nosnou funkci přebírá pět plných vazeb (obr. 1-1-3) v osové vzdálenosti 4450 mm, prázdné (jalové) vazby (obr. 1-1-2) jsou osově vzdáleny 1112,5 mm (obr. 1-1-1). Tuhost krovu v podélném směru je zajištěna sloupky a pásky (obr. 1-1-4) v příčném směru je krov ztužen kleštinami a vzpěrami. Po statické stránce krokve působí jako nosníky šikmo uložené na podpěrách – pozednice a vaznice, odkud se zatížení přenáší na sloupky, kleštiny a vzpěry.



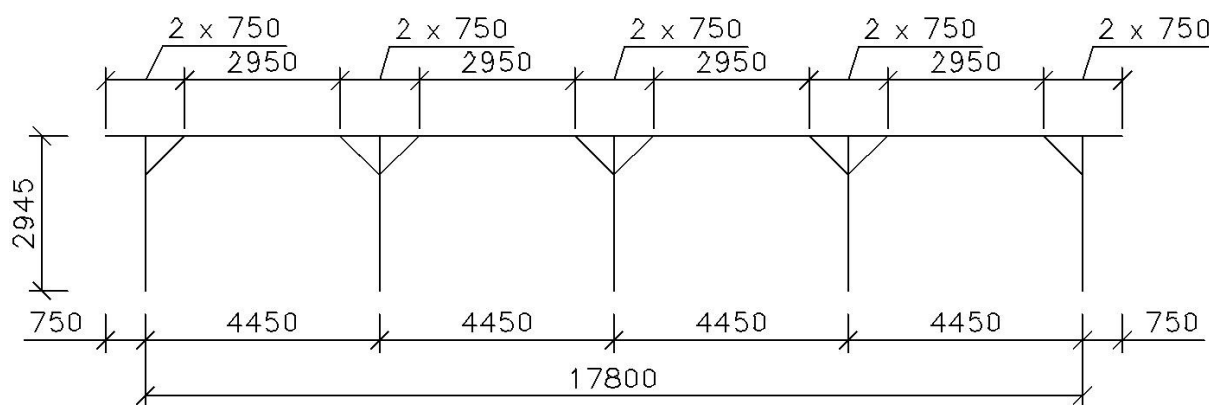
Obr. 1.1-1: Půdorysné schéma konstrukce



Obr. 1.1-2: Příčný řez – prázdná vazba



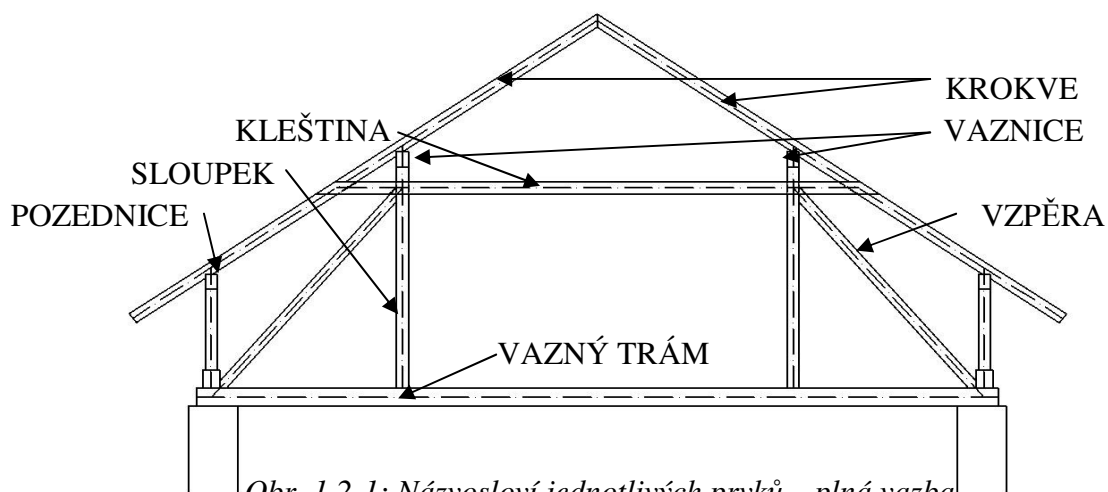
Obr. 1.1-3: Příčný řez – plná vazba



Obr. 1.1-4: Podélný řez - vaznice

1.2. GEOMETRIE JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ

Krov se skládá z jednotlivých prvků (obr. 1.2-1) a jejich dimenzí.

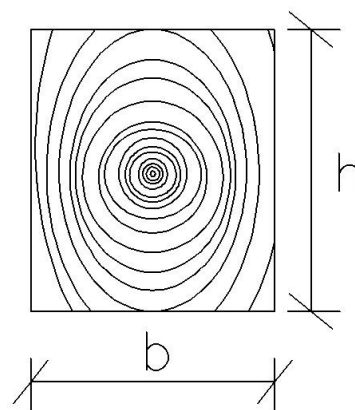


Obr. 1.2-1: Názvosloví jednotlivých prvků – plná vazba

- KROKVE:** Směřují kolmo k okapu a jsou osedlány na pozednice a vaznice.
- VAZNICE:** Podpírají krokve a jsou osazeny na sloupky pomocí čepu a dlábku.
- VZPĚRY:** Šikmé prvky zatížené tlakem. Podporují sloupek a přenášejí zatížení blíž k podporám, aby sloupek příliš nezatěžoval vazný trám.
- SLOUPKY:** Svislé prvky většinou zatížené tlakem, někdy možno zatížení tahem (v kombinaci se vzpěrami).
- VAZNÝ TRÁM:** Trám uložen kolmo k hřebeni na obvodové stěně. Přebírá zatížení a přenáší ho do obvodových stěn. Nejvíce namáhán, proto má zpravidla největší dimenze průřezu.
- PÁSKY:** Šikmé prvky namáhané na tlak. U středních vazeb jsou oboustranné, při krajní vazbě jsou jednostranné. S vaznicemi a se sloupky svírají úhel 45°.
- POZEDNICE:** Pozední vaznice – vaznice uložená na nadezdívce.
- KLEŠTINY:** Párové vodorovné prvky, ke krokvi připevněné ze stran dřevěným kolíkem.

Rozměry jednotlivých průřezů byly změřeny na konstrukci a dále se již braly tyto jejich hodnoty:

PRVEK	ROZMĚRY [mm] b/h	OSOVÁ DÉLKA [mm]
krokev	140/150	6899
sloupek	150/150	2945
vzpěra	130/130	3566
vaznice	150/200	4450
krajní vaznice	150/200	5200
kleštiny	2 x 80/160	6344
vazný trám	200/240	9750
pásky	130/130	750



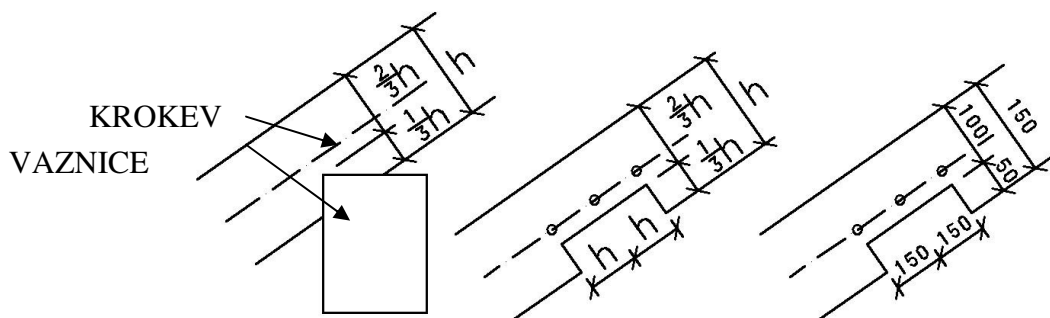
Tab. 1.2-2: Profily prvků na konstrukci Obr. 1.2-3: Rozměry h, b v průřezu

1.3. OSEDLÁNÍ

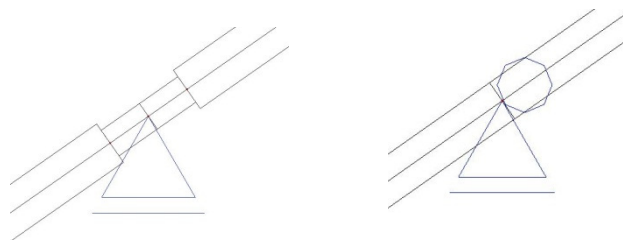
Zásah vaznice do krokve se musí zohlednit v modelování konstrukce. Krokev je v místě spojení s vaznicí oslabená viz obr. 1.3-1. Tomuto spoji se říká osedlání.

Krokev má v tomto místě oslabený průřez, tím i sníženou ohybovou tuhost. Poměr ohybové tuhosti oslabeného průřezu a neoslabeného průřezu:

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



Obr. 1.3-1: Detail osedlání krokve



Obr. 1.3-2: Detail vyřešení osedlání krokve ve výpočtovém modelu konstrukce jako oslabený průřez (vlevo) nebo vložením kloubu (vpravo)

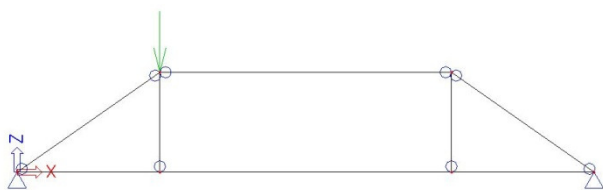
1.4. VÝPOČET PRUŽNÝCH KONSTANT

Pružné konstanty definují tuhost podpory ve směrech x, y, z. Pokud není podpora dokonale tuhá avšak ani dokonale volná, můžeme zvolit podporu pružnou a definovat ji možnosti posunů. V případě sloupků podepřených vazným trámem je schopnost podpory pružit závislá na průhybu vazného trámu v ose z, y.

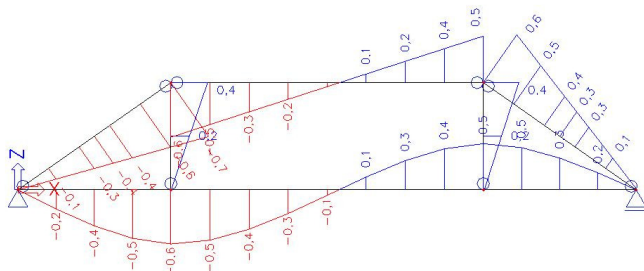
Výpočet dle vzorce :

$$\omega = 1/\delta \text{ [MN/m]} \quad (2)$$

A) pro směr z



Obr. 1.4-1: Výpočtový model pro směr z



Obr. 1.4-2: Deformace uz od zatížení

Model byl zatížen jednotkovým zatížením do sloupku. Následně byl proveden výpočet programem SCIA Engineer a požadovaným výsledkem byly deformace (obr. 1.4-2)

Výpočet: dle vzorce (2)

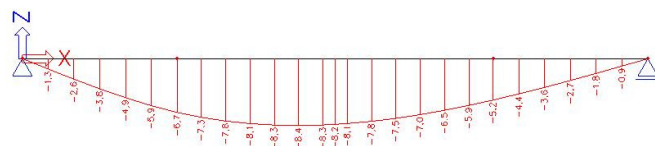
$$\omega = 1/0,6 = 1,667 \text{ [MN/m]}$$

Rozměry prvku jsou dle tab. 1.2-1

B) pro směr x



Obr. 1.4-3: Výpočtový model pro směr y



Obr. 1.4-4: Deformace uy od zatížení

Zde se zatěžuje přímo vazný trám. V modelu je otočen jeho průřez o 90° , aby byla zatěžována jeho svislá hrana. Vyvozené deformace jsou na obr. 1.4-4

Výpočet: dle vzorce (2)

$$\omega = 1/6,7 = 0,149 \text{ [MN/m]}$$

2. ZATÍŽENÍ, ZATĚŽOVACÍ STAVY

Byla uvažována následující stála zatížení:

- vlastní tíha konstrukce
- ostatní stálé – tíha střešní krytiny (tašková krytina včetně laťování $0,55 \text{ KN/m}^2$)

Pro nahodilá zatížení působící na konstrukci po celou dobu její životnosti byly uvažované následující hodnoty

- klimatické zatížení sněhem se základní tíhou sněhu na zemi $S_k=2,5 \text{ KN/m}^2$ odpovídající umístění stavby do 5. sněhové oblasti; ČSN EN 1991-1-3
- klimatické zatížení větrem se základní hodnotou rychlosti větru $v_{b,0}=27,5 \text{ m/s}$ odpovídající 3. větrové oblasti; kategorie terénu 3.; základní tlak větru $q_{p(z)} = 0,78 \text{ KN/m}^2$; ČSN EN 1991-1-4
- užité zatížení $1,5 \text{ KN/m}^2$

Dle druhu zatížení byly vytvořeny jednotlivé výběrové skupiny. Program SCIA Engineer při tvoření kombinací vybere vždy z každé skupiny pouze jeden zatěžovací stav. Skupina zatížení stálého je jediná, která umožňuje vstupu do kombinace více zatěžovacím stavům.

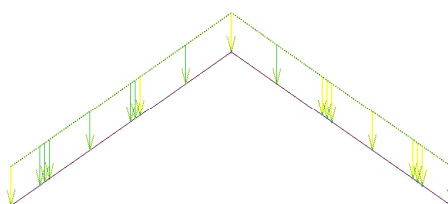
- **Skupina zatížení – stálé**

ZS1 – vlastní tíha

Zatížení vlastní hmotností

ZS2 – ostatní stálé

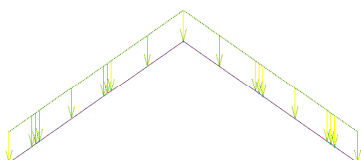
$$q = 0,617 \text{ KN/m}$$



- Skupina zatížení – sněh**

ZS3 – sněh plný

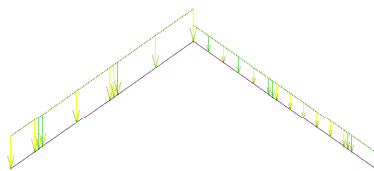
$$q = 1,87 \text{ KN/m}$$



ZS4 – sněh zleva

$$q = 1,87 \text{ KN/m}$$

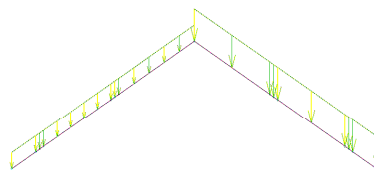
$$q = 0,936 \text{ KN/m}$$



ZS5 – sněh zprava

$$q = 0,936 \text{ KN/m}$$

$$q = 1,87 \text{ KN/m}$$

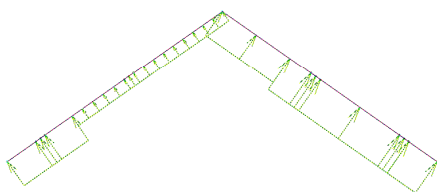


- Skupina zatížení - vítr**

ZS6 – vítr 1

$$q = -0,29 \text{ KN/m} \quad q = -0,29 \text{ KN/m}$$

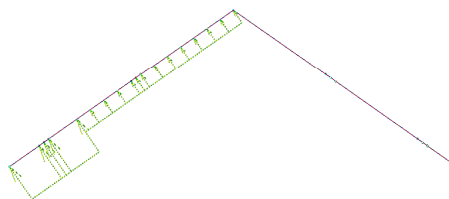
$$q = -0,113 \text{ KN/m} \quad q = -0,377 \text{ KN/m}$$



ZS7 – vítr 2

$$q = -0,29 \text{ KN/m}$$

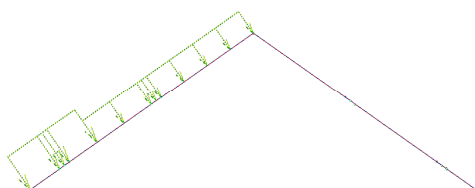
$$q = -0,113 \text{ KN/m}$$



ZS8 – vítr 3

$$q = 0,614 \text{ KN/m}$$

$$q = 0,404 \text{ KN/m}$$



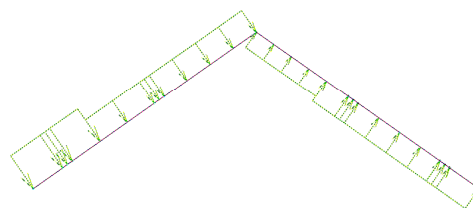
ZS9 – vítr 4

$$q = 0,614 \text{ KN/m}$$

$$q = 0,404 \text{ KN/m}$$

$$q = -0,29 \text{ KN/m}$$

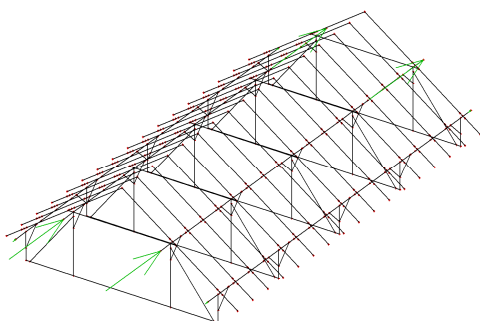
$$q = -0,377 \text{ KN/m}$$



ZS10 – vítr na štít A

$$F_1 = -0,457 \text{ KN (pozednice)}$$

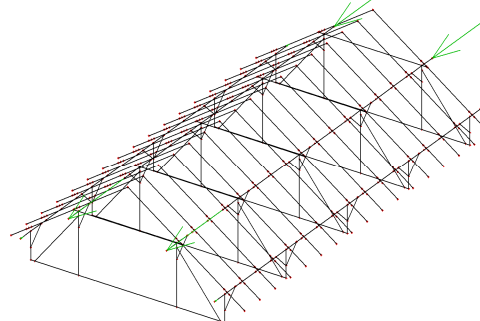
$$F_2 = -8,057 \text{ KN (vaznice)}$$



ZS11 – vítr na štít B

$$F_1 = -0,457 \text{ KN (pozednice)}$$

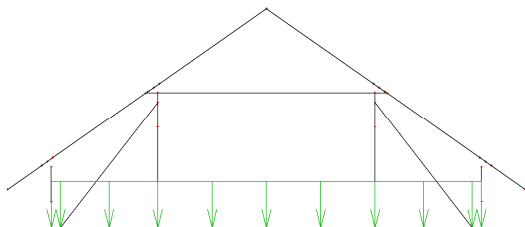
$$F_2 = -8,057 \text{ KN (vaznice)}$$



- Skupina zatížení – užité

ZS12 – užité

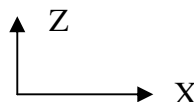
$q = 1,5 \text{ KN/m}$ (krajní vazný trám $q = 0,75 \text{ KN/m}$)



Zatěžovací šířka pro zatížení na střeše byla brána 1112,5 mm (vzdálenost krokví), pro užité zatížení byla zatěžovací šířka 1000 mm (vzdálenost vazných trámů).

3. ROVINNÉ GEOMETRICKÉ MODELÝ

Nejprve byly řešeny rovinné geometrické modely programem SCIA Engineer. Tyto modely nejsou přesným řešením reálné konstrukce, avšak pomohly pochopit rozdíly chování jednotlivých typů krokví a následně tyto znalosti zúročit při prostorovém modelování. Zatížení je vztaženo na zatěžovací šířku 1 bm. Souřadný systém je

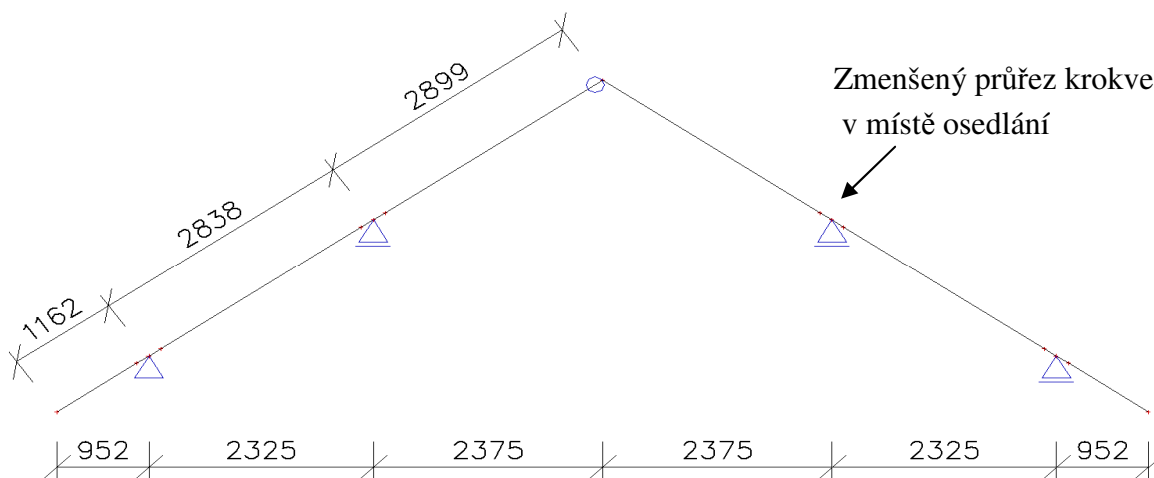


3.1. KROKVE

3.1.1. MODEL č.1

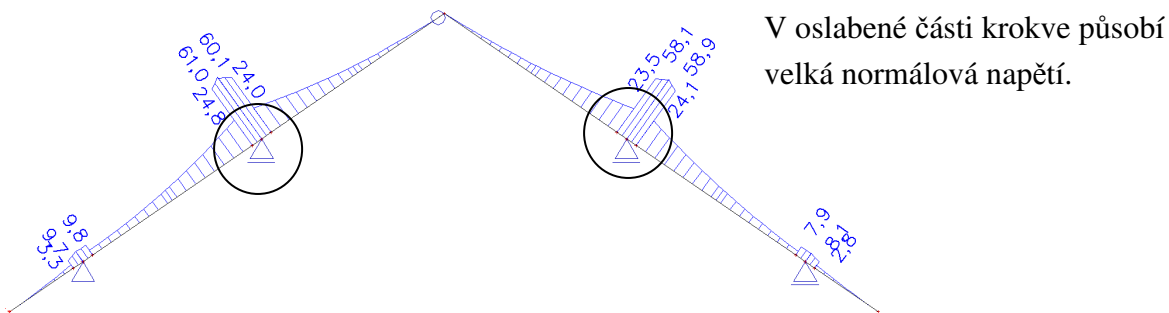
Model bez kleštiny, osedlání krokví je řešeno viz *obr. 1.3-2*

Stupeň statické neurčitosti : 1x staticky neurčitá konstrukce

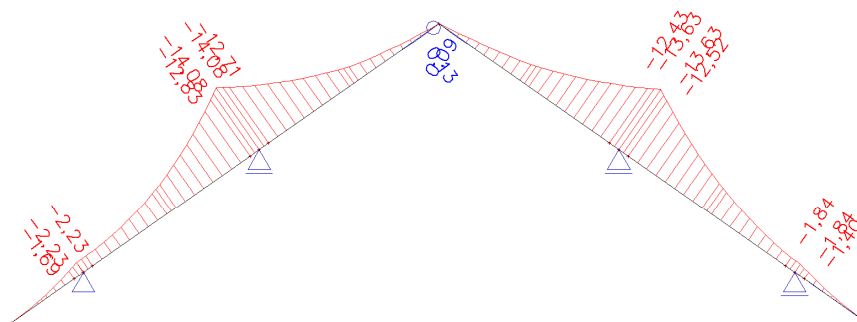


Obr. 3.1.1-1: Výpočtový model

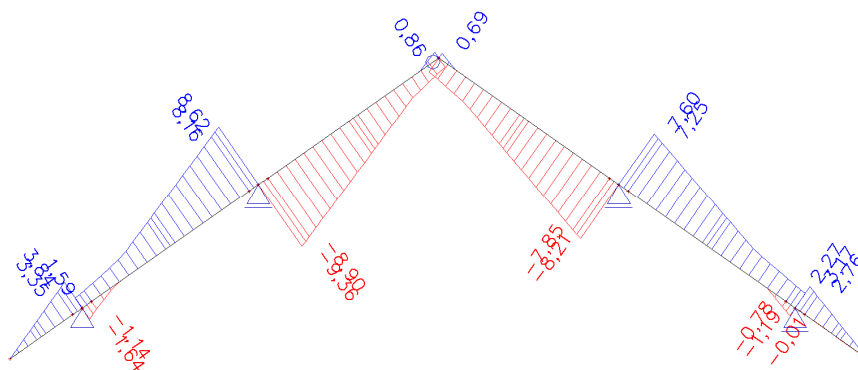
VÝSLEDKY:



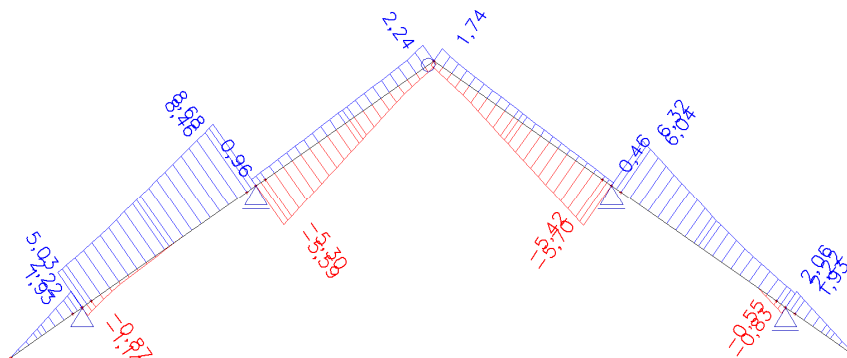
Obr. 3.1.1-2: Průběh normálového napětí(+), kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [MPa]



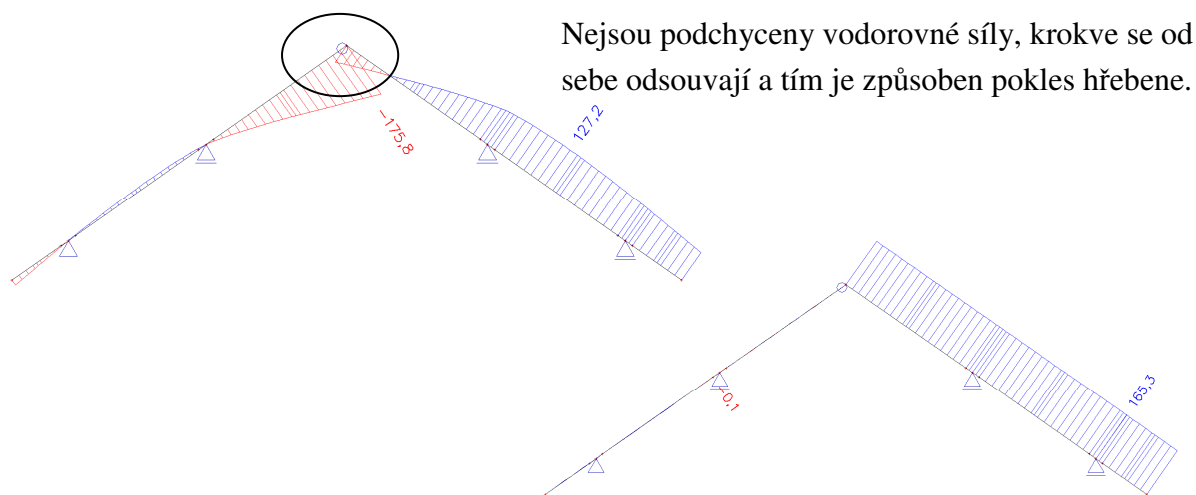
Obr. 3.1.1-3: Průběh momentů - M_y , kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [KNm]



Obr. 3.1.1-4: Průběh posouvající síly - V_z , kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [KN]



Obr. 3.1.1-5: Průběh normálové síly - N , kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [KN]

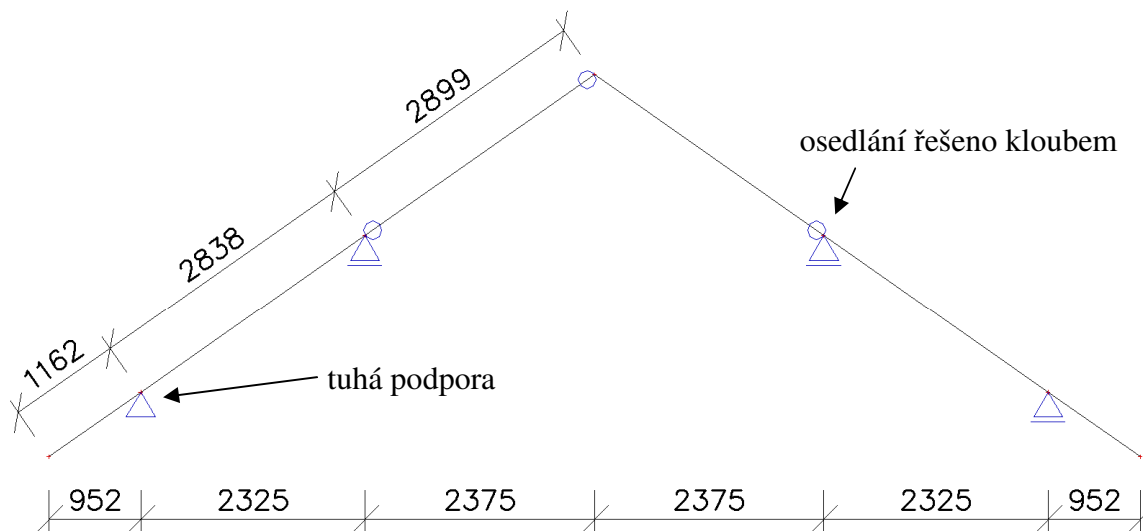


Obr. 3.1.1-6: Deformace uz (vlevo), ux (vpravo), kombinace 2, char. hodnoty, extrém [mm]

Tento model se skládá z jedné pevné a tří posuvných podpor. Není jak zachytit velké vodorovné síly, a proto vznikají nadměrné posuny a deformace konstrukce (posuny uzlů až 200 mm). V místě osedlání prudce vzrostlo napětí (60 MPa). Zmenšený profil krokve nevydrží tato velká namáhání a začne se chovat jako kloub. Model č.1 se změní v model č.2. a spadne. Ačkoli z výsledku je patrné, že konstrukce tohoto typu není výhodna, můžeme ji na starých konstrukcích (stodolách) často spatřit.

3.1.2. MODEL č.2

Model bez kleštiny s jedním neposuvným kloubem. Osedlání modelováno kloubem. Stupeň statické neurčitosti : $-1x$ = staticky přeurčitá konstrukce (kinematický mechanismus)

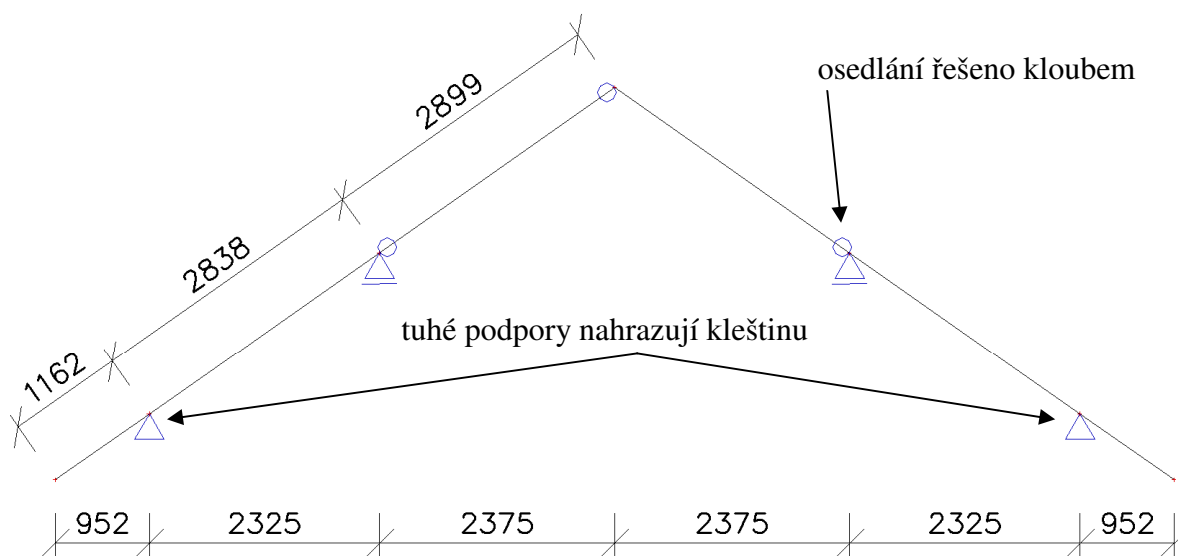


Obr. 3.1.2-1: Výpočtový model

Model je nestabilní, stává se z něj pohyblivý mechanismus. Osedlání je řešeno kloubem, kde předpokládáme nulový přenos momentů a třemi posuvnými klouby jsme vyloučili působení kleštiny. Dále není řešeno – konstrukce by spadla.

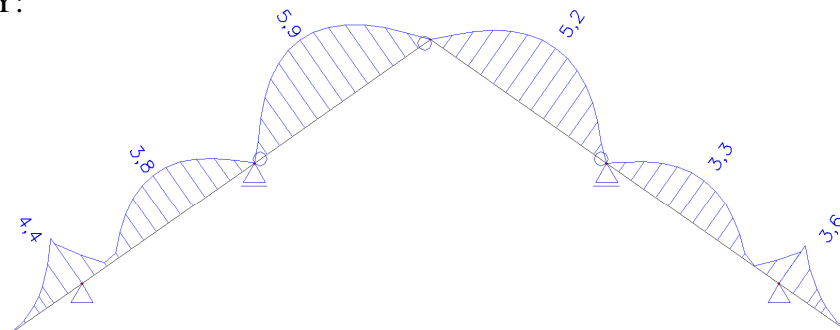
3.1.3. MODEL č.2

Model bez kleštiny, kde kleština je nahrazena dvěma neposuvnými klouby. Osedlání modelováno kloubem dle *obr. 1.3-2*. Stupeň statické neurčitosti: staticky určitá konstrukce.

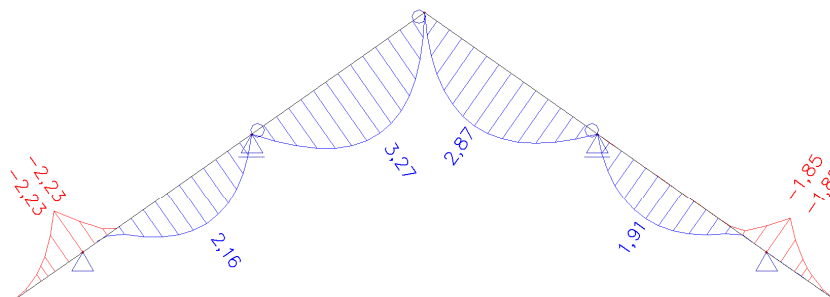


Obr. 3.1.3-1: Výpočtový model

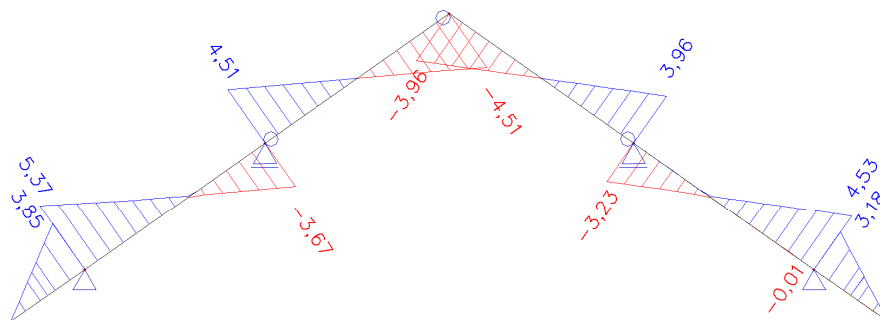
VÝSLEDKY:



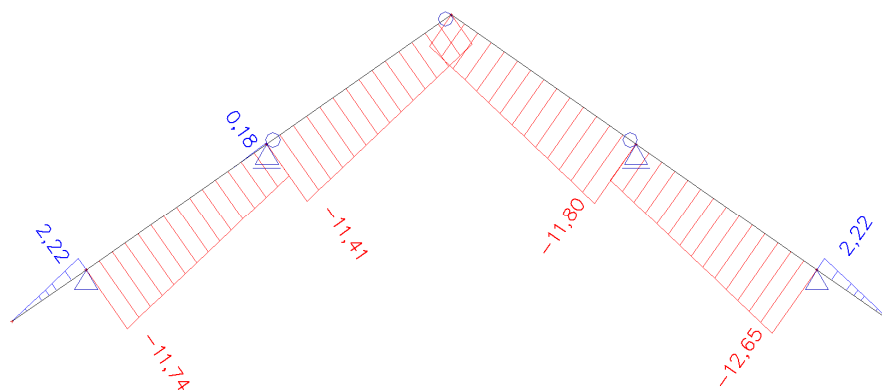
Obr. 3.1.3-2: Průběh normálového napětí(+), kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [MPa]



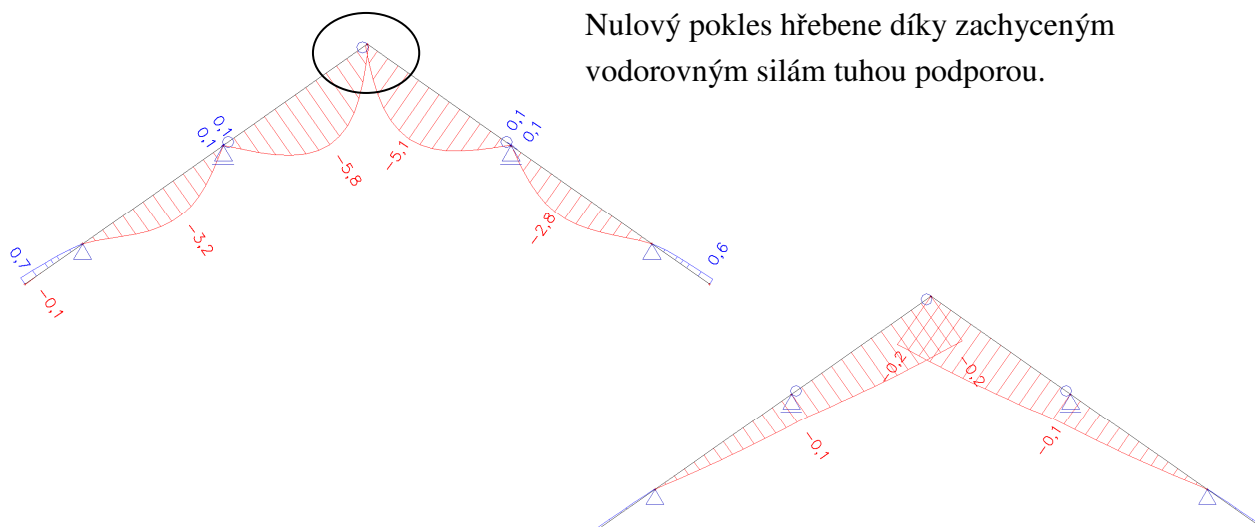
Obr. 3.1.3-3: Průběh momentů - My, kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [KNm]



Obr. 3.1.3-4: Průběh posouvající síly - V_z , kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [KN]



Obr. 3.1.3-5: Průběh normálové síly - N , kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [KN]

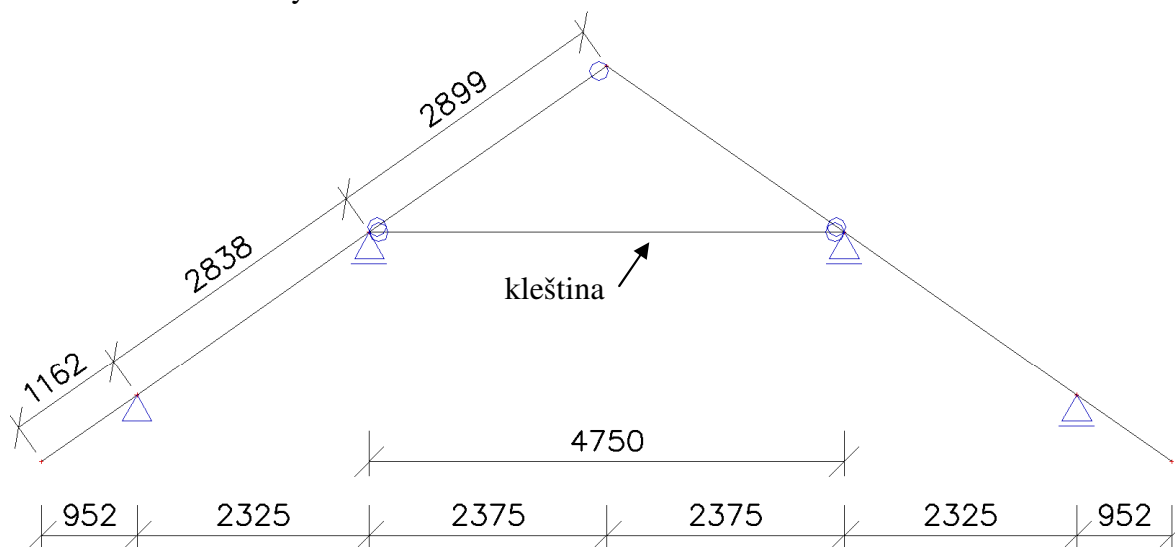


Obr. 3.1.3-6: Deformace u_z (vlevo), u_x (vpravo), kombinace 2, char. hodnoty, extrém [mm]

V tomto modelu bylo zohledněno působení kleštiny pevnými podporami, čímž se zmenšila vodorovná reakce a konstrukce se tak stala stabilnější. Osedlání je řešeno kloubem, který nepřenáší moment. Z výsledků je patrné, že konstrukce není tolik namáhána a deformace jsou minimální.

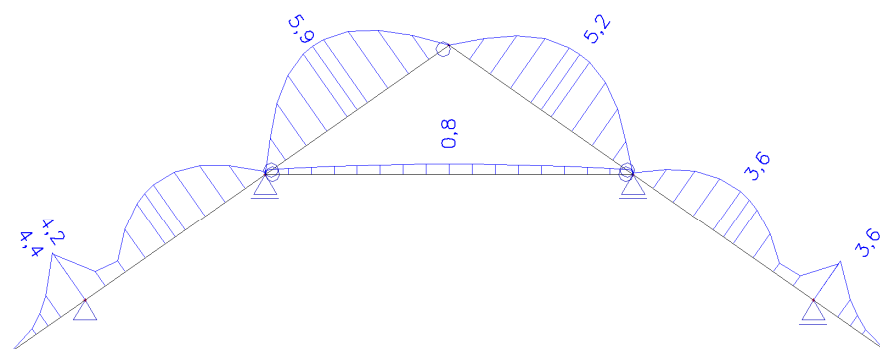
3.1.4. MODEL č.4

Model s kleštinou a jedním neposuvným kloubem. Osedlání modelováno kloubem. Stupeň statické neurčitosti: staticky určitá konstrukce.

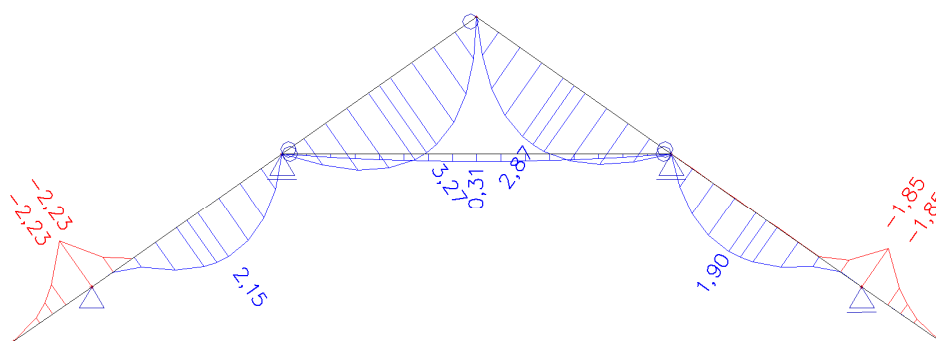


Obr. 3.1.4-1: Výpočtový model

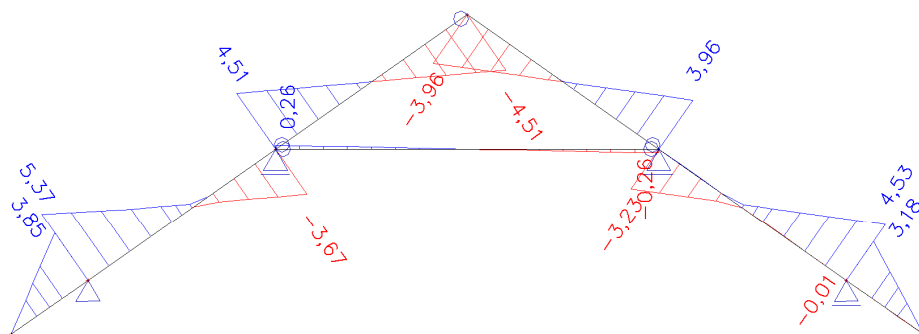
VÝSLEDKY:



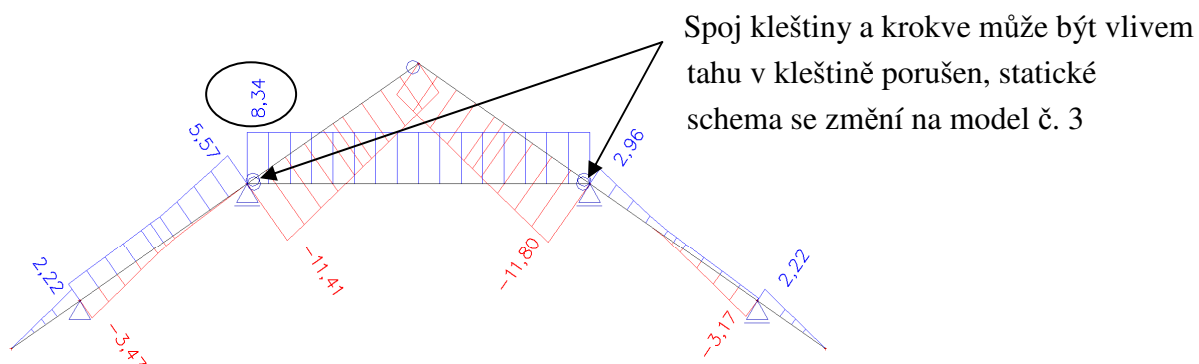
Obr. 3.1.4-2: Průběh normálového napětí(+), kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [MPa]



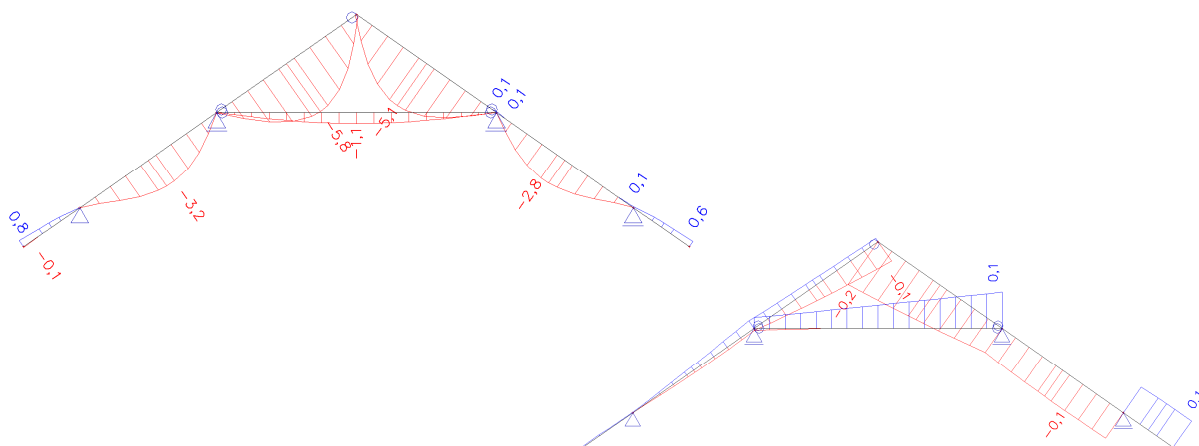
Obr. 3.1.4-3: Průběh momentů - M_y , kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [KNm]



Obr. 3.1.4-5: Průběh posouvající síly - V_z , kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [KN]



Obr. 3.1.4-6: Průběh normálové síly - N , kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [KN]



Obr. 3.1.4-7: Deformace u_z (vlevo), u_x (vpravo), kombinace 2, char. hodnoty, extrém [mm]

Řešení s kleštinou a osedláním klouby vede ke staticky určitému modelu. Kleština je po celé délce prutu tažená a připojená kloubově ke krokvi. Vodorovné síly jsou plně zachyceny, nutno ale ověřit spoj krokve a kleštiny. Pokud by došlo k jeho porušení, model by se opět změnil v model č.3 a došlo by k zhroucení konstrukce. Reakce od zatěžovacích stavů z tohoto případu byly použity pro zatížení rovinného modelu vaznice.

3.1.5. ZHODNOCENÍ

V rovinných prutových modelech byly použity stejné elementy s danými rozměry (*tab.1.2-2*) a zatíženo bylo ve všech případech stejnými zatěžovacími stavy (*kapitola 2*).

Z výsledků je patrné, že v místě osedlání krokve v modelu č.1. dramaticky narostlo napětí. Je to způsobeno velkou vodorovnou silou a oslabeným průřezem. Vodorovné síly nejsou nijak zachyceny a vedou k nadměrným deformacím. Oslabený profil krokve nevydrží velké namáhání a v místě osedlání se vytvoří kloub. Takto se z modelu č.1 stane model č.2.

V případech kdy bylo osedlání řešeno vloženým kloubem již od začátku se průběhy napětí i vnitřních sil liší. Je to statické schéma předpokládající nulovou ohybovou tuhost v místě oslabení krokve.

Velmi zajímavé jsou výsledky deformací u_x , u_z , které v případě modelu č. 2 překračují reálnou hodnotu, protože tento stav je kinematický mechanismus a model není stabilní. Naopak nejmenší deformace jsou v modelu č.3 a 4, kde je zohledněno působení kleštiny, která ztuhuje krov v příčném směru, a zachytí šikmé tlaky působící na vaznici a pozednici.

Oba modely č.3 a 4 představují konstrukci ztuženou v příčném směru, která zachytává vodorovné síly. V modelu č.3 je to vložením neposuvného kloubu, model č.4 má modelovanou kleštinu přímo. Výsledky obou případů jsou téměř totožné, pouze průběh normálových sil je v modelu č.4 přímo ovlivněn vloženou kleštinou, která je vlivem vodorovných odsunů krokví tažená.

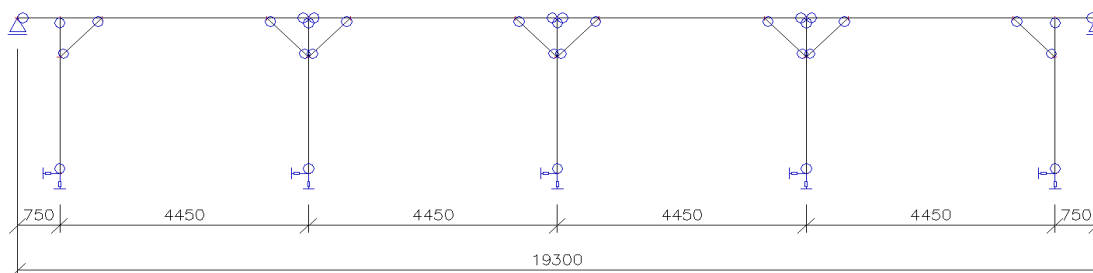
Porušením spoje kleštiny s krokví v modelu č.4 se změní statické schéma na model č.3 a konstrukce spadne.

Pro vytvoření prostorových modelů se vycházelo z poznatku těchto čtyř rovinných případů.

3.2. VAZNICE

3.2.1. MODEL č.1

Při rovinném modelování vaznice se muselo zohlednit pružné chování podpor. (*kapitola 1.4.*) Vaznice uložená na sloupky je zatížena bodovým zatížením od krokví a vítr působící na štít je brán jako přepočítána vodorovná síla, působící v ose vaznice (*viz kapitola 2*). Model se skládá z pásky, sloupků a vaznic o rozměrech – *tab. 1.2-2*

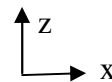


Obr. 3.2.1-1: Výpočtový model vaznice

Model je tvořen dvěma posuvnými podporami, který znázorňují podepření vaznice na štítové obvodové stěně. Zbylé podpory jsou voleny jako pružné s hodnotami tuhosti :

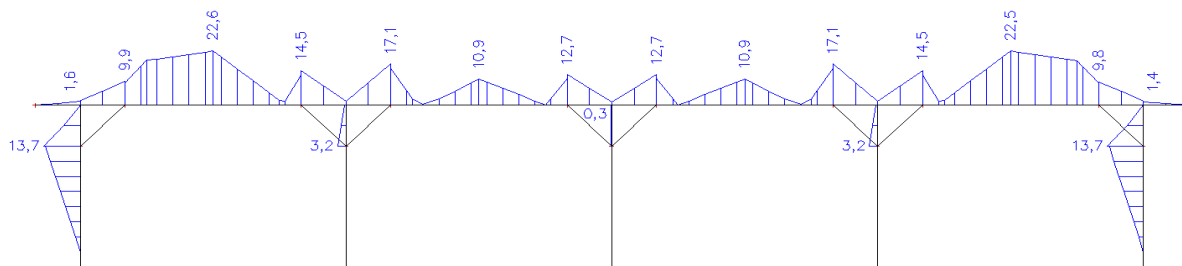
Tuhost ve směru osy X : 0,149 MN/m

Tuhost ve směru osy Z : 1,6670 MN/m

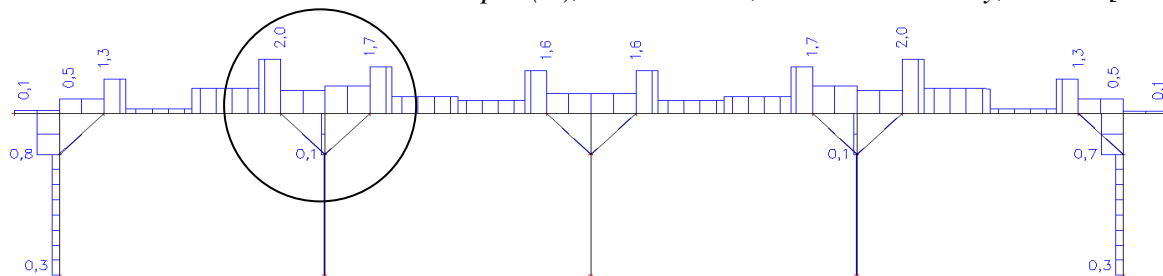


Tyto tuhosti byly v programu SCIA Engineer přiřazeny podporám, a tím definováno jejich pružné chování. Pásky jsou na vaznice a sloupky napojeny kloubově.

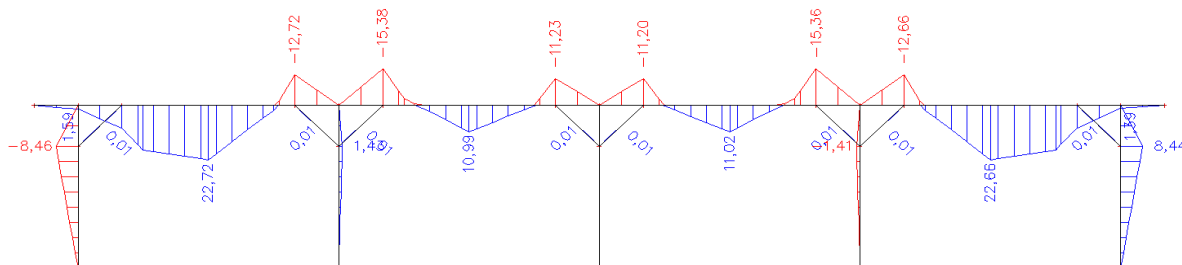
VÝSLEDKY:



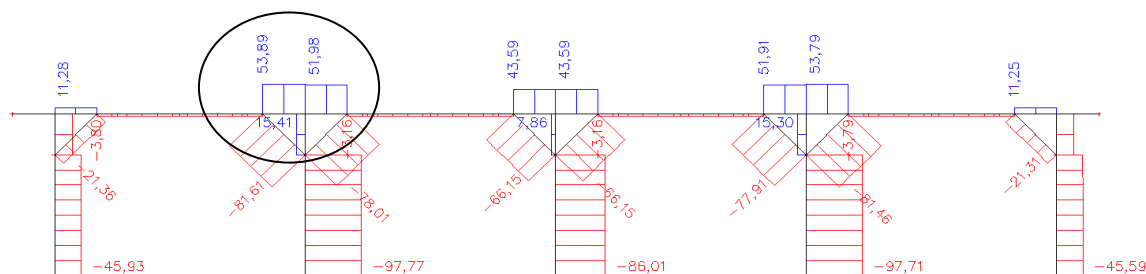
Obr. 3.2.1-2: Průběh normálového napětí(+), kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [MPa]



Obr. 3.2.1-3: Průběh smykového napětí, kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [MPa]



Obr. 3.2.1-4: Průběh momentů - M_y , kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [KNm]



Obr. 3.2.1-5: Průběh normálové síly - N , kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [KN]

4. PROSTOROVÉ GEOMETRICKÉ MODELÝ

4.1. OBECNĚ:

Prostorové dřevěné konstrukce jsou konstruovány tak, že působí v prostoru jako jednolitý celek, ve kterém se na únosnosti konstrukce podílejí všechny prvky.

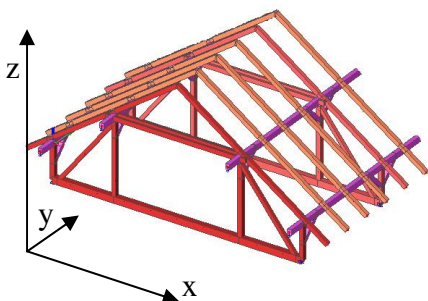
Samotný výpočtový model je idealizovaný tvar prostorového rámu, tvořen střednicí prutové soustavy s přisouzenými vlastnostmi, s idealizovanými vnějšími vazbami a zatížením. Vzájemné spojení prutů soustavy je v uzlech (styčnicích). Ty jsou definovány složkami přemístění (parametry deformace) – u , w , φ v rovině, v prostoru jsou uzlové deformace u_x , u_y , u_z , φ_{ix} , φ_{iy} , φ_{iz} . Kladné složky posunutí jsou ve směru kladných souřadnicových os, kladné pootočení je proti směru hodinových ručiček. Konce prutů mohou být tuhé, nebo kloubově připojeny k dalšímu prvku.

- Uzel monolitický: takto spojené prvky mají všechna pootočení konců prutů stejná
- Uzel kloubový: pootočení konců jednotlivých prutů jsou na sobě nezávislá

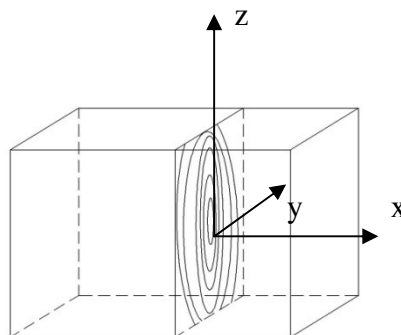
Vnější vazby odebírají uzlům stupně volnosti. (tuhé, volné, pružné podpory)

4.2. MODELOVÁNÍ:

Modely byly zatíženy *dle kapitoly 3.* a byly použity prvky *dle tab. 1.2-2.* Důležitým krokem pro následné správné vyhodnocení výsledků je zachování zvoleného lokálního souřadného systému ve všech prvcích.



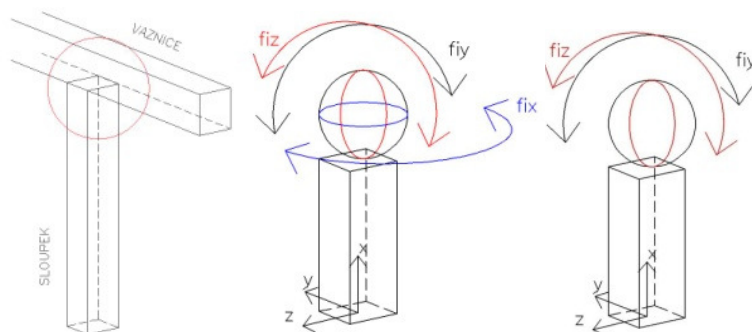
Obr. 4.2-1. Globální souřadný systém



Obr. 4.2-2: Lokální souřadný systém

V lokálním souřadném systému každého prvku je osa x ve směru střednice prutu, osy y a z jsou hlavní těžišťové osy setrvačnosti průřezu. Osa z je kolmá na osu x a je v rovině prvku, osa y vede z roviny prvku. (obr. 4.2-2)

Modelováno je vždy pět plných vazeb a mezi nimi vazby jalové (obr. 1.1-1). V podélném směru je konstrukce tvořena vaznicí, sloupky a pásy. Všechny prvky jsou napojeny kloubově tak, aby bylo zabráněno posunutí kloubu a pootočení v lokální ose prvku x . Tedy každému kloubu je nutno definovat u_x , u_z , u_y , φ_x = tuhé, φ_y , φ_z = volné. Na sebe napojené prvky se tedy mohou na sobě nezávisle pootáčet kolmo k ose y a z . (v lokálním souřadnicovém systému prvku)

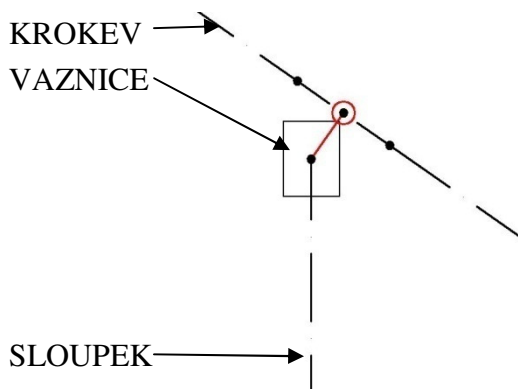


Obr. 4.2-3: Příklad koncového kloubu sloupku. Kloub umožňující pootočení všemi směry – dokonalý kulový kloub (uprostřed), kloub s definovaným tuhým připojením v ose x (vpravo)

Osedlání krokve na vaznici je řešeno zmenšením průřezu krokve (obr. 1.3-2).

Při vytváření prostorového modelu je důležité správně propojit prvky z příčného a podélného systému. Vlivem prutového modelování se osa vaznice neprotne s osou krokve, proto je nutné mezi těmito prvky navrhnout tuhé rameno a tím prvky spojit. (obr. 4.2-4)

Tuhá vazba je nekonečně tuhé spojení dvou bodů (uzlů). Je definováno řídícím a závislým uzlem. Na jednoduchém příkladě bylo ověřeno jeho chování v konstrukci. Tuhé rameno přenese normálové síly, posouvající síly a momenty. Pokud ovšem na závislém uzlu definujeme u tuhého ramena kloub, momenty se nepřenesou.



Uzly jsou na koncích prutu a v místě změny průřezu krokve. Při zadání tuhého ramena je řídícím uzlem zvolen koncový uzel vaznice (= koncový uzel sloupku) a závislý uzel je na krokvi. Takto definované tuhé rameno s kloubem v koncovém uzlu je použito do modelování.

Obr. 4.2-4: Modelování tuhého ramena

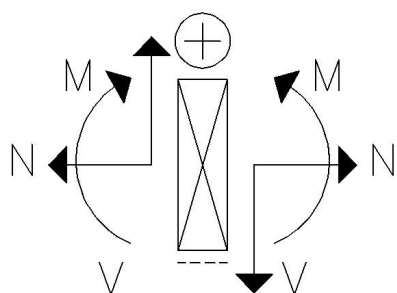
4.3. VÝSLEDKY: (vnitřní síly, deformace)

4.3.1. VNITŘNÍ SÍLY:

- určují se v určitém řezu
- vyjadřují působení odňaté části konstrukce
- zajistí rovnováhu ponechané části konstrukce

Normálová síla N je síla působící na levou nebo pravou část nosníku od průřezu x do směru osy nosníku. Kladná normálová síla vyvolává tah, záporná normálová síla vyvolává tlak.

Posouvající síla V je síla působící na levou nebo pravou část nosníku od průřezu x kolmo na směr osy nosníku. Kladné posouvající síly se snaží otáčet průřezem ve směru hodinových ručiček.

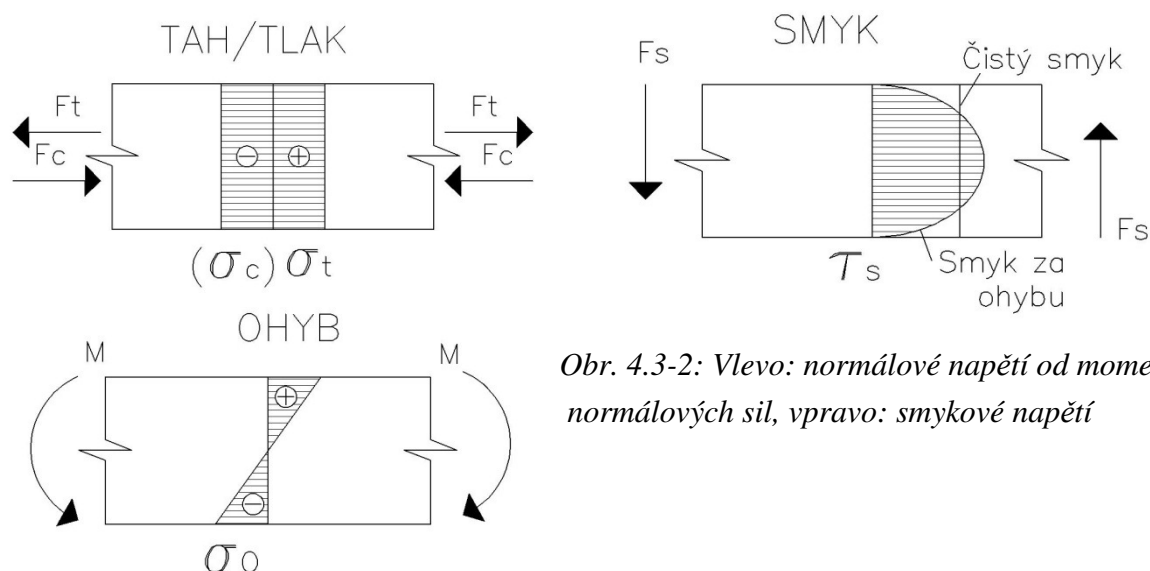


Ohybový moment M je roven součtu statických momentů všech vnějších sil, působících na levou nebo pravou část nosníku od průřezu k těžišti průřezu. Kladný ohybový moment natahuje spodní vlákna průřezu.

Obr. 4.3-1: kladné složky vnitřních sil

Normálové napětí σ vzniká prodloužením (zkrácením) tělesa (od normálové síly, ohybového momentu)

Smykové napětí τ (tečné) je vyvoláno posouvajícími silami V_y, V_z a kroutícím momentem M_x , kdy v průřezu vzniká napětí rovnoběžně s rovinou řezu.



Obr. 4.3-2: Vlevo: normálové napětí od momentu normálových sil, vpravo: smykové napětí

4.3.2. DEFORMACE:

U_z, u_x, u_y : posuny [mm]

$\varphi_{ix}, \varphi_{iy}, \varphi_{iz}$: pootočení [rad, mrad]

Závislost mezi působícím napětím a elastickou deformací prvku je lineární.

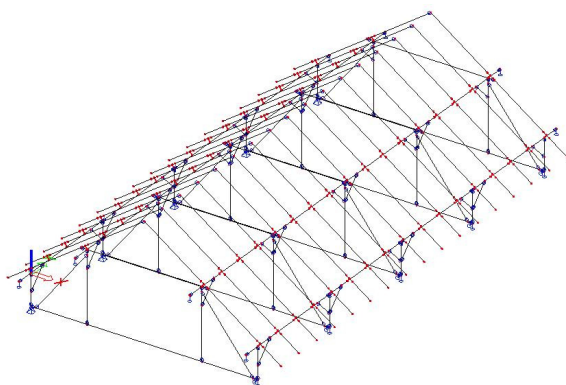
Působící síly v prutu	Působící napětí	Elastická deformace	Modul pružnosti	Vztah mezi napětím a deformací
Tahové/ Tlakové (N)	normálové	poměrná tahová ε	v tahu E	$\sigma = E \cdot \varepsilon$
Smykové (V_z)	smykové	poměrná smyková γ	ve smyku G	$\tau = G \cdot \gamma$

Tab. 4.3-1: Vztahy mezi napětím a deformací

4.4. MODEL č.1.

4.4.1. POPIS

V prvním modelu je snaha vystihnout konstrukci jak funguje bez porušení spojů. Tento případ naznačuje statické působení v konstrukci v začátku životnosti stavby. Kleština je vedena pod vaznicí až ke krokvi, kde je spojena rybinovým tesařským spojem zajištěným pouze hřebíkem (fot. 4.4.1-1). Vaznice je nasazena na sloupek čepovým spojem. Vzpěra je zapuštěna do sloupku a do vazného trámu. Krokve jsou oslabeny osedláním, vaznice jsou v modelu napojeny na krokve dle obr. 4.2-4 tuhým ramenem.



Obr. 4.4.1-1: Prostorový model

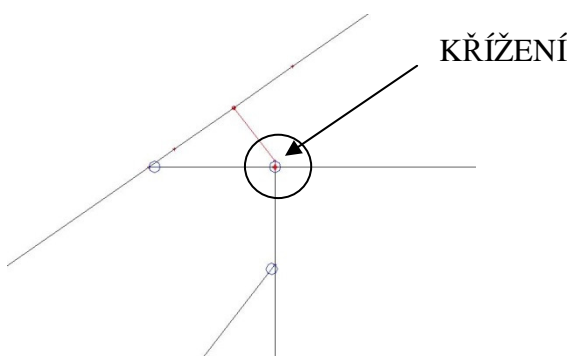


Fot. 4.4.1-1: Spoj kleštiny s krokví

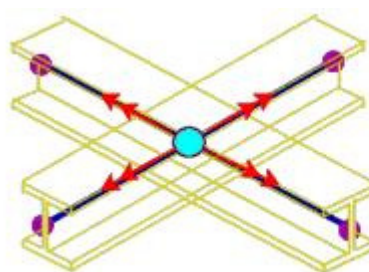
Příčná plná vazba je modelována dle obr. 1.1-3. Levá podpora je definovaná jako tuhá ve všech směrech, pravá podpora je tuhá pouze ve směrech z, y. Krajní podpory vaznic zabezpečují konstrukci pouze ve směru osy z a x.

Komplikované místo na konstrukci pro modelování je křížení sloupku s kleštinou. V tomto místě musí být zajištěno spojení, které zachová celistvost jednotlivých prvků, avšak umožní pootáčení jako na kloubu. To je zajištěno zadáním křížení ve výpočtovém modelu.

Prvky, které se takto kříží, se protínají v jednom bodě (obr. 5.4.1-3). Musí být zajištěno, že kleština a sloupek se otáčí jako celek.



Obr. 4.4.1-2: Detail křížení na modelu

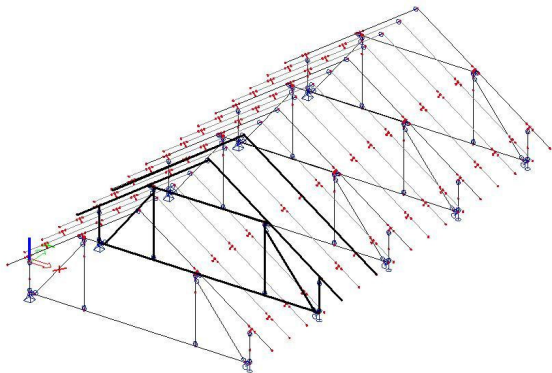


Obr. 4.4.1-3: Kloubové křížení – SCIA Engineer

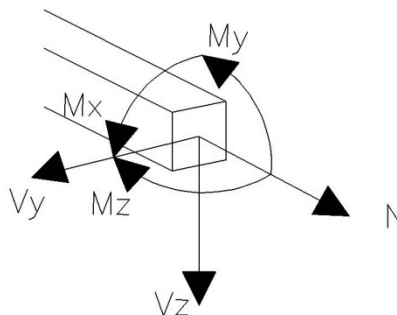
Prázdná vazba je modelována krokví, která je napojena na celou konstrukci přes tuhé ramena. (obr. 4.2-4)

4.4.2. VÝSLEDKY: PŘÍČNÉ VAZBY PLNÉ A PRÁZDNÉ

Pro výsledky je v prostorovém modelu vybrána nejvíce namáhána plná a prázdná vazba. Jedná se o druhou plnou vazbu a pátou prázdnou vazbu počítáno od štítu. (konstrukce je symetrická, může být bráno i od koncového štítu)

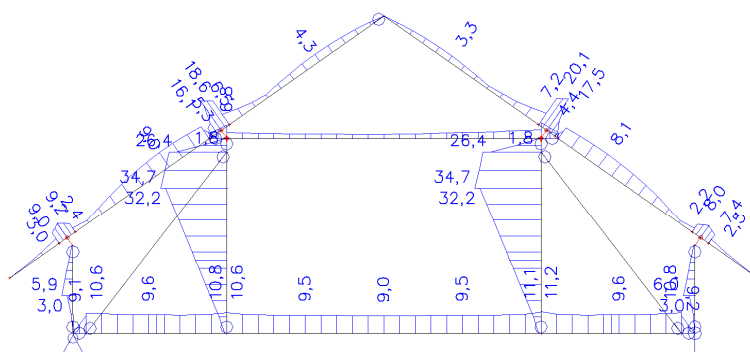


Obr. 4.4.2-1: Vyznačená plná a prázdná vazba pro vyhodnocení výsledků

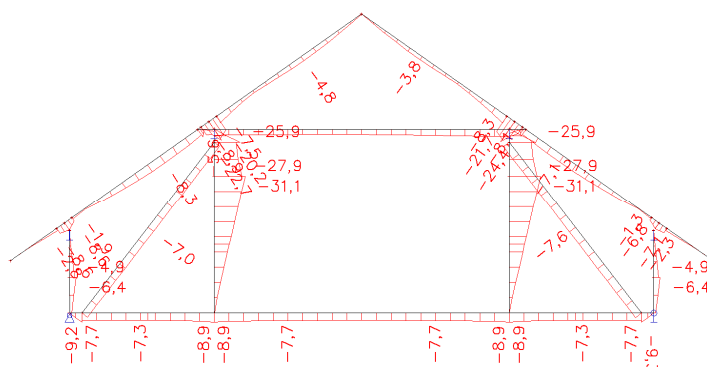


Obr. 4.4.2-2: Prostorový rámový prut přenáší normálové a posouvající síly, kroucí a ohybové momenty

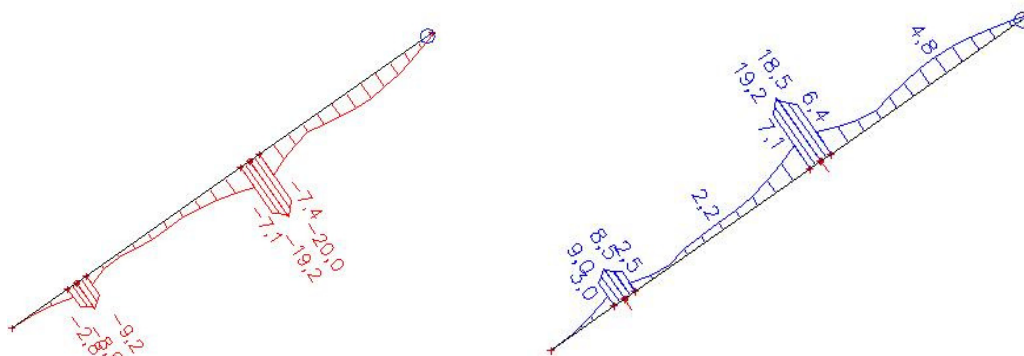
PRŮBĚH NORMÁLOVÝCH NAPĚTÍ (+,-):



Obr. 4.4.2-3: Plná vazba: Průběh normálového napětí (+), kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [MPa]



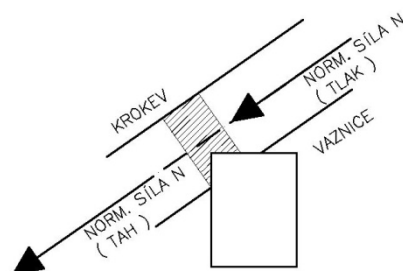
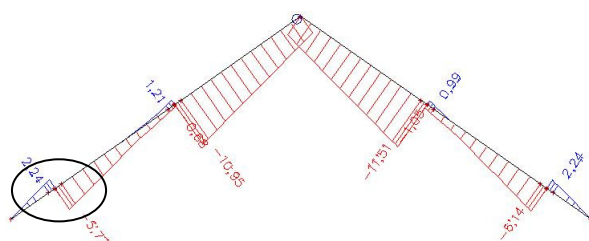
Obr. 4.4.2-4: Plná vazba: Průběh normálového napětí (-), kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [MPa]



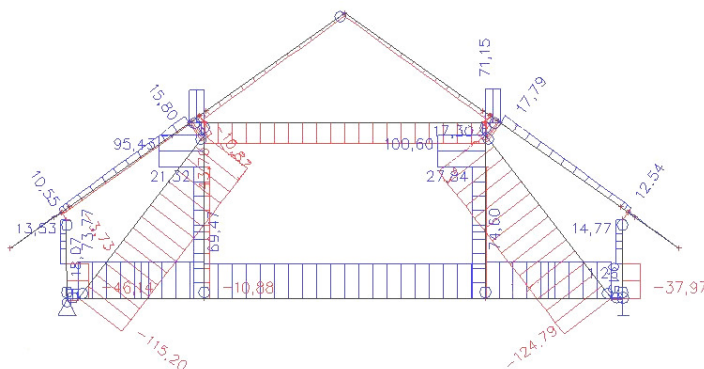
Obr. 4.4.2-5: Levá část prázdné vazby: Průběh normálového napětí (+,-), kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [MPa]

Z výsledků kladných a záporných normálových napětí jde vypožorovat, že největší stavy napjatosti jsou ve sloupku, vazném trámu a v místě osedlání krokve. Vazný trám je ze všech prvků namáhán nejvíce, musí být schopen přenést veškeré zatížení do obvodových stěn a tím do základů. Sloupek přebírá značnou část zatížení a převádí ho do vazného trámu. Není divu, že tyto dva prvky jsou z hlediska napjatosti nejvíce namáhány. Ve vzpěře působí pouze normálová napětí záporná, je namáhána pouze tlakem. Velká napětí v osedlání jsou stejného původu jako v rovinných modelech, tedy vodorovná síla a oslabený průřez vyvolají velké lokální napětí.

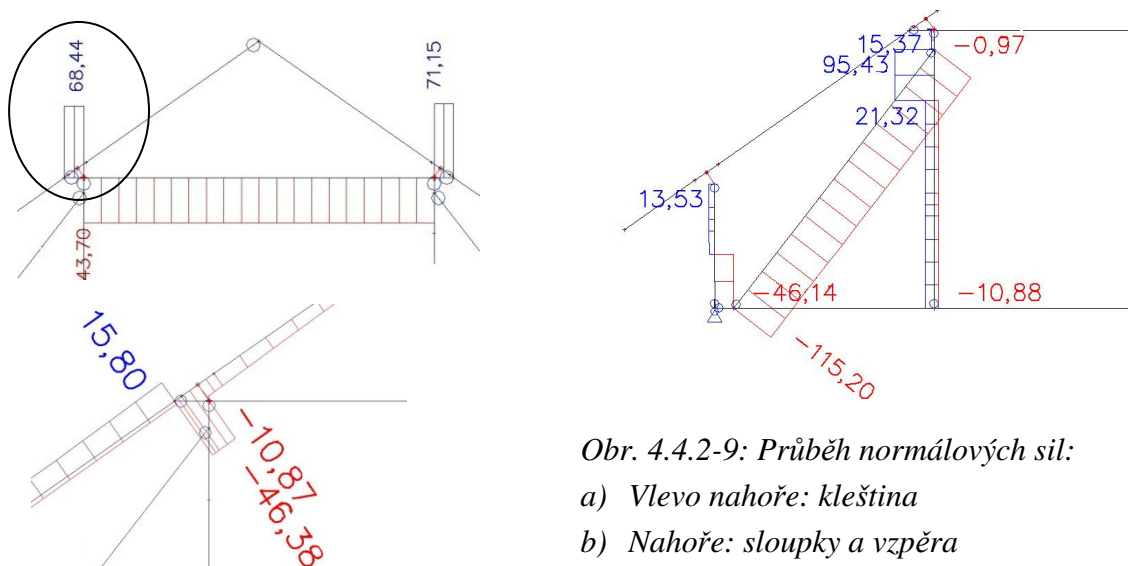
PRŮBĚH NORMÁLOVÝCH SIL:



Obr. 4.4.2-6: Prázdná vazba: průběh normálové síly - N, Obr. 4.4.2-7: N v krokvě kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [kN]



Obr. 4.4.2-8: Plná vazba: průběh normálové síly - N, kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [kN]



Obr. 4.4.2-9: Průběh normálových sil:

a) Vlevo nahoře: kleština

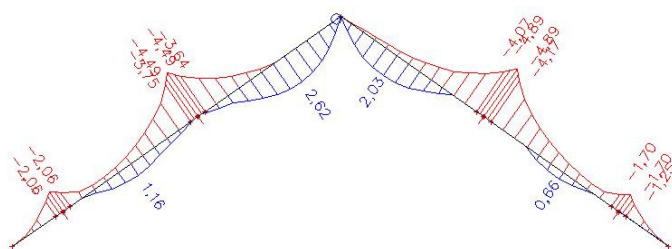
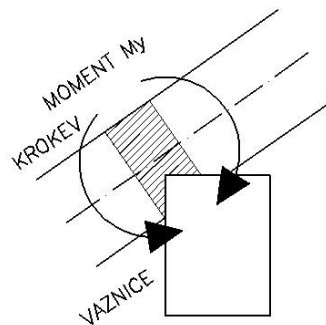
b) Nahoře: sloupky a vzpěra

c) Vlevo: krokev v místě osedlání

Obrovské tahové napětí v kleštině (68,44 MPa) je problematické na navrhnutí spoje s krokví. Původní tesařský spoj zajištěný kolíkem není schopen přenést takovou tahovou sílu, a proto je porušen (Fot. 6.6-1). Již v rovinném modelu bylo závěrem zjištěno, že pokud dojde k porušení spoje kleštiny a krokve, zvýší se vodorovné síly působící v konstrukci. To bude mít za následek odsunutí krokví po směru působící vodorovné síly, a takto deformující se krokve budou kroutit vaznice.

Z obr. 4.4.2-9b) je patrné, že vzpěra je významně tlačená, naopak sloupek je vlivem pásků a vzpěry tažen. Viz kapitola 6.

PRŮBĚH MOMENTŮ :

Obr. 4.4.2-10: Průběh momentů - M_y ,
kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [KNm]Obr. 4.4.2-11: M_y v krokvi

V prázdné vazbě jsou hodnoty M_x a M_z minimální. Ovšem v místě snížení průřezu krokve kde je podepření vaznicí, narůstají záporné hodnoty M_y (jsou tažena horní vlákna). Velké namáhání je patrné už z normálových napětí. Model se časem přetvoří a místo osedlání bude přesnější řešit kloubem. Viz rovinný model č.1

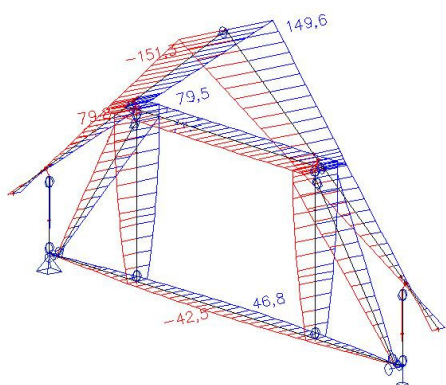


Fot. 4.4.2-1 : Zkroucená vaznice

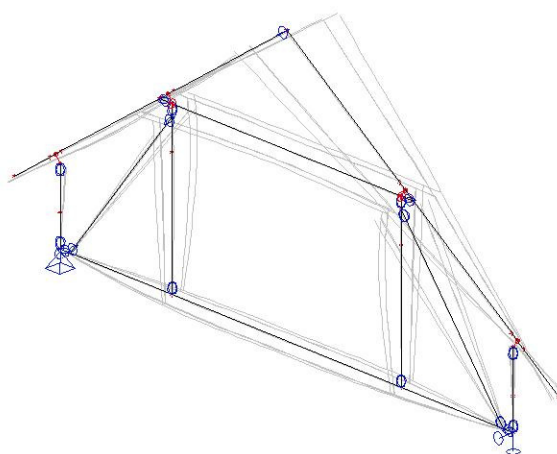


Fot. 4.4.2-2 : Zkroucená vaznice - 2

Na fot. 4.4.2-1 si můžeme všimnout porušeného osedlání vlivem působení sil dle obr. 4.4.2-14.



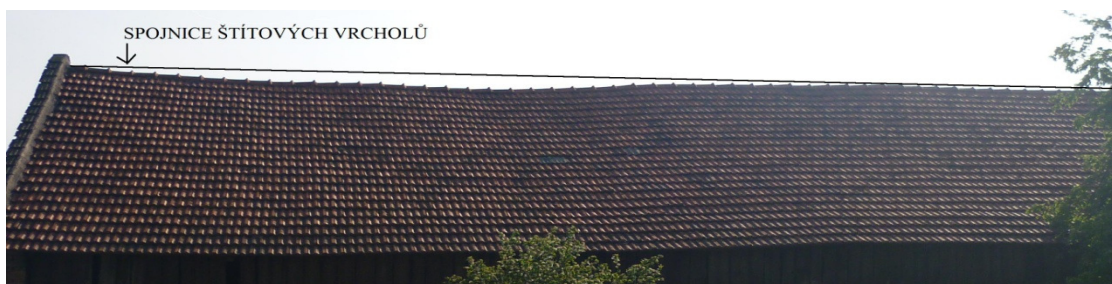
Obr. 4.4.2-15: (vlevo) Deformace u_y , kombinace 2, char. hodnoty, extrém [mm]



Obr. 4.4.2-16: (vpravo): Zdeformována plná vazba

Deformace prutů u_x , u_z jsou zanedbatelné (max 20 mm) oproti deformacím vznikajícím ve směru osy y (až 150mm). Vodorovné síly od větru na štít se nepřevedou dostatečně přes vaznici a pásy do sloupů, vzniknou velké posuny. Je jasné, že spojení krokví ve vrcholu je na toto zatížení nedostačující. V hřebeni není žádný podélný prvek, který by konstrukci ztužoval.

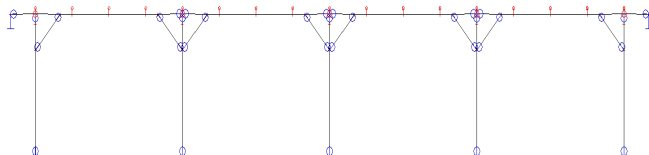
Vzniklé deformace střechy jsou viditelné pouhým okem (Fot. 4.4.2-3.). Toto je častý problém nejen starých konstrukcí statků a stodol.



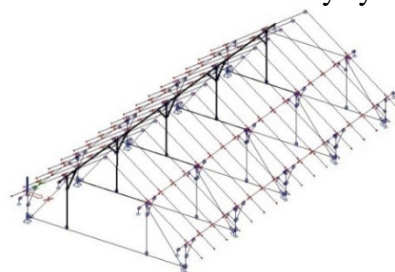
Fot. 4.4.2-3: Prohnutí hřebene

4.4.3. VÝSLEDKY: PODELNÁ VAZBA

V podélném směru byly opět pro výsledky vybrány nejvíce namáhané vaznice spolu se sloupky a pásy obr. 4.4.3-2. V místě spojení krokve a vaznice jsou naznačeny tuhé ramena. Je nutné si uvědomit, že v tomto směru je stále dodržován lokální souřadný systém prvků, který je odlišný pro sloupky a vaznici s pásy.

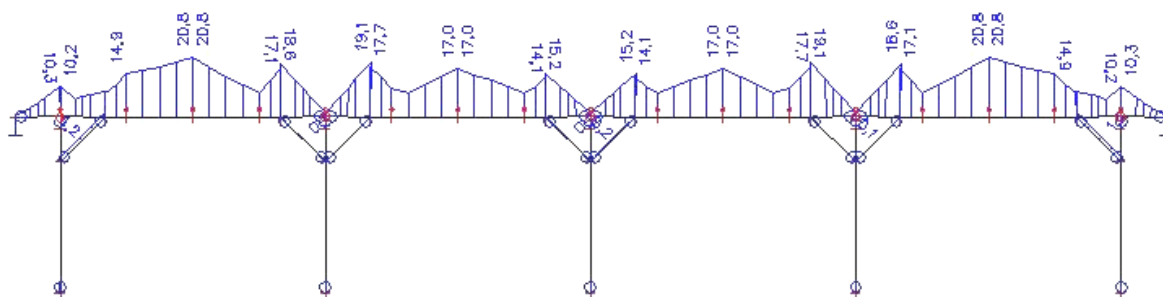


Obr. 4.4.3-1: Část výpočtového modelu - vaznice

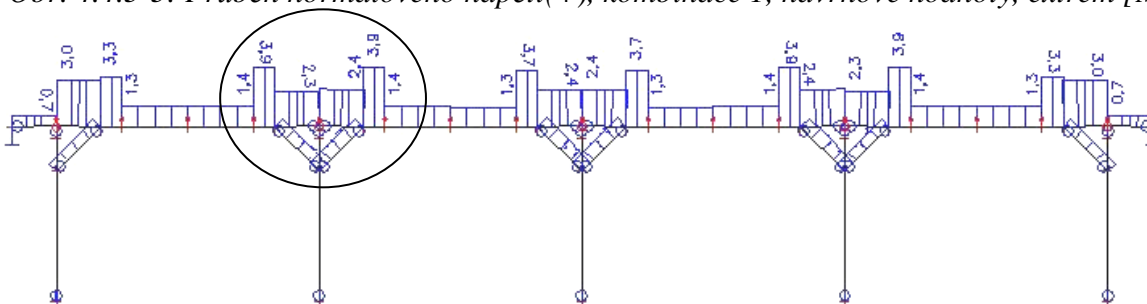


Obr. 4.4.3-2: Vyznačená podélná vazba pro vyhodnocení výsledku

PRŮBĚH NAPĚTÍ:



Obr. 4.4.3-3: Průběh normálového napětí(+), kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [MPa]



Obr. 4.4.3-4: Průběh smykového napětí, kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [MPa]

Hodnoty smykového napětí vyvolané posouvajícími silami V_z , V_y a kroutícím momentem M_x , jsou za hranici smykové únosnosti prvku. Tečné (smykové) napětí je rozloženo po průřezu prvku.

Normálová napětí dosahují extrému v polích.



Fot. 4.4.3-1:
Pohled na
deformování pole
vaznice

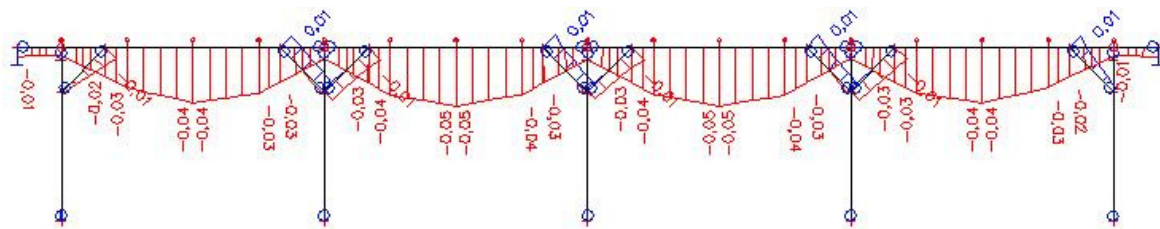
Obr. 4.4.3-6: sponkový spoj

38

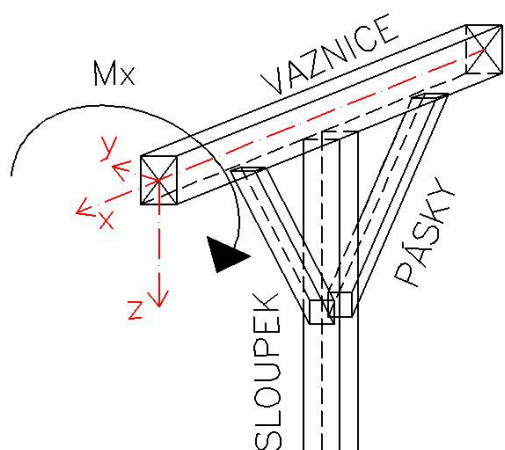
Důležitý prvek, který ovlivňuje vaznici jsou kroutící momenty M_x . Při výsledcích příčných vazeb byly jejich hodnoty zanedbatelné, nyní ale nabírají vysoké důležitosti.

Vaznice není dostatečně tuhá, aby odolávala kroutícím momentům vyvolávajícím velká smyková napětí.

DEFORMACE:



Obr. 4.4.3-10: Pootočení prutů fix, kombinace 2, char. hodnoty, extrém [rad]

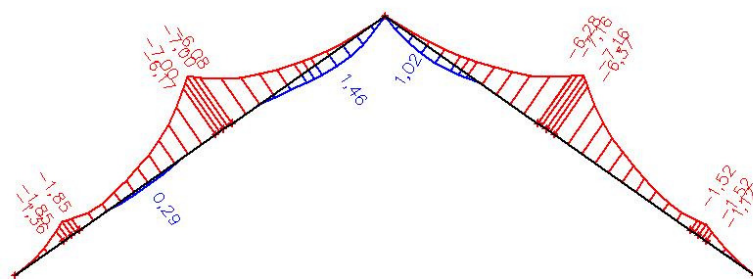


Obr. 4.4.3-11: Kroutící moment na vaznici Fot. 4.4.3-1: Zkroucená vaznice, porušený tesařský spoj kleštiny s krokví, porušen čepový spoj vaznice s páskem

4.5. MODEL č.2

4.5.1. POPIS

V tomto případě se vychází z předpokladu, že spojení kleštiny s krokví (Fot. 4.4.1-1) selhalo. Kleština je ukončena ve sloupku a tím se změnil celý roznos zatížení. Tento model se snaží zachytit dnešní podobu konstrukce a rozložení sil v ní.



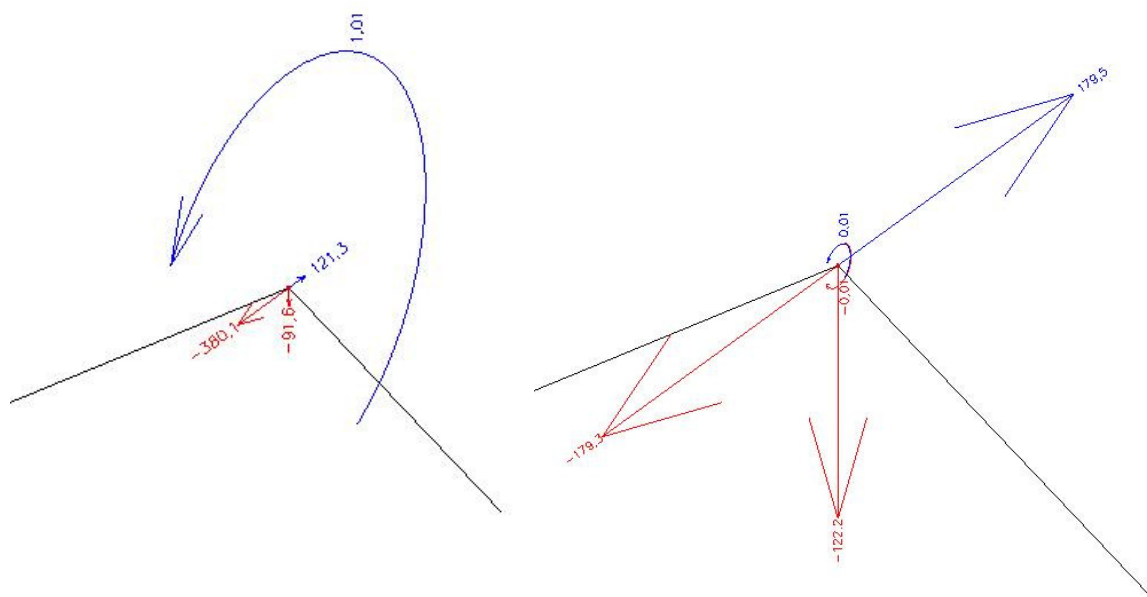
Obr. 4.5.2-3: Prázdná vazba, průběh momentů M_y , kombinace I, návrhové hodnoty, extrém [KNm]

Ostatní momenty jsou v prázdné vazbě téměř nulové, v plné vazbě se přibližují výsledkům modelu č.1.

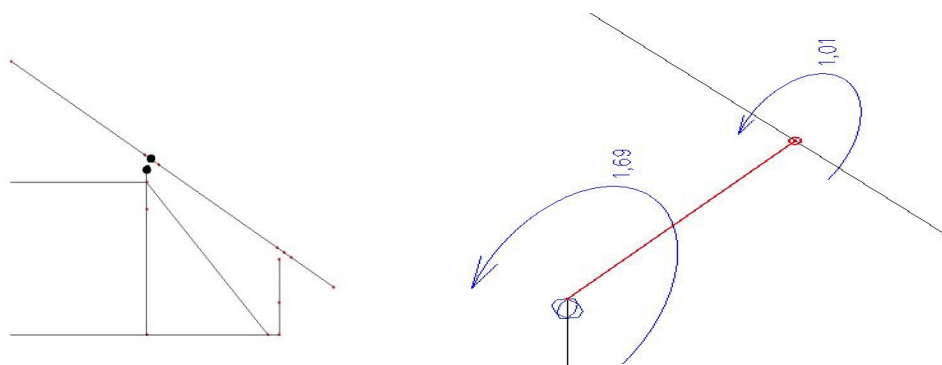
DEFORMACE:

Oproti původnímu modelu narostly deformace. Pootočení a posuny prvků dosahují extrémních hodnot. Porušení spojů sice snížilo napětí, ale vyvolalo přetvoření konstrukce, která se snaží dostat do stavu rovnováhy.

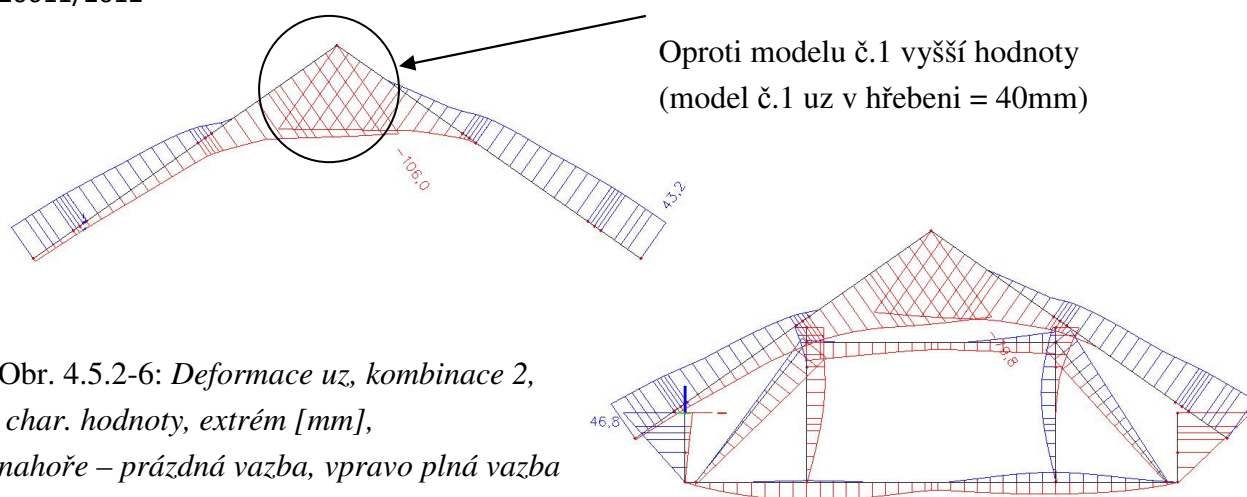
Významných hodnot nabírají uzlová pootočení. Maximum je v místě spojení sloupku s vaznicí 1,69 rad ! Maximální pootočení v modelu č. 1 bylo 0,085 rad.



Obr. 4.5.2-4: Přemístění uzlu v hřebeni, vlevo – plná vazba, vpravo – prázdná vazba



Obr. 4.5.2-5 : Pootočení uzlu fix v na konci sloupku a v osedlání

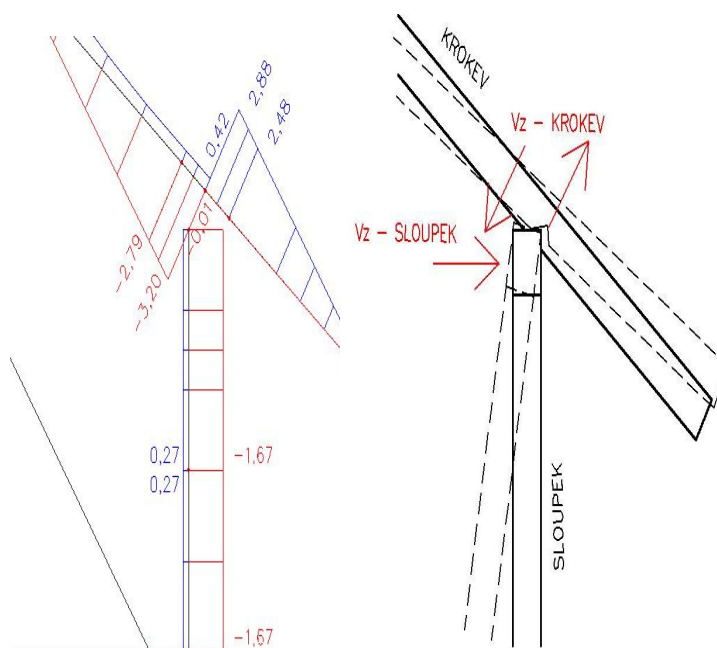


Obr. 4.5.2-6: Deformace uz, kombinace 2, char. hodnoty, extrém [mm], nahore – prázdná vazba, vpravo plná vazba

V některých uzlech došlo k nárůstu posunů až o 150 mm! Svislé deformace nejvíce zasáhly opět hřeben, který se prohne (Fot. 4.4.2-3). Podepření pozednice tvořené sloupky se vykloňuje ven Fot. 4.5.2-1.



Fot. 4.5.2-1: Vybočení sloupku ven



Obr. 4.5.2-7 Působení Vz

Vazný trám podepírá sloupky a přebírá veškeré zatížení. Vlivem lokálního přetížení narůstají pod sloupky ohybové momenty a deformace uz (obr. 4.5.2-6). Průhyby vazného trámu byly zohledněny již v rovinných modelech při zadávání pružných podpor. Při prostorovém modelování se sloupky vedou přímo do vazného trámu a spolu s ním se deformují.

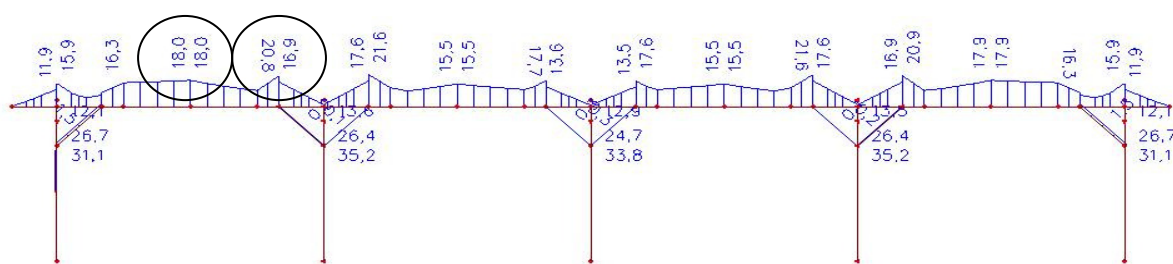
Z výpočtového modelu vycházejí průhyby ve vazném trámu v hodnotách kolem 20 mm, avšak jak jde vidět na Fot. 4.5.2-2, průhyby jsou daleko větší. Je to způsobeno výrazným přetěžováním skladovaným materiálem, což nebylo ve výpočtovém modelu zohledněno.



Fot. 4.5.2-2 : Průhyb vazného trámu

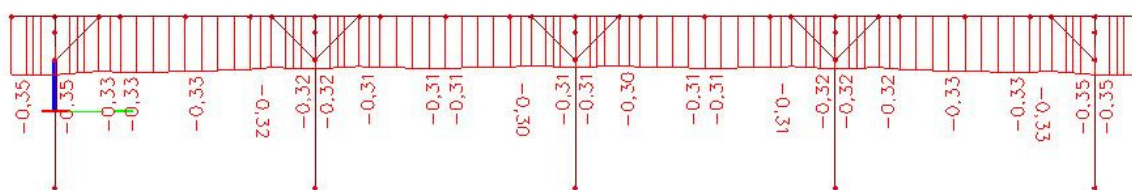
4.5.3. VÝSLEDKY: PODELNÁ VAZBA

PRŮBĚH NAPĚTÍ:



Obr. 4.5.3-1: Průběh normálového napětí(+), kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [MPa]

DEFORMACE:



Obr. 4.5.3-2: Pootočení prutů fix, kombinace 2, char. hodnoty, extrém [rad]

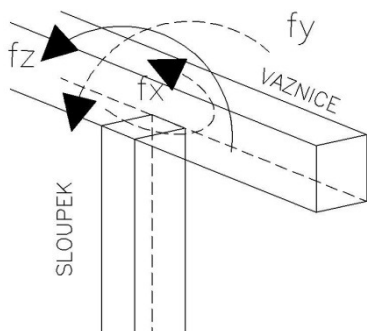
Zde jde vidět zkroucení vaznice nabývající hodnot až 0,3 rad! Tento model krásně vystihl přerozdělení sil a deformace při porušení funkce kleštiny. Ta během své životnosti zadržovala vodorovné síly a zajišťovala krokve proti rozjetí. Po překročení únosnosti spoje se zvýšila hodnota vodorovné síly, a ta zejména způsobila větší napětí v osedlání, nárůst průhybu v hřebeni a větší zkroucení vaznice.

4.6. MODEL č.3

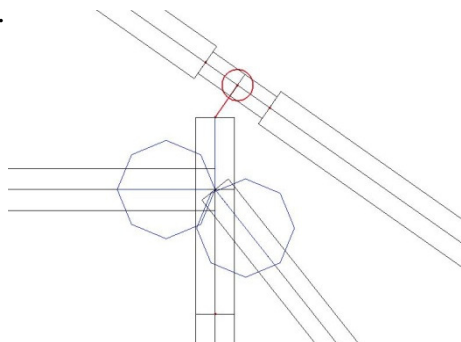
4.6.1. POPIS

Model č.3 byl konstruován s ohledem na omezení pootočení vaznice na sloupku. Doted' bylo umožněno vaznici se na sloupku pootáčet všemi směry, s výjimkou kolem lokální osy x sloupku (obr 4.2-3).

Nyní ale nastal případ, kdy chceme zabránit pootočení kolem osy y (4.6.1-1) a zůstane nám možnost otáčení vaznice kolem osy z.



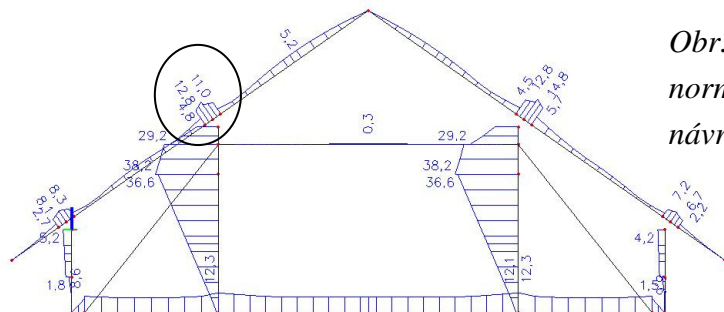
Obr. 4.6.1-1: Definování kloubu



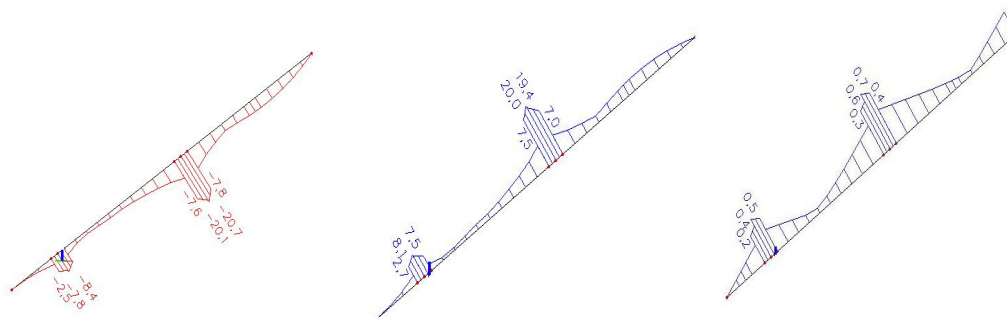
Obr. 4.6.1-2: Výpočtový model – detail ukončení sloupku

4.6.2. VÝSLEDKY: PŘÍČNÉ VAZBY PLNÉ A PRÁZDNÉ

PRŮBĚH NORMÁLOVÝCH NAPĚTÍ (+,-):



Obr. 4.6.2-1: Plná vazba: Průběh normálového napětí(+), kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [MPa]

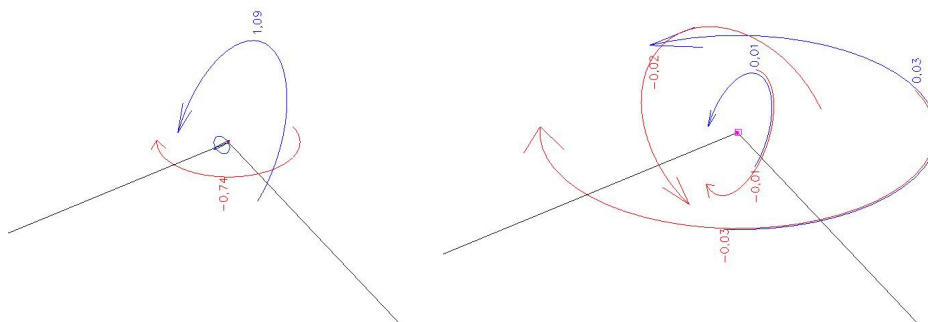


Obr. 4.6.2-2: Prázdná vazba: Průběh normálového napětí(-), průběh normálového napětí(+), průběh smykové napětí, kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [MPa]

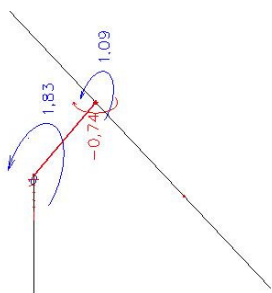
Tímto modelem bylo sníženo normálové napětí v osedlání při plných vazbách. Naopak v prázdných vazbách normálové napětí mírně vzrostlo a vyšší hodnoty se vyskytly i u smykového napětí zhruba o 0,5 MPa.

DEFORMACE:

Opět dochází k značným přemístěním uzlů, zejména pootočení v hřebeni a v místě uložení vaznice. Pootočení přesahují hodnotu 1 rad, což zdaleka přesahuje dovolené přetvoření. Je velmi zajímavé, že větší deformace nastávají v plné vazbě.

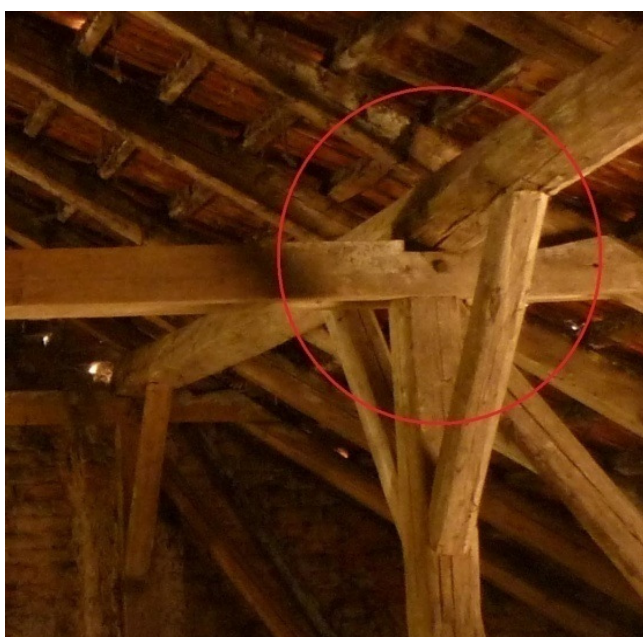


Obr. 4.6.2-3: Pootočení uzlu v hřebeni, vlevo – plná vazba, vpravo – prázdná vazba



Místo s pootočením 1,83 rad není z hlediska reálného pootočení na konstrukci možné. Ovšem lze předpokládat, že tento uzel je namáhán více než okolní spoje. Na konstrukci je toto místo zdeformováno a jeho původní statické působení se zcela změnilo. Fot. 4.6.2-1

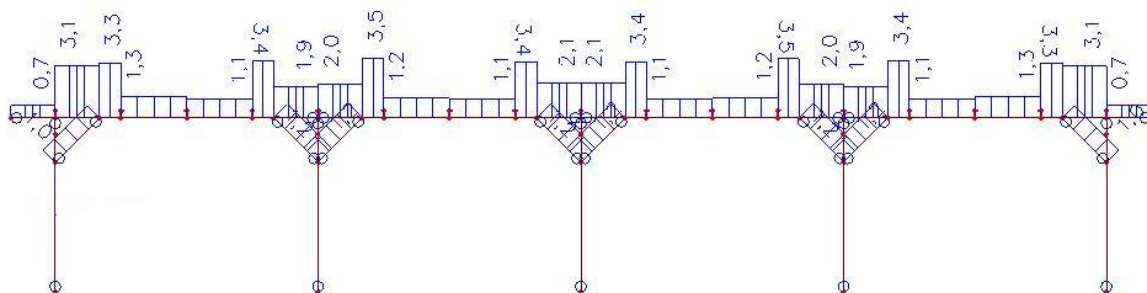
Obr. 4.6.2-4: Pootočení v osedlání
a na konci sloupku



Fot. 4.6.2-1: Pootočení uzlu konce

4.6.3. VÝSLEDKY: PODELNÁ VAZBÁ

PRŮBĚH NAPĚTÍ:



Obr. 4.6.3-1: Průběh smykového napětí, kombinace 1, návrhové hodnoty, extrém [MPa]

4.7. ZHODNOCENÍ

Modely měly vystihnout chování konstrukce při počátečním a současném stavu. Tedy Model č. 1 je původní konstrukce, model č. 2 a 3 je konstrukce po zdeformování. Výsledky prokázaly očekávané deformace a přetvoření, které je možno podložit fotodokumentací.

Kroucení vaznice, průhyby a porušení spojů, to vše je způsobeno špatným statickým řešením a velkým zatížením. Z výsledku je patrné, že prvky nejsou schopny přenášet tak velké vnitřní síly a nejsou schopny odolávat normálovým a smykovým napětím vyvolaným zatížením.

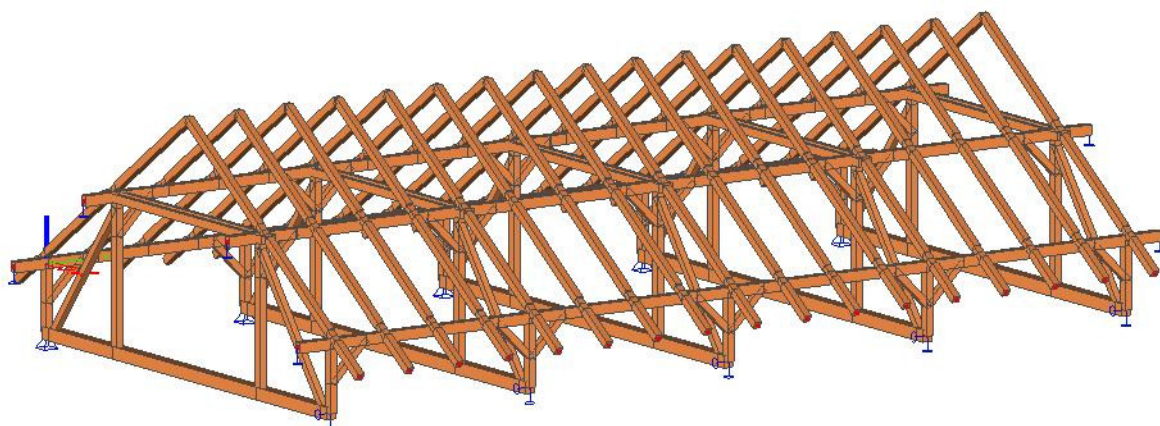
Kleština byla natolik namáhána ve spoji s krokví, že tam došlo k vytržení a vzdálení obou prvků. Samotný spoj byl řešen nedostatečně (*kapitola 6.*). Porušením spojení krokve s kleštinou se z modelu č. 1 stal model č.2.

Krov s nefunkční kleštinou není dostatečně ztužen v příčném směru. Výsledkem toho hodnoty vodorovných síl působících v konstrukci narostou a s tím i napětí v místě spoje krokve s vaznicí a osedlání řešené jako oslabený průřez se přetvoří na kloub. Tím vznikne nový statický systém, při kterém konstrukce nemůže vyhovovat!

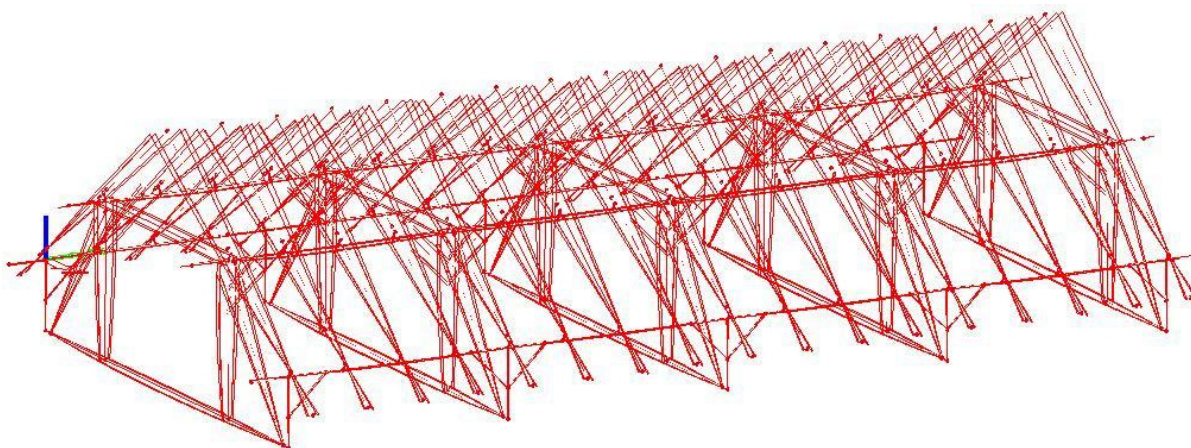
Vodorovné síly způsobily oddálení krokve tím porušení osedlání a vysunutí vaznice z čepového spoje s páskem. Smyková napětí ve vaznici dosahují v místech až 3 MPa (návrhová únosnost prvku ve smyku je 1,66 MPa)

Krokve nejsou dostatečně stabilní, vykazují posuny ve všech směrech, v hřebeni dokonce posuny až 200 mm v ose y.

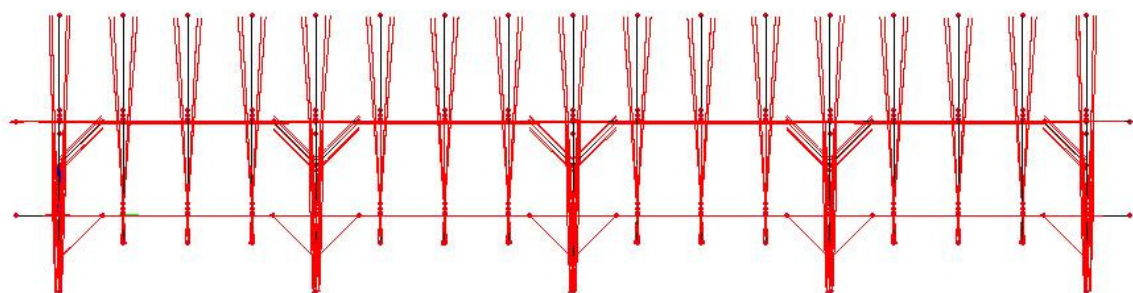
Celkově konstrukce přesáhla možnosti své únosnosti, spoje jsou porušeny a prvky nestabilní. Deformace jsou natolik rozsáhlé, že neumožňují opravu a konstrukce musí být zbourána.



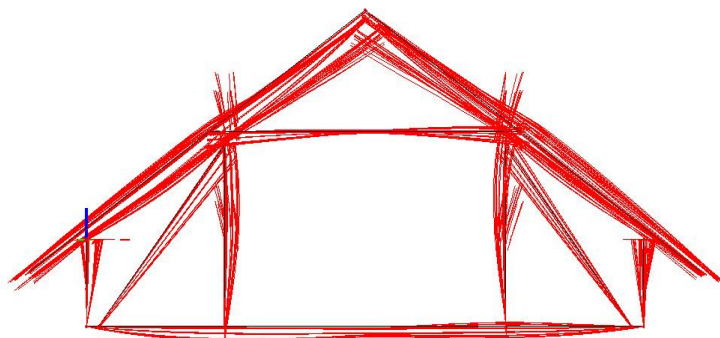
Obr. 4.7-1: 3D model střešní konstrukce



Obr. 4.7-2: 3D model PORUŠENÉ střešní konstrukce



Obr. 4.7-2: Porušená střešní konstrukce – pohled z boku



Obr. 4.7-2: Porušená střešní konstrukce – pohled na štít

5. ÚNOSNOSTI PRVKŮ

5.1. OBECNĚ

Dřevo jako stavební materiál je známo stovky let. Jeho materiálové charakteristiky byly podrobeny mnoha zatěžovacím zkouškám a z nich se vyvodily návrhové pevnostní charakteristiky *tab. 5-1*.

Dřevo má v různých směrech rozdílné vlastnosti. Výrazně se od sebe liší vlastnosti sledované rovnoběžně s vlákny a kolmo k vláknům:

- Rovnoběžně s vlákny - $f_{x, 0, k}$
- Kolmo na vlákna - $f_{x, 90, k}$
- Pod úhlem α - $f_{x, \alpha, k}$

Nejlepší parametry pevností a tuhostí má dřevo ve směru rovnoběžně s vlákny.

Třída pevnosti		C18	C22	C24	GL24h	GL28h	GL32h
pevnost v ohybu	$f_{m,k}$ [MPa]	18	22	24	24	28	32
pevnost v tahu	$f_{t,0,k}$ [MPa]	11	13	14	16,5	19,5	22,5
	$f_{t,90,k}$ [MPa]	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5
pevnost v tlaku	$f_{c,0,k}$ [MPa]	18	20	21	24	26,5	29
	$f_{c,90,k}$ [MPa]	4,8	5,1	5,3	2,7	3	3,3
pevnost ve smyku	$f_{v,k}$ [MPa]	2	2,4	2,5	3,5	3,5	3,5
modul pružnosti v tahu, tlaku	$E_{0,mean}$ [GPa]	9	10	11	11,6	12,6	13,7
	$E_{0,05}$ [GPa]	6	6,7	7,4	8,8	9,6	10,8
	$E_{90, mean}$ [GPa]	0,3	0,33	0,37	0,39	0,42	0,46
modul pružnosti ve smyku	G_{mean} [GPa]	0,56	0,63	0,69	0,72	0,78	0,85
hustota	ρ_k [kg/m ³]	320	340	350	380	410	430

Tab. 5-1: Materiálové vlastnosti rostlého a lepeného dřeva

Jako materiál pro výpočet únosnosti konstrukce v modelech bylo bráno dřevo C22 s charakteristickými hodnotami pevnosti dle *tab. 5-1*. Přepočet na návrhové hodnoty je v *tab. 5-2*. Posouzení únosnosti prvků viz *příloha.1*

$f_{m,d} = K_{mod} * f_{m,d} / \gamma_M = 0,9 * 22/1,3 = 15,231$ [MPa]
$f_{t,0,d} = K_{mod} * f_{t,0,d} / \gamma_M = 0,9 * 13/1,3 = 9,000$ [MPa]
$f_{t,90,d} = K_{mod} * f_{t,90,d} / \gamma_M = 0,9 * 0,3/1,3 = 0,208$ [MPa]
$f_{c,0,d} = K_{mod} * f_{c,0,d} / \gamma_M = 0,9 * 20/1,3 = 13,846$ [MPa]
$f_{c,90,d} = K_{mod} * f_{c,90,d} / \gamma_M = 0,9 * 5,1/1,3 = 3,531$ [MPa]
$f_{v,d} = K_{mod} * f_{v,d} / \gamma_M = 0,9 * 2,4/1,3 = 1,662$ [MPa]

Tab. 5-2: Návrhové materiálové charakteristiky dřeva C22

5.2. ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY NAMÁHÁNÍ

Pravidla platí pro prvky z rostlého nebo lepeného lamelového dřeva, které jsou namáhány tahem, tlakem, ohybem, smykem, kroucením a kombinací těchto jednotlivých dílčích namáhání. U štíhlých prvků se musí rovněž ověřovat podmínka stability.

- **Tah rovnoběžně s vlákny**

$$\text{Musí být splněna podmínka : } \sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (3)$$

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

- **Tah kolmo k vláknům**

$$\text{Musí být splněna podmínka : } \sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} \quad (4)$$

kde: $\sigma_{t,90,d}$ je návrhové napětí v tahu kolmo k vláknům
 $f_{t,90,d}$ je návrhová pevnost v tahu kolmo k vláknům

- **Tlak rovnoběžně s vlákny**

$$\text{Musí být splněna podmínka : } \sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (5)$$

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

(u štíhlých prutů se rovněž musí posoudit podmínka stability)

- **Tlak kolmo na vlákna**

$$\text{Musí být splněna podmínka : } \sigma_{c,90,d} \leq f_{c,90,d} \quad (6)$$

kde: $\sigma_{c,90,d}$ je návrhové napětí v tlaku kolmo na vlákna
 $f_{c,90,d}$ je návrhová pevnost v tlaku kolmo na vlákna

- **Smyk**

$$\text{Musí být splněna podmínka : } \tau_{v,d} \leq f_{v,d} \quad (7)$$

kde: $\tau_{v,d}$ je návrhové napětí v tlaku kolmo na vlákna
 $f_{v,d}$ je návrhová pevnost ve smyku

- **Kroucení**

Smykové napětí od kroucení musí splňovat : $\tau_{\text{tor,d}} \leq f_{v,d}$ (8)

kde: $\tau_{\text{tor,d}}$ je návrhové napětí smykové napětí od kroucení

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

- **Ohyb**

Musí být splněna podmínka : $K_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ (9)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + K_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (10)$$

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

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

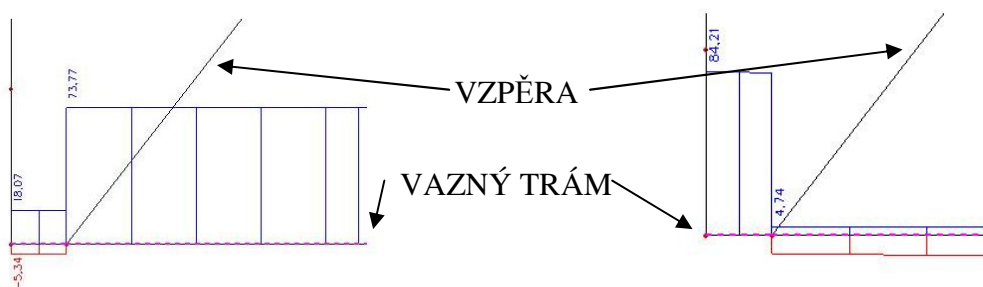
K_m je součinitel pro šikmý ohyb

- **KOMBINACE**

V konstrukci na pruty působí zároveň více druhů namáhání a únosnost prvku se musí stanovit z jejich kombinace. Pro získání výsledného namáhání se využívá principu superpozice dílčích případů. Tak tomu je vždy u pružného působení prvků. Je – li využívána plasticita, nebo jde – li o kombinaci obsahující stabilitní záležitosti, jsou přesné výpočty složité a nahrazují se jednoduchými, ale přibližnými interakčními formullemi.

Z výsledků na plné vazbě je možno vidět způsoby namáhání jednotlivých prvků, např.:

- Vazný trám je namáhán osovým tahem N rovnoběžně s vlákny, ohybem M_z , M_y a smykem od sil V_z v místě zapuštění vzpěry *obr. 5.2-1*. (lokálně namáháno tlakem pod úhlem α – síla se rozloží na tahovou N a posouvající V_z)
- Vzpěra je pouze tlačena rovnoběžně s vlákny

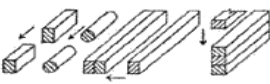
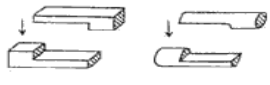
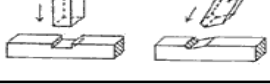
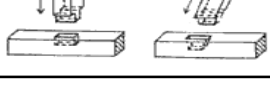
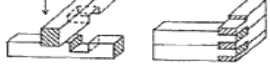
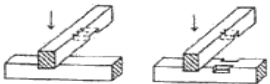


Obr. 5.2-1: Průběh vnitřních sil: vlevo – N , vpravo – V_z

6. SPOJE

6.1. OBECNĚ

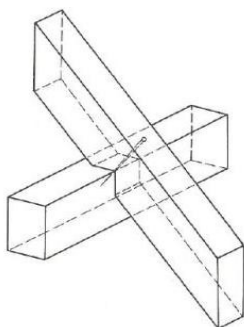
Na konstrukci se vyskytují základní tesařské spoje, spoje s kolíky a spoje s opáskováním. Tesařské spoje patří mezi nejstarší spoje dřevěných konstrukcí. Vyžadují kvalifikované provedení, jsou pracné a velkou jejich nevýhodou je, že oslabují konstrukční prvky. Proto se dnes nahrazují spoji provedenými pomocí ocelových prvků.

Tabulka základních tesařských spojů		
Název	zobrazení	popis
Sraz		Spojované prvky se k sobě přiloží buď čely nebo podélnými plochami.
Plátování		Spojované prvky se stýkají částí čel i podélných ploch (tzv. plátem).
Lípnutí		Spojované prvky se k sobě přiloží čelem na podélnou plochou.
Zapuštění		Čelo jednoho prvku se osadí do zářezu druhého prvku.
Čepování		V jednom prvku se vytvoří na konci čep a v druhém <u>dlab</u> .
Přeplátování		Oba prvky jsou po celé délce spoje vyříznuty. Hloubka přeplátování se rovná součtu hloubek zářezů.
Kampování		Vybrání v jednom prvku odpovídá výstupku v druhém prvku a hloubka kampování se rovná hloubce jednoho vybrání.

Tab. 6.1-1: Přehled základních tesařských spojů [9]

6.2. OSEDLÁNÍ

Osedlání – tesařský spoj mezi krokví a vaznicí.

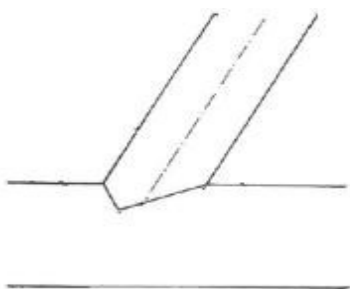


Obr. 6.2-1: Osedlání a zpevnění hřebíkem

Fot. 6.2-2: porušený spoj osedlání na konstrukci

6.3. ZAPUŠTĚNÍ

Zapuštění je typický spoj při tlakovém namáhání. Například sloupky, vzpěry, pásy.



Obr. 6.3-1: Zapuštění vzpěry
do vazného trámu

Spoj vzpěry a vazného trámu řešen v příloze.2 .

Zapuštění vzpěry nevyhoví na tlakovou normálovou sílu $N = -115,2 \text{ KN}$. Posouvající síly a ohybový moment prut nezatěžují.

Posouzení na OTALČENÍ (tlak pod úhlem α):

$$f_{c, \alpha, d} > \sigma_{c, \alpha, d}$$

$$7,1 < 10,4 \text{ [MPa]} \text{ NEVYHOVÍ}$$

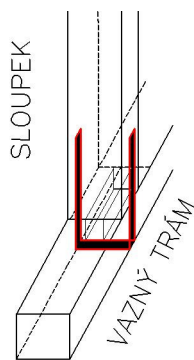
Posouzení na USMYKNUTÍ (smyk τ):

$$f_{v, d} > \tau_{v, d}$$

$$1,66 > 1,45 \text{ [MPa]} \text{ VYHOVÍ}$$

6.4. OCELOVÝ PÁSEK

Uplatní se v místech tažených prvků. Například sloupek je na konstrukci vlivem vzpěr a pásků tažen. Dostatečné spojení s vazným trámem je zajištěno opáskováním ocelovými podkovami.



Obr. 6.4-1: Náčrt zajištění sloupku



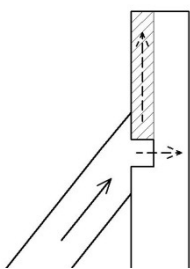
Fot. 6.4-2: Pohled zespod vazného trámu

Podkovovitý pásek je ve sloupku spojen svorníkem Fot. 6.4-3

6.5. ČEPOVÁNÍ

Je to jeden z nejčastějších spojů na konstrukci. Čepovány mohou být veškeré tlačené prvky.(vzpěry, sloupky, pásy,...)

V konstrukci byl řešen spoj čepování vzpěry do sloupku.



*Obr. 6.5-1: Rozložení sil
při čepování*

*Fot. 6.5-1: Porušený
čepový spoj pásek - vaznice*

Při posouzení čepového spoje byly hodnoty nevyhovující na únosnost.

Usmyknutí zhlaví (smyk τ):

$$f_{v,d} > \tau_{v,d}$$

$$1,66 < 2,3 \text{ [MPa] NEVYHOVÍ}$$

Usmyknutí čepu (smyk τ):

$$f_{v,d} > \tau_{v,d}$$

$$0,95 < 14,7 \text{ [MPa] NEVYHOVÍ}$$

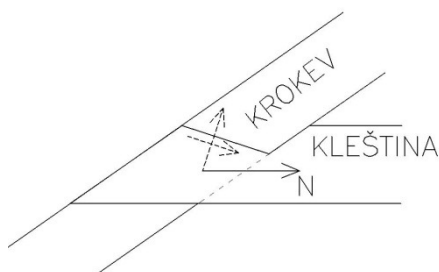
Posouzení na OTALČENÍ (tlak pod úhlem α):

$$f_{c,\alpha,d} > \sigma_{c,\alpha,d}$$

$$3,53 < 9,8 \text{ [MPa] NEVYHOVÍ}$$

6.6. RYBINOVÝ TESAŘSKÝ SPOJ

Dnes už se používá jen výjimečně. Již malé tahové síly vedou k velkým deformacím.



Obr. 6.6-1: Roznos sil rybinou

V konstrukci je rybinový spoj zajištěn kolíky, v některých případech pouze hřebíky. Výpočet byl proveden pro rybinový spoj do tloušťky 30 mm, ačkoli v některých případech nebyl zářez zdaleka ani 20 mm. Přenos tahové síly v kleštině 68,26 kN je nad síly tohoto spoje.

Napětí v rybině : $\sigma_{t,0,d} = 71,9 \text{ MPa !!}$

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

$$71,9 > 9,0 \text{ [MPa] NEVYHOVÍ}$$

Je to způsobeno velkým rozdílem mezi normálovou vodorovnou silou, a plochou kleštiny vzdorující normálovému napětí. Spoj není schopen udržet krokev s kleštinou pohromadě a zajistit přenos sil.

V druhém případě se uvažuje se spolupůsobením svorníku M12 (předpoklad, že kdysi byly ve spoji funkční kolíky)



Fot. 6.6-1: Kleština „ujela“ od krokve vlivem tahových napětí

Na Fot. 6.6-1 jde vidět, že hloubka zářezu rybinového spoje je kolem 20mm. Hřebík ve spoji zvýší únosnost spoje minimálně! Takto řešené spojení kleštiny s krokví je naprosto nevyhovující.

6.7. SVORNÍKOVÝ SPOJ

Svorník je kolíkový spojovací prostředek oceli a je opatřen hlavou a maticí. Svorníky se osazují do předvrtaných otvorů a potom se utahují takovým způsobem, aby dřevěné prvky byly v těsném kontaktu.

Při výpočtu spoje kleštiny s krokví se uvažoval svorník M12 s pevností materiálu $f_{uk}=500\text{MPa}$. Tahy v místě spoje jsou ale natolik velké že ani svorník M12, nebo oba spoje (rybinový se svorníkem) nedokážou udržet kleštinu u krokve.

Únosnost dvojstřížného svorníku M12 : $F_{v,k} > R$ (tahová síla)
 $11,24 < 69,2 \text{ [KN]}$
NEVYHOVÍ

Spoj nevydrží ani se svorníkem M30 s pevností $f_{uk}=500\text{MPa}$

$F_{v,k} > R$ (tahová síla)
 $38,35 < 69,2 \text{ [KN]}$
NEVYHOVÍ



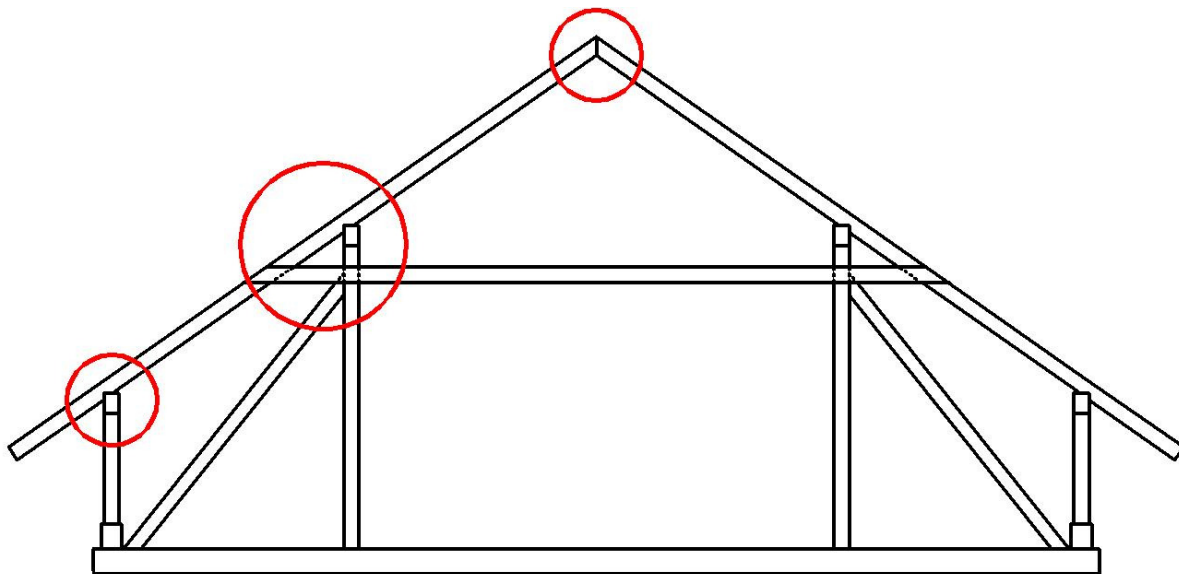
Hřebík (spoj krokv kleština)

Kolík (spoj sloupek kleština)

Fot.. 6.7-1: Pohled na spojení kleštiny s krokví a kleštiny se sloupkem

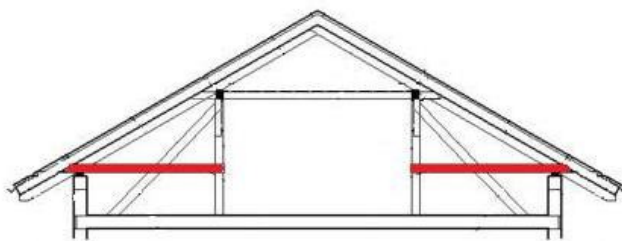
7. NÁVRH ZPEVNĚNÍ KROVU

V patě krovu jsou nezachycené vodorovné síly, které vyvolají v kleštině tah. Tím se zvýší napětí ve spoji s krokví, který se tahovou silou poruší. Celkově se začne celá konstrukce deformovat. Poruchy se vyskytují ve všech prvcích v konstrukci, včetně spojů. Na *obr. 7-1* jsou vyznačeny místa nejčastějších poruch dřevěných konstrukcí krovů – v místě hřebenu střechy, v místě vaznic a pozednic.

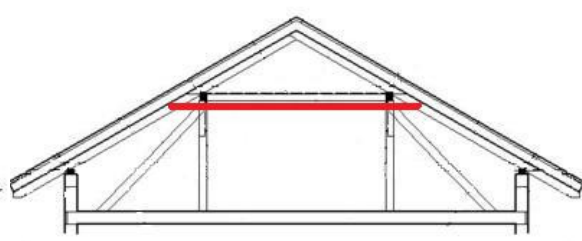


Obr. 7-1: Místa s nejčastějším výskytem poruch

Pro stabilizaci konstrukce a snížení deformací je nutné zachytit vodorovné síly. Toho lze docílit zpevněním příčné vazby. Buď do konstrukce vložíme přídatné kleštiny dle *obr. 7-2*, nebo dle *obr. 7-3*. popřípadě obojí.



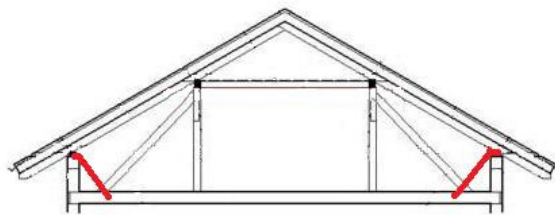
Obr. 7-2: Vložení kleštiny



Obr. 7-3: Vložení jedné kleštiny

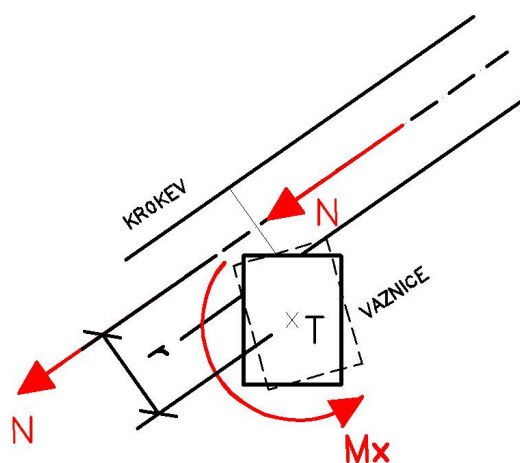
Jinou variantou, by mohlo být kotvení vodorovné síly přímo do vazného trámu. *Obr. 8-4*. Tím by byly zachyceny vodorovné síly, avšak ve vazném trámu by to vyvolalo zvýšení normálových tahových sil. U všech navržených možností zpevnění stodoly je nutné kvalitní a přesné provedení spojů.

V zásadě jde o to, uzavřít systém jako trojúhelník navrhnutím příčného vodorovného prvku (kleštiny) nebo kotvením do vazného trámu.



Obr. 7-4: Kotvení vod.síly do vazného trámu

Těmito možnostmi zpevnění se sníží namáhání nosných prvků. Normálové sílyb v krokvi, ovlivňují kroucení vaznice. Ta je v místě osedlání namáhána kroučícím momentem vlivem působící síly v krokvi na rameni r obr. 7-5. Zpevněním je sníženo normálové napětí v krokvi a kroučící moment M_x se zmenší.



Obr. 7-5: Kroucení vaznice

8. ZÁVĚR

Výpočtové modely prokázaly nadměrné zatížení nosných prvků střechy stodoly. V konstrukci jsou porušeny spoje a tím není zabezpečen přenos sil mezi prvky. Zejména nejsou zachyceny vodorovné síly a ty následně deformují celou stavbu stodoly. Jsou viditelné posuny vaznic a krokví, průhyby vazných trámů, zkroucení vaznic a porušení nedostatečně provedených spojů. Konstrukce nevyhoví na únosnost ani použitelnost. Je doporučeno stodolu zbourat.

KNIŽNÍ PUBLIKACE

- [1] BAŽANT, Zdeněk a Ladislav KLUSÁČEK. *Statika při rekonstrukcích objektů*. Brno: CERM, 2002, 87 s. ISBN 80-214-2058-8.
- [2] GERNER, Manfred. *Tesařské spoje*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003, 220 s. ISBN 80-247-0076-X.
- [3] KADLČÁK, Jaroslav a Jiří KYTÝR. *Statika stavebních konstrukcí: základy stavební mechaniky, staticky určené prutové konstrukce*. 3. vyd. Brno: VUTUM, 2010, 349 s. ISBN 978-80-214-3419-6.
- [4] KADLČÁK, Jaroslav a Jiří KYTÝR. *Statika stavebních konstrukcí: Staticky neurčené prutové konstrukce*. 1. vyd. Brno: VUTUM, 2001, 349 s. ISBN 80-214-1648-3.
- [5] 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.
- [6] KRÁL, Jaromír. *Navrhování konstrukcí na zatížení větrem: příručka k ČSN EN 1991-1-4*. 1. vyd. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010, 112 s. Technická knihnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87438-05-3.
- [7] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Vyd. 1. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005, 188 s. ISBN 80-010-3310-4.
- [8] KUKLÍK, Petr a Jiří STUDNÍČKA. *Dřevěné a kovové konstrukce: pro SPŠ stavební*. Vyd. 1. Praha: Informatorium, 2006, 187 s. ISBN 80-733-3047-4.
- [9] KUKLÍK, Petr. *Navrhování dřevěných konstrukcí*. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 1997, 188 s. ISBN 80-860-4719-9.
- [10] VINAŘ, Jan. *Historické krovy: typologie, průzkum, opravy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 448 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3038-7.

NORMY

- [11] ČSN EN 1991-1-1; Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: ČNI, 2010.
- [12] ČSN EN 1991-1-4; Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - zatížení větrem*. Praha: ČNI, 2010.
- [13] ČSN EN 1991-1-3; Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení – zatížení sněhem*. Praha: ČNI, 2010.
- [14] ČSN EN 1995-1-1; Eurokód 5: *Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla – společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ČNI, 2010.
- [15] ČSN EN 1990; Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: ČNI, 2010.

WEBOVÉ STRÁNKY

- [16] TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov. [online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/>

POUŽITÉ ZKRATKY

b	šířka průřezu prvku
h	výšky průřezu prvku
ω	pružná konstanta
δ	průhyb
I_{osl}	moment setrvačnosti oslabeného průřezu
I	moment setrvačnosti
E	modul pružnosti v tahu a tlaku
G	modul pružnosti ve smyku
q	zatížení
M_y	ohybový moment k ose y
M_z	ohybový moment k ose x
M_x	kroutící moment
V_z	posouvající síla v ose z
V_y	posouvající síla v ose y
N	normálová síla
φ_x	pootočení kolem osy x
φ_y	pootočení kolem osy y
φ_z	pootočení kolem osy z
u_x	posun ve směru osy x
u_z	posun ve směru osy z
u_y	posun ve směru osy y
ε	poměrná tahová/tlaková deformace
γ	poměrná smyková deformace
f_{uk}	charakteristická pevnost materiálu

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.2-2: Profily prvků na konstrukci

Tab. 4.3-1: Vztahy mezi napětím a deformací

Tab. 5-1: Materiálové vlastnosti rostlého a lepeného dřeva

Tab. 5-2: Návrhové materiálové charakteristiky dřeva C22

Tab. 6.1-1: Přehled základních tesařských spojů [9]

SEZNAM FOTOGRAFIÍ

Fot. 4.4.1-1: Spoj kleštiny s krokví

Fot. 4.4.2-1 : Zkroucená vaznice

Fot. 4.4.2-2 : Zkroucená vaznice - 2

Fot. 4.4.2-3: Prohnutí hřebene

Fot. 4.4.3-1: Pohled na deformování pole vaznice

Fot. 4.4.3-1: Zkroucená vaznice, porušený tesařský spoj kleštiny s krokví, porušen čepový spoj vaznice s páskem

Fot. 4.5.2-1: Vybočení sloupku ven

Fot. 4.5.2-2 : Průhyb vazného trámu

Fot. 4.6.2-1: Pootočení uzlu konce

Fot. 6.2-2: porušený spoj osedlání na konstrukci

Fot. 6.4-2: Pohled zespod vazného trámu

Fot. 6.5-1: Porušený čepový spoj pásek - vaznice

Fot. 6.6-1: Kleština „ujela“ od krokve vlivem tahových napětí

Fot. 6.7-1: Pohled na spojení kleštiny s krokví a kleštiny se sloupkem