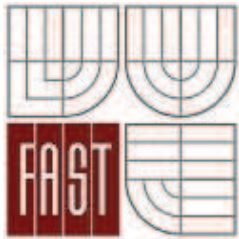


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

## NÁVRH A POSOUZENÍ DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JIŘÍ KONČÁK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. ROSTISLAV ZÍDEK, Ph.D.

BRNO 2012



## ABSTRAKT:

Tématem bakalářské práce je dřevěná nosná konstrukce netradičního rodinného domu ve tvaru jehlanu. Jsou vytvořeny rovinné a prostorové modely jednotlivých částí a celkový prostorový model. Práce se soustřeďuje zejména na modelování spojů dřevěných prvků, okrajových podmínek a celkovou správnost statického modelu. Statické modely jsou doplněny posouzením jednotlivých prvků a některých spojů a srovnáním rovinných modelů s modelem prostorovým.

## ABSTRACT:

Subject of my bachelor's thesis is bearing construction from wood of untraditional family house in shape of pyramid. 2D and 3D models of single parts and global model of whole construction are created. This work aim on models of joint of wooden parts, boundary conditions and global function of static model. Models are enhanced by analysis of single parts and some joints and comparasion of planar models with global model.

## KLÍČOVÁ SLOVA:

Dřevěná konstrukce, rovinný model, prostorový model, prutová konstrukce, posouzení dřevěných prvků, spoje dřevěných prvků

## KEYWORDS:

Wooden construction, plane model, global model, member construction, analysis of wooden elements

KONČÁK, Jiří. *Návrh a posouzení dřevěné nosné konstrukce*. Brno, 2012. 76 s., 159 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce Ing. Rostislav Zídek, Ph.D..



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 25. 5. 2012

.....

## PODĚKOVÁNÍ:

Děkuji vedoucímu práce Ing. Rostislavu Zídkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odborné vedení bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za to, že mi studium umožnila a také mě v něm podporovala.

## Obsah

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | ÚVOD .....   | 10 |
| 2     | SEZNÁMENÍ S KONSTRUKCÍ .....                                 | 11 |
| 2.1   | Popis konstrukčního systému.....                             | 11 |
| 3     | TEORETICKÝ POPIS POUŽITÝCH PRVKŮ .....                       | 12 |
| 3.1   | Prut v rovině.....   | 12 |
| 3.2   | Prut v prostoru .....  | 13 |
| 3.3   | Návrh a posouzení ohýbaných nosníků v pružném oboru .....    | 14 |
| 4     | GEOMETRIE A POPIS JEDNOTLIVÝCH SOUČÁSTÍ.....                 | 15 |
| 4.1   | Rozdělení konstrukce.....                                    | 15 |
| 4.2   | Sloupy .....   | 18 |
| 4.3   | Kleštiny (průvlaky) spodní .....                             | 19 |
| 4.4   | Kleštiny (průvlaky) horní.....                               | 19 |
| 4.5   | Kleštiny (průvlaky) vysoké.....                              | 20 |
| 4.6   | Vaznice .....  | 20 |
| 4.7   | Krokve .....   | 21 |
| 4.8   | Nárožní krokve .....   | 21 |
| 4.9   | Pozednice .....  | 22 |
| 5     | MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA .....                            | 22 |
| 5.1   | Charakteristické a návrhové hodnoty dřeva.....               | 23 |
| 5.2   | Dotvarování .....  | 24 |
| 6     | OKRAJOVÉ PODMÍNKY.....                                       | 24 |
| 6.1   | Okrajové podmínky rovinných modelů .....                     | 24 |
| 6.1.1 | Okrajové podmínky modelu krokve .....                        | 24 |
| 6.1.2 | Okrajové podmínky modelu rovinného rámu .....                | 25 |
| 6.2   | Okrajové podmínky prostorových modelů .....                  | 27 |
| 6.2.1 | Okrajové podmínky prostorového modelu střešního pláště ..... | 27 |
| 6.2.2 | Okrajové podmínky prostorového modelu celé konstrukce .....  | 29 |
| 7     | ZATÍŽENÍ .....   | 32 |
| 7.1   | Stálé zatížení .....   | 32 |
| 7.1.1 | ZS1- Vlastní tíha .....                                      | 32 |
| 7.1.2 | ZS2- Ostatní stálé zatížení- vnitřní .....                   | 32 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 7.1.3   | ZS3-Zatížení příčkami .....                                    | 33 |
| 7.1.4   | ZS4- Ostatní stálé zatížení- střešní plášť .....               | 34 |
| 7.2     | Nahodilé užité zatížení.....                                   | 34 |
| 7.2.1   | ZS5- Nahodilé užité vnitřní plné zatížení.....                 | 35 |
| 7.2.2   | ZS6- Nahodilé užité vnitřní šach 1 .....                       | 35 |
| 7.2.3   | ZS7- Nahodilé užité vnitřní šach 2 .....                       | 36 |
| 7.3     | Zatížení sněhem .....  | 36 |
| 7.3.1   | ZS8 – Sníh 1 .....   | 36 |
| 7.3.2   | ZS9 – Sníh 2 .....   | 37 |
| 7.3.3   | ZS10 – Sníh 3 .....  | 38 |
| 7.3.4   | ZS11 – Sníh 4 .....  | 38 |
| 7.3.5   | ZS12 – Sníh 5 .....  | 39 |
| 7.3.6   | ZS13 – Sníh 6 .....  | 39 |
| 7.3.7   | ZS14 – Sníh 7 .....  | 40 |
| 7.4     | Zatížení větrem .....  | 40 |
| 7.4.1   | ZS15 – Vítř 1 .....  | 42 |
| 7.4.2   | ZS16 – Vítř 2 .....  | 42 |
| 7.4.3   | ZS17 – Vítř 3 .....  | 43 |
| 7.4.4   | ZS18 – Vítř 4 .....  | 43 |
| 8       | MODELÝ .....   | 43 |
| 8.1     | Rovinný model krokve.....                                      | 44 |
| 8.2     | Rámový rovinný model .....                                     | 46 |
| 8.2.1   | Pokusný model.....   | 47 |
| 8.2.2   | Rámový model.....  | 49 |
| 8.3     | Prostorový model střešního pláště .....                        | 51 |
| 8.4     | Prostorový model celkové konstrukce .....                      | 54 |
| 8.4.1   | Změny na prostorovém modelu oproti předchozímu modelování..... | 57 |
| 8.4.1.1 | Změna uložení prutů a průřezů.....                             | 57 |
| 8.4.1.2 | Změna materiálu vybraných sloupů .....                         | 61 |
| 9       | POSOUZENÍ JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ .....                             | 62 |
| 10      | SPOJE .....  | 62 |
| 10.1    | Spoj sloupu .....  | 62 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 10.2 | Přípoj průvlaku ke sloupu .....                             | 63 |
| 10.3 | Spoj krokve s pozednicí a pozednice k pozednímu věnci ..... | 64 |
| 10.4 | Spoj krokve s vaznicí a osazení vaznice na sloup .....      | 65 |
| 10.5 | Spoj krokve s nárožní krokví .....                          | 66 |
| 11   | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....                               | 70 |
| 11.1 | Seznam obrázků: .....                                       | 71 |
| 12   | SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....                    | 74 |
| 13   | SEZNAM PŘÍLOH.....  | 76 |
| 13.1 | Výpočty zatížení .....                                      | 76 |
| 13.2 | Posudky prvků .....   | 76 |
| 13.3 | Posudky spojů .....   | 76 |
| 14   | PŘÍLOHY .....   | 76 |

# 1 ÚVOD

Prvky moderní architektury pronikají i do výstavby rodinných domů, proto se čím dál častěji můžeme setkat s netradičně pojatými koncepcemi jejich tvaru. Předmětem mé bakalářské práce je návrh a posouzení netradiční dřevěné konstrukce rodinného domu. Objekt jsem umístil do obce Rusava v okrese Kroměříž v nadmořské výšce do 1000 m. n. m. Dům je řešen ve tvaru pyramidy, tzn. má tvar jehlanu se čtvercovou základnou.

Konstrukce je složena z prutových prvků. Vertikálními prvky jsou dřevěné sloupy, ve vodorovném směru jsou ve dvou rovinách v každém patře stropní průvlaky, které zároveň působí jako kleštiny a přenáší vodorovné síly vyvozené krovem. Podporami krovu jsou spojitě vaznice. Opláštění domu tvoří rovina střešní krytiny podporovaná krokviemi v plochách a nárožními krokviemi. Sklon rovin střešního pláště je  $55^\circ$ .

Stavba se skládá ze 4 podlaží. Jedno je podzemní pod základnou pyramidové konstrukce a další poschodí se nachází v prostoru pyramidy. Spodní 3 podlaží jsou uvažována jako obytná a nejvýše položené podlaží nacházející se ve vrcholu pyramidy je uvažováno jako neobytné z důvodu nesplnění požadavků na obytnou místnost.

V této práci jsem se zaměřil na návrh a posouzení jednotlivých prvků konstrukce a k nim patřícím přípojům. Naznačím postupný vývoj modelu a to od modelu rovinného prvku přes rovinný rámový model až po prostorovou prutovou konstrukci.

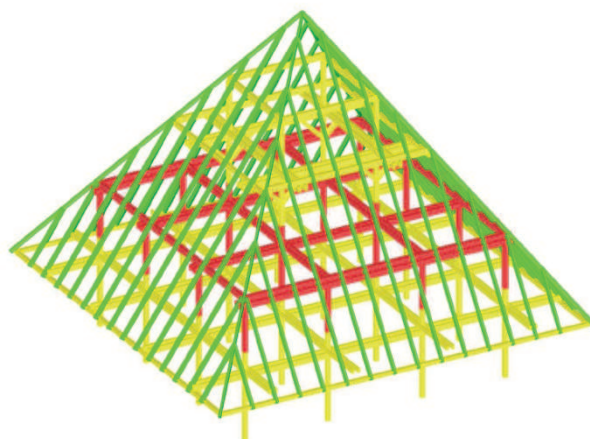
## 2 SEZNÁMENÍ S KONSTRUKCÍ

### 2.1 Popis konstrukčního systému

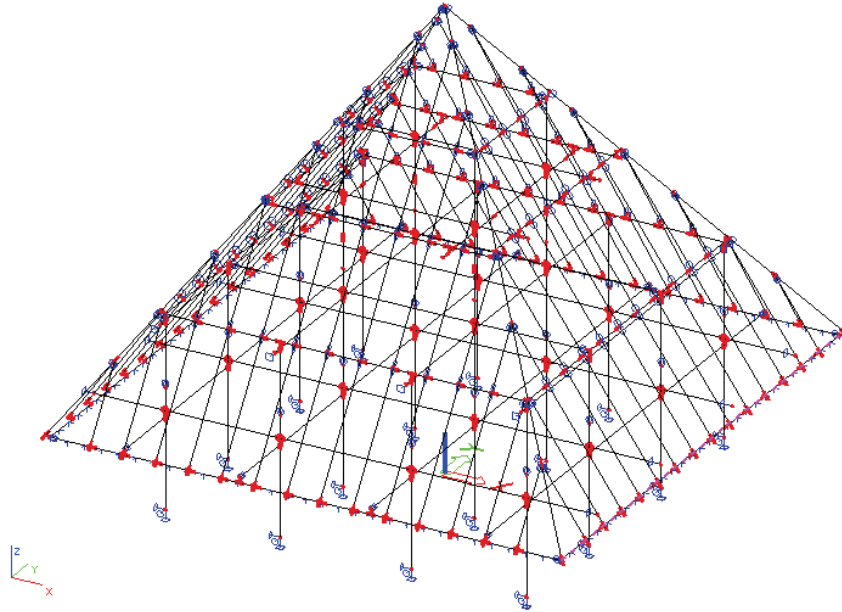
Půdorysný průmět domu je čtverec o délce strany 16,3 m. Tvar střechy je valbový se sklonem rovin pod úhlem 55°. Sloupy dřevěné nosné konstrukce jsou uloženy na samostatné základové patky (není obsahem bakalářské práce) a to kloubově. Pozednice jsou uloženy na pozední věnce, které jsou součástí železobetonových obvodových stěn (není obsahem bakalářské práce). Nosnými prvky konstrukce jsou sloupy probíhající po celé výšce objektu a končí pod úrovní vaznic v jednotlivých podlažích. Jako hlavní vodorovné průvlaky jsou použity kleštiny a to ty, které jsou v daném podlaží níže položeny. Tyto kleštiny zajišťují přenesení vodorovných sil z konstrukce krovu. Sloupy jsou umístěny po 3,5 m, nebo 4 m vodorovné osové vzdálenosti v obou směrech symetricky. Kleštiny v nižší poloze v jednotlivých podlažích jsou navrženy jako spojitě nosníky. Kleštiny ve vyšší poloze v jednotlivých podlažích plní funkci přenosu vodorovných sil a také slouží jako stropnice. Nejsou tolik namáhány, jako nižší vrstva a proto mohou mít menší dimenzi. Kleštiny působí také jako spojitě nosníky.

Vaznice jsou kloubově osazeny na sloupech, nebo na konzolovitě vysunutých kleštinách obou úrovní a působí jako spojitý nosník.

Krokve jsou vymodelovány jako prosté nosníky mezi jednotlivými vrstvami vaznic, na které jsou kloubově připojeny.



**Obrázek 1.** Axonometrické zobrazení prostorového prutového modelu



**Obrázek 2.** Axonometrické zobrazení výpočtového modelu prostorového prutového modelu

Příčné ztužení konstrukce je dáno jejím tvarem. Pyramida se skládá ze soustavy trojúhelníků.

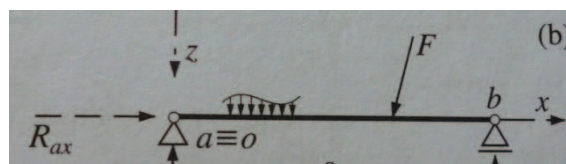
### 3 TEORETICKÝ POPIS POUŽITÝCH PRVKŮ

#### 3.1 Prut v rovině

Konstrukce se skládá z nejjednodušších konstrukčních prvků a to prutů. Pruty jsou prvky, u kterých převládá délkový rozměr nad rozměry příčnými. Prutové prvky lze dále dělit dle různých hledisek.

Podle polohy střednice a zatížení dělíme na pruty rovinné a prostorové. Rovinné pruty se vyskytují u rovinných modelů, pruty prostorové u modelů prostorových. Všechny pruty použité na modelech jsou střednicové s přímou střednicí.

Rovinné pruty mají 3 stupně volnosti v každém uzlu, a to posuny v rámci roviny a pootočení v rovině.



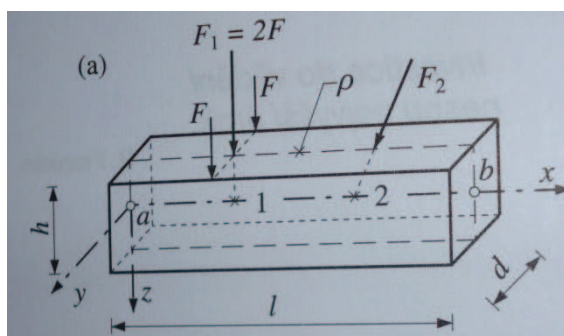
**Obrázek 3.** Prostý nosník kloubově uložený (6)

Podmínky rovnováhy na rovinném prostém nosníku (obrázek 3.):

$$-\sum F_{ix} = 0 \quad R_{ax}$$

$$-\sum M_{ia} = 0 \quad R_b$$

$$-\sum M_{ib} = 0 \quad R_a$$



**Obrázek 4.** Střednicový prut s přímou střednicí (6)

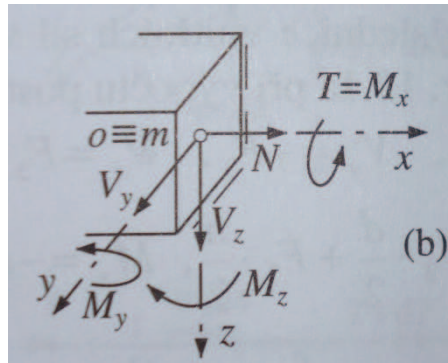
Výpočtový model každého rovinného prutu je tvořen střednicí, průřezovými charakteristikami, materiálovými charakteristikami a idealizovanými vnějšími vazbami a zatížením. Nosníkům přisuzujeme geometrické charakteristiky, jako jsou průřezová plocha a momenty setrvačnosti, a také fyzikální vlastnosti materiálu nosníku jakou jsou modul pružnosti v tahu, tlaku  $E$  a smyku  $G$ . Každý nosník má svoji souřadnou soustavu  $x, y$ . Tato soustava se může od globální soustavy lišit svým natočením v rámci roviny.

### **3.2 Prut v prostoru**

Prostorové pruty mají 6 stupňů volnosti v každém uzlu, tři stupně volnosti v posunech a tři stupně volnosti v pootočeních v rámci prostoru. Složky reakcí vnějších vazeb na nosníku řešíme ze šesti podmínek rovnováhy.

Složky vnitřních sil:  $N, V_y, V_z, T = M_x, M_y, M_z$

Každý nosník má svoji souřadnou soustavu  $x, y, z$ . Tato soustava se může od globální soustavy lišit svým natočením v rámci prostoru. U prutů v prostoru je obtížnější vystihnout okrajové podmínky.



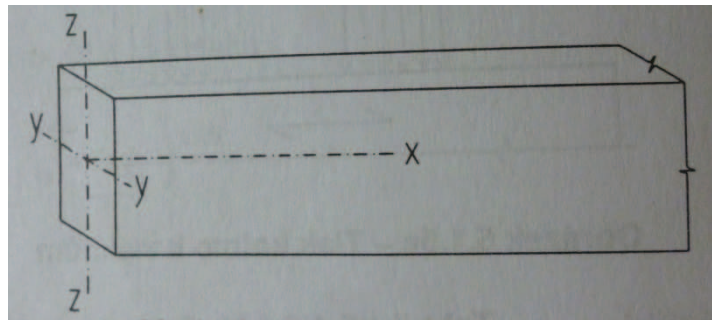
**Obrázek 5.** Složky výslednice sil přímého prostorového nosníku (6)

### 3.3 Návrh a posouzení ohýbaných nosníků v pružném oboru

Výpočet normálových napětí od účinků zatížení je založen na předpokladu lineárně-pružného chování dřeva. V dřevěném průřezu budou tlaková i tahová napětí, dále se předpokládá rovinnost průřezu po deformaci.

V obecném případě může jako vnější zatížení  $N$ ,  $M$ ,  $V$  působit

- vlastní tíha
- zatížení stálé
- zatížení nahodilé



**Obrázek 6.** Souřadný systém nosníku (6)

Při posuzování ohýbaného nosníku v teorii pružnosti vycházíme v rovině  $xz$  z předpokladu

$$\sigma_x = \frac{M_y}{I_y} z$$

Analogicky platí v rovině xy vztah

$$\sigma_x = \frac{-M_z}{I_z} y$$

Maximální napětí jsou v krajních vláknech průřezu, v rovině xz platí

$$\sigma_{x1} = \frac{M_y}{I_y} c_1 \quad \sigma_{x2} = \frac{-M_y}{I_y} c_2$$

$c_1$  a  $c_2$  jsou vzdálenosti krajních vláken od těžišťové osy. Vztahy  $W_{y1}$  a  $W_{y2}$  získáme ze vztahů mezi momentem setrvačnosti a vzdáleností krajních vláken průřezu

$$W_{y1} = \frac{I_y}{c_1} \quad W_{y2} = \frac{I_y}{c_2}$$

Používám pouze obdélníkové symetrické modely, kde platí následující.

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 \quad c_1 = c_2 = \frac{h}{2} \quad W_{y1} = W_{y2} = W_y = \frac{1}{6} b h^2$$

Dále pak lze odvodit vztahy pro napětí pro případ nulové normálové síly,

$$\sigma_{x1} = \frac{M_y}{W_{y1}} \quad \sigma_{x2} = \frac{-M_y}{W_{y2}}$$

pro případ nenulové normálové síly

$$\sigma_{x2} = \frac{N}{A} - \frac{M}{W_{y2}} \quad \sigma_{x1} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W_{y1}}$$

Pro výpočet v rovině xy jsou všechny vztahy analogické se změnou indexování.

## 4 GEOMETRIE A POPIS JEDNOTLIVÝCH SOUČÁSTÍ

### 4.1 Rozdělení konstrukce

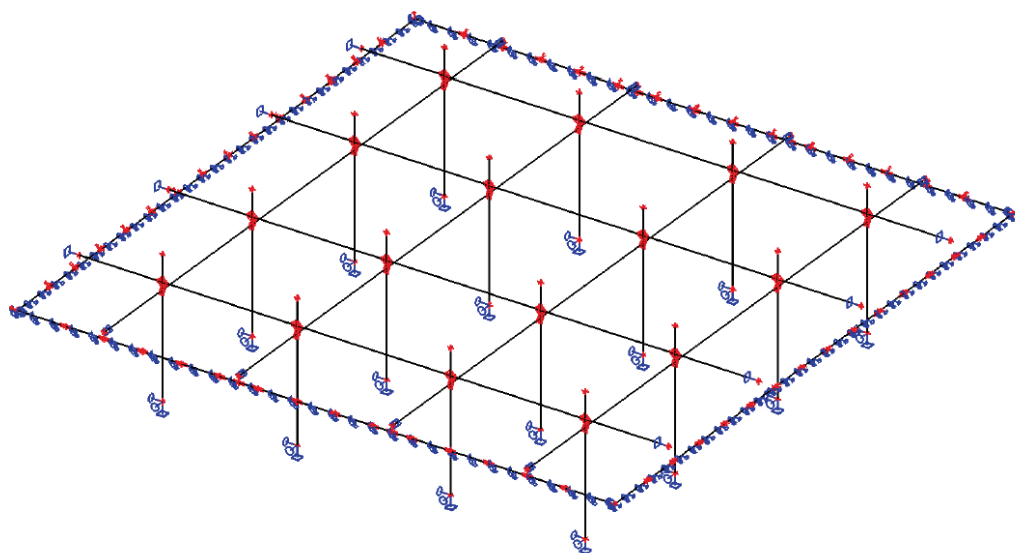
Pro snadnější pochopení celé konstrukce zde provedu rozdělení konstrukce do jednotlivých hladin. Rozdělení vzniklo při vytváření prostorového modelu pro snadnější orientaci v modelu jako celku. Model je rozdělen do 4 různých hladin

- Výpis hladin: – Hladina 1
- Hladina 2

- Hladina 3
- Hladina 4

### Hladina 1

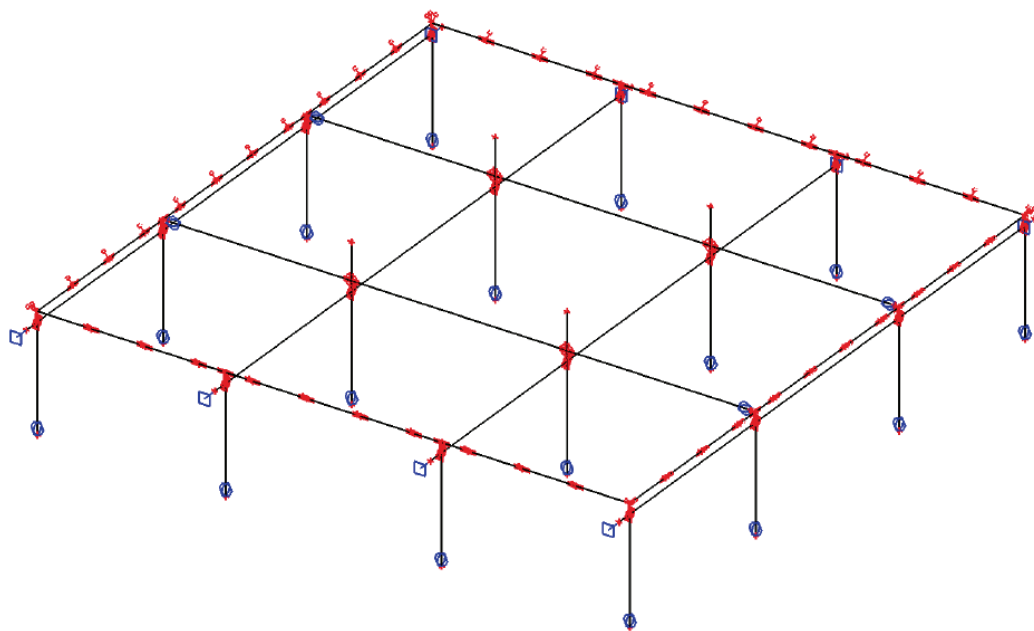
Obsahem Hladiny 1 jsou sloupy nacházející se v úrovni 1.PP, přecházející do 1.NP, kleštiny v obou rovinách a vaznice v obou směrech.



**Obrázek 7.** Hladina 1

### Hladina 2

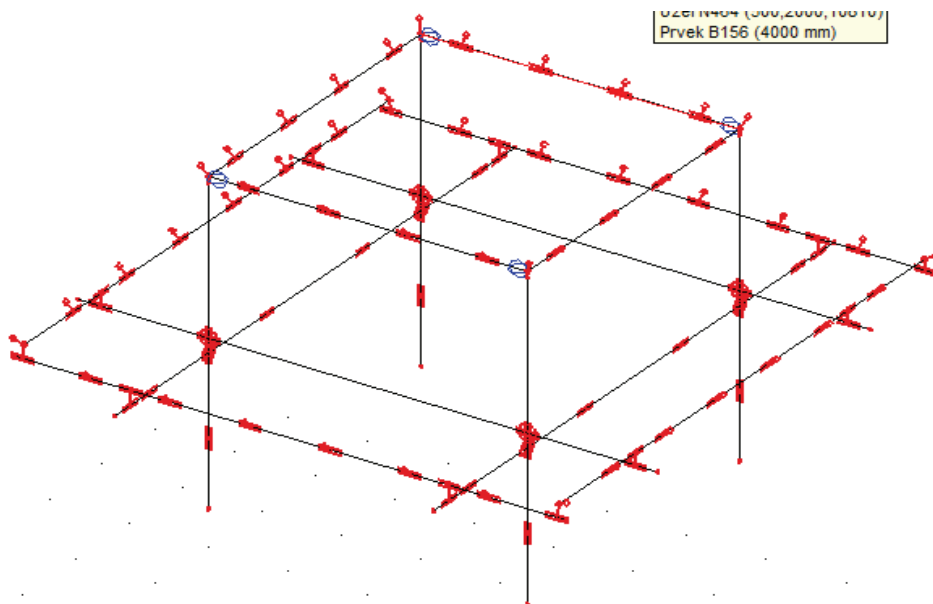
Obsahem Hladiny 2 jsou sloupy začínající v 1.NP, končící ve 2.NP nebo pod úrovní vaznice, kleštiny v obou rovinách a vaznice v obou směrech.



**Obrázek 8. Hladina 2**

### Hladina 3

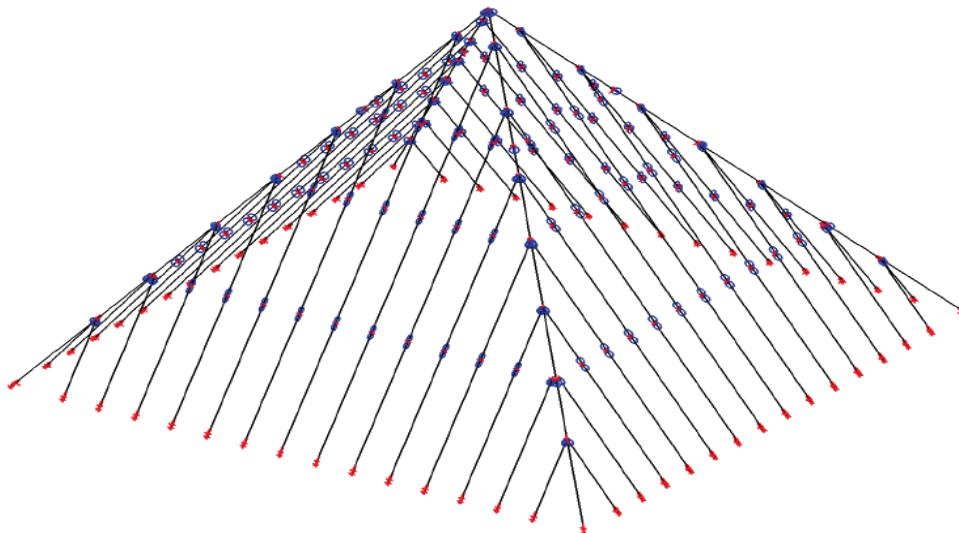
Hladina 3 obsahuje vrchní část nosné konstrukce krovu, jsou zde sloupy vycházející z 2.NP a končící ve 3.NP. Obsahuje kleštiny ve dvou rovinách a vaznice ve dvou vrstvách a dvou směrech.



**Obrázek 9. Hladina 3**

Hladina 4

Zobrazuje celý plášť střechy.



Obrázek 10. Hladina 4

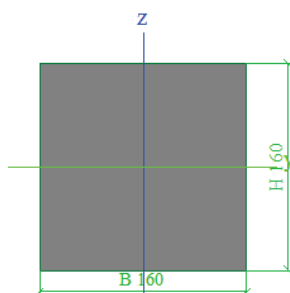
## 4.2 Sloupy

Sloupy tvoří opěrnou část konstrukce nacházející se ve všech hladinách vyjma hladiny 4. Základní rozměr všech sloupů je 160/160 mm, které mají v jednotlivých hladinách tyto délky:

Hladina 1 – 3635 mm

Hladina 2 – 1988; 2862 mm

Hladina 3 – 4235 mm



Obrázek 11. Průřez sloupu

Materiálové provedení je z řeziva třídy C24, výjimku tvoří 4 středové sloupy v hladině 1, které musely být navrhnuty z GL24h.

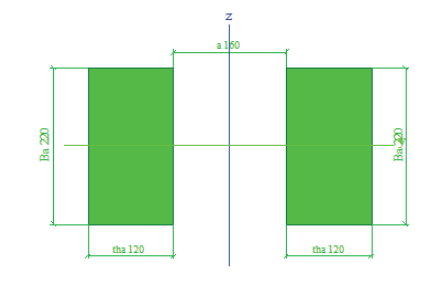
### 4.3 Kleštiny (průvlaky) spodní

Kleštiny spodní řady jsou podstatným nosným prvkem, protože přenáší veškeré zatížení od stropnic v jednotlivých podlažích a jsou vymodelovány jako spojitě nosníky. Nachází se v hladinách 1,2. Materiálové provedení je z řeziva třídy C24. Průřez se skládá ze dvou prvků rozměru 220/120. Mají v jednotlivých hladinách různé délky:

Hladina 1 – 15540 mm

Hladina 2 – 11570 mm

Pokud by nebylo možné pořídit dostatečně dlouhé prvky řeziva C24, byly by nahrazeny lepeným lamelovým dřevem třídy GL24h.



Obrázek 12. Průřez spodní řady kleštin

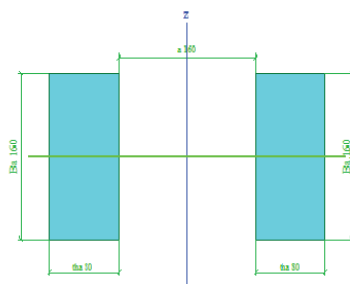
### 4.4 Kleštiny (průvlaky) horní

Kleštiny horní řady přenášejí vodorovné síly a zatížení od podlahy stejně jako stropnice. Jsou vymodelovány jako spojitě nosníky. Nachází se v hladinách 1, 2. Materiálové provedení je z řeziva třídy C24. Průřez se skládá ze dvou prvků rozměru 160/80. Horní kleštiny mají v jednotlivých hladinách různé délky:

Hladina 1 – 15340 mm

Hladina 2 – 11000 mm

Pokud by nebylo možné pořídit dostatečně dlouhé prvky řeziva C24, byly by nahrazeny lepeným lamelovým dřevem třídy GL24h.



**Obrázek 13.** Průřez horní řady kleštín

#### **4.5 Kleštiny (průvlaky) vysoké**

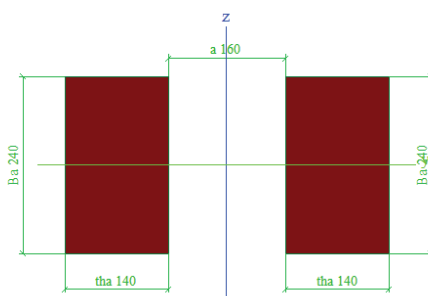
Vysoké kleštiny se nachází v hladině 3, jsou v obou řadách kleštín tj. v horní i dolní. Přenášejí vodorovné síly a zatížení od podlahy stejně jako stropnice.

Jsou vymodelovány jako spojitě nosníky. Materiálové provedení je z řeziva třídy C24. Průřez se skládá ze dvou prvků rozměru 240/140mm. Mají v jednotlivých směrech různé délky:

Směr osy Y – 7540 mm

Směr osy X – 7270 mm

Pokud by nebylo možné pořídit dostatečně dlouhé prvky řeziva C24, byly by nahrazeny lepeným lamelovým dřevem třídy GL24h.



**Obrázek 14.** Průřez kleštín z hladiny 3

#### **4.6 Vaznice**

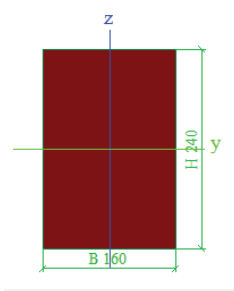
Vaznice se nachází v hladinách 2, 3. Jsou kloubově uloženy na sloupech v hladině 2. V hladině 3 jsou uloženy na koncích konzol kleštín ve směrech obou souřadných os. V hladině 3 se vaznice nachází ve více výškových úrovních.

Průřez se skládá ze dvou prvků průřezu 240/140 mm.

Vaznice mají v jednotlivých hladinách různé délky:

|             |           |          |
|-------------|-----------|----------|
| Hladina 2 – |           | 11000 mm |
| Hladina 3 – | výše –    | 4000 mm  |
|             | níže –    | 6875 mm  |
|             | nejníže – | 6940 mm  |

Pokud by nebylo možné pořídit dostatečně dlouhé prvky řeziva C24, byly by nahrazeny lepeným lamelovým dřevem třídy GL24h.

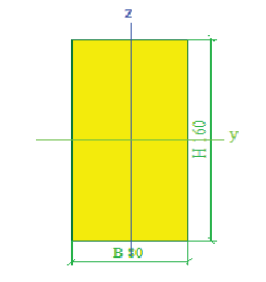


**Obrázek 15.** Průřez vaznice

#### **4.7 Krokve**

Krokve leží v hladině 4, jsou jako prosté nosníky kloubově uložené na vaznice.

Mají různé délky ( 4057mm, 3735mm, 2563mm, 2789mm ), průřez je obdélníkového rozměru 160/80 mm.

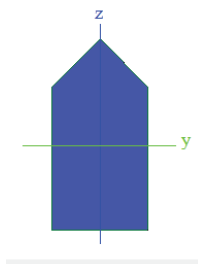


**Obrázek 16.** Průřez krokve

#### **4.8 Nárožní krokve**

Jsou to prosté nosníky kloubově uložené na vaznicích, nachází se v hladině 4.

Základním profilem pro nárožní krokv je prostá krokv, která byla seříznuta podle rovin střešních ploch.

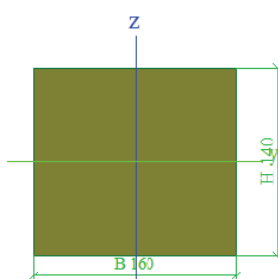


**Obrázek 17.** Průřez nárožní krokve

#### **4.9 Pozednice**

Jsou to prvky v hladině 1, jsou liniově podporovány pozedním věncem a k němu kotveny. Ve výpočtovém modelu je tato podpora modelována jako liniová kloubová podpora s omezením rotace kolem podélné osy prutu. Mají průřez 140/160 mm. Jejich délka je v obou směrech souřadných os

15 540 mm. Jsou složeny z několika kusů spojených plátováním a stavebními hřebíky.

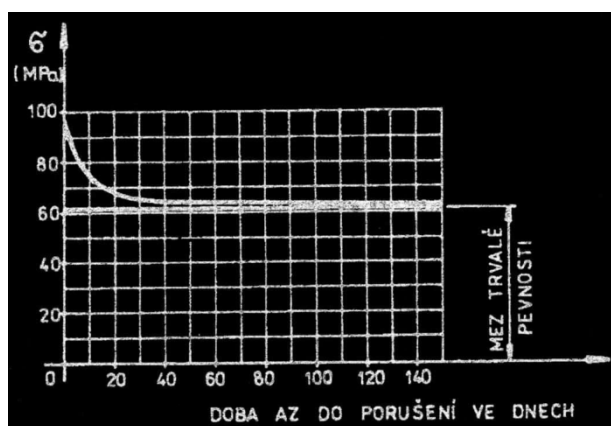


**Obrázek 18.** Průřez pozednice

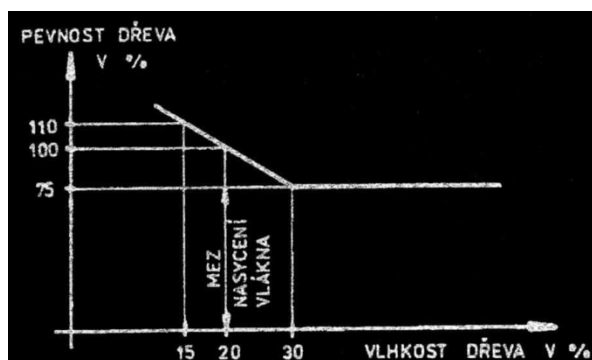
## **5 MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA**

Na výrobu této konstrukce je použito dřevo jehličnatých dřevin vhodných fyzikálních a mechanických vlastností. Konstrukce ze dřeva navrhujeme a posuzujeme podle metody mezních stavů. Mezní stavy jsou ty, při jejichž dosažení ztrácí konstrukce své vlastnosti potřebné k tomu, aby spolehlivě sloužila svému účelu.

Anisotropická struktura dřeva má vliv na jeho fyzikální vlastnosti, ale i na jeho vlastnosti mechanické. Významnou zvláštností dřeva je změna fyzikálně mechanických vlastností vlivem času a vlhkosti. (8)



Obrázek 19. Pokles pevnosti dřeva v závislosti na čase (8)



Obrázek 20. Pokles pevnosti dřeva v závislosti na jeho vlhkosti (8)

### 5.1 Charakteristické a návrhové hodnoty dřeva

Vlastnost materiálu se vyjadřuje charakteristickou hodnotou (obecně  $X_k$ ), která odpovídá kvantilu předpokládaného statického rozdělení vyšetřované vlastnosti materiálu, definované příslušnou normou a zkoušené za stanovených podmínek. (8)

Návrhové hodnoty vlastností materiálu (obecně  $X_d$ ) jsou definovány vztahem

$$X_d = k_{mod} \cdot X_k / \gamma_M$$

$\gamma_M$  – Je dílčí součinitel bezpečnosti pro vlastnosti materiálu podle NAD, jeho hodnota je podle mezního stavu, základní kombinace a druhu materiálu (dřevo, materiály na bázi dřeva a lepené lamelové dřevo).

$k_{mod}$  – Modifikační součinitel zohledňující účinek délky trvání zatížení a obsahu vlhkosti na charakteristiky pevnosti materiálu.

Podmínky v konstrukci odpovídají třídě vlhkosti dřeva 1 – obsah vlhkosti v materiálech odpovídající teplotě 20 °C a relativní vlhkosti okolního prostředí přesahující 65 % pouze několik týdnů v roce (vlhkost dřeva obvykle nepřesahuje 12 %). Pokud se kombinace zatížení skládá ze zatížení patřících do různých tříd trvání zatížení, uvažuje se hodnota  $k_{mod}$ , která odpovídá zatížení s nejkratší dobou trvání. (5)

$X_k$  – Charakteristická hodnota materiálu.

## **5.2 Dotvarování**

Dotvarování je zvětšování přetvoření v průběhu času při trvale působícím zatížení. Rozsah přetvoření dotvarováním je ovlivňován trváním zatížení, obsahem a zejména změnami vlhkosti, teplotou a velikostí namáhání. Mezi těmito parametry existují složité vztahy, které jsou pro různé materiály rozdílné. Při výpočtu dotvarování je zde zohledněno trvání zatížení v čase, ostatní vlivy jsou zanedbány. Přetvoření dotvarováním se zvyšuje s dobou působení zatížení. Velikost dotvarování závisí na hladině zatížení. Kombinovaný účinek trvání zatížení a vlhkosti je vyjádřen součinitelem  $k_{def}$ . Obecný vztah pro stanovení konečného přetvoření má tvar

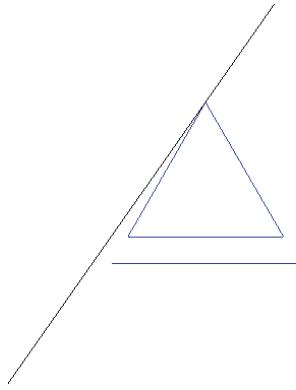
$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def})$$

# **6 OKRAJOVÉ PODMÍNKY**

## **6.1 Okrajové podmínky rovinných modelů**

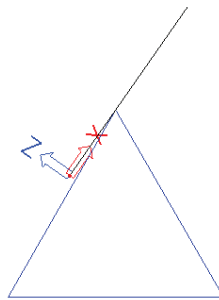
### **6.1.1 Okrajové podmínky modelu krokve**

U modelu krokve jsou dva druhy podpor. Jako první jsou kloubové podpory v místech vaznic, které zamezují posunutí ve vertikálním směru.



**Obrázek 21.** Model uložení krokve na vaznici

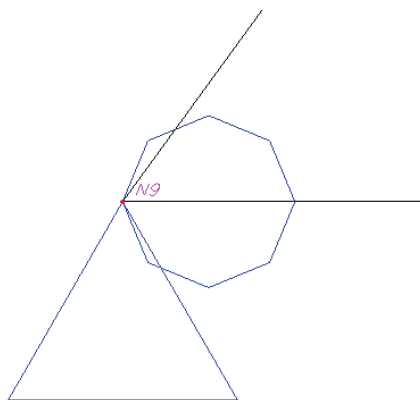
Jako druhý druh podpory je kloubová podpora zamezující jak pohyb vertikální tak horizontální. Je zde umístěna z důvodu funkčnosti výpočetního modelu a nachází se v místě podepření krokve pozednicí.



**Obrázek 22.** Model uložení krokve na pozednici

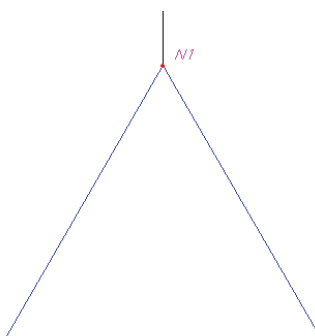
### 6.1.2 Okrajové podmínky modelu rovinného rámu

U rovinného rámu jsou dva druhy uložení prvků. Jeden druh je uložení kleštin na pozednici. Tento typ uložení prezentuje kloubová podpora s omezením posunů ve vertikálním i horizontálním směru. Pro tento druh okrajové podmínky předpokládám, že pozednice je dostatečně pevně uložena na pozedním věnci. V rámovém modelu jsou nepřesnosti vůči skutečnému stavu konstrukce. Tento model slouží pro předběžný návrh dimenzí jednotlivých prvků.



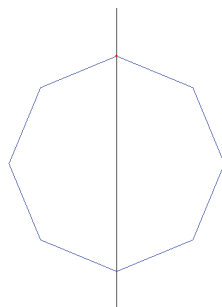
**Obrázek 23.** Model uložení krokve a kleštiny na pozednici

Druhým případem okrajové podmínky je uložení sloupu na základovou patku. Zde se jedná o kloubovou podporu omezující pohyby vertikální a horizontální. Zde předpokládám, že základová patka je tuhá a nepoddajná.



**Obrázek 24.** Model uložení sloupu na základovou patku

Dále jsou v tomto modelu kloubová napojení v uzlech na koncích prutů. Přípoje zamezují posuny, ale umožňují pootočení v rovině rámu.



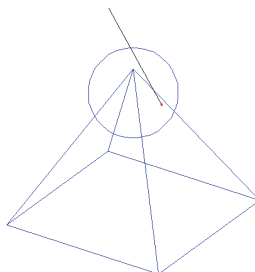
**Obrázek 25.** Kloub v rámovém modelu umožňující pootočení v rovině rámu

## **6.2 Okrajové podmínky prostorových modelů**

### **6.2.1 Okrajové podmínky prostorového modelu střešního pláště**

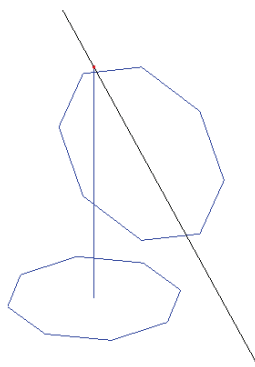
Model prostorového rovinného pláště slouží k předběžnému návrhu a posouzení krokví v rovinách střechy a v nárožích. U prostorového modelu střešního pláště jsou čtyři druhy okrajových podmínek.

Jeden je uložení krokví na pozednici. Tento typ je kloubovou podporou, která všesměrně omezuje pohyby.



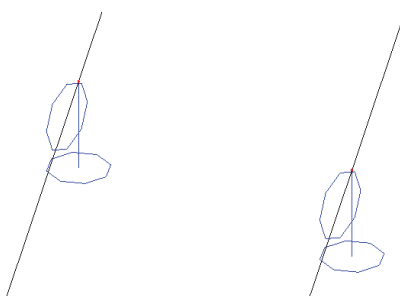
**Obrázek 26.** Model uložení krokve u prostorového modelu střešního pláště v místě pozednice

Druhý typ podpory u prostorového modelu střešního pláště je podpora na místě navržených vaznic. Zabraňuje pouze vertikálním posunům.



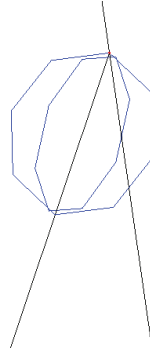
**Obrázek 27.** Model uložení krokve u prostorového modelu střešního pláště v místě vaznice

Třetím typem okrajové podmínky jsou kloubové připojení prvků v uzlech na koncích prutů. Zamezují posunutí a umožňují pootočení v jedné rovině. V tomto případě je pootočení kolmé ke střešní rovině.



**Obrázek 28.** Kloubové okrajové podmínky na krokvích

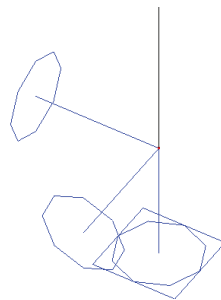
Čtvrtým typem okrajové podmínky je kloubové připojení krokví na nárožní krokve. Zamezují posunutí a umožňují pootočení v rovině kolmé k střešní rovině a pootočení v rovině dané roviny střechy.



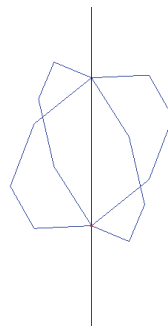
**Obrázek 29.** Kloubová okrajová podmínky spoji krokev-nárožní krokev

### 6.2.2 Okrajové podmínky prostorového modelu celé konstrukce

Sloupy jsou uloženy na betonové patky a jsou k nim přikotveny ocelovou kotevní pásovinou. Toto spojení je schopno přenést posouvající a normálové síly. Primární složkou je zde normálové zatížení. Pro funkčnost ve výpočtovém modelu se musí omezit rotaci kolem osy x LSS (osa x je po délce prutu). Takto je řešena první vrstva sloupů, další vrstvy jsou na předchozí připojeny přeplátováním staženým ocelovými svorníky.



**Obrázek 30.** Model uložení spodního sloupu

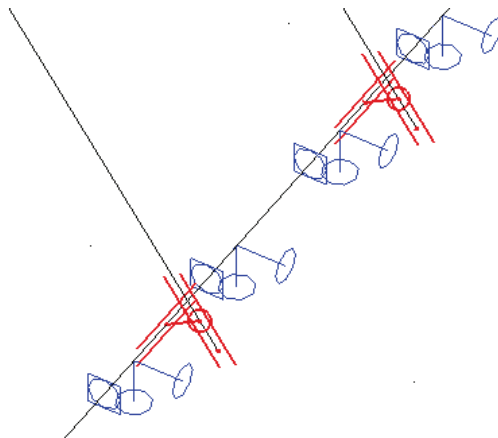


**Obrázek 31.** Model vzájemného kloubového spojení sloupů

Sloupy v místě spoje lze uvažovat jako kloubově propojené, kloub zamezuje všesměrně posunutí, umožňuje prostorové pootočení vyjma rotace kolem osy prutu.

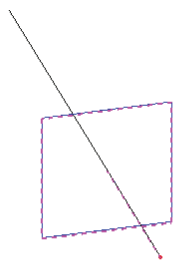
Pozednice jsou uloženy na pozedních věncích a jsou k nim přikotveny kotevní pásovinou. V případě tohoto uložení je zde liniová podpora prutu. Účinky se od pozedního věnce přenáší do železobetonových obvodových stěn pod úrovní přilehlého terénu. Výpočet těchto stěn není obsahem bakalářské práce.

Tento druh podpory přenáší všesměrné posouvající a normálové síly. Pro funkčnost ve výpočtovém modelu se musí omezit rotaci kolem osy x LSS (osa x je po délce prutu).



**Obrázek 32.** Model liniové podpory

V případě tohoto modelu bylo nezbytné doplnit stávající podpory podporami, které zamezují rotaci prutu kolem jeho podélné osy. V momentu, kdy nebyly zavedeny tyto okrajové podmínky, docházelo k nestabilitám při výpočtu. Jednalo se primárně o kleštiny v hladině 1 ve vyšší výškové úrovni. Tyto pruty měly veškeré přípoje kloubové, které nezamezovaly rotaci. Po zavedení těchto okrajových podmínek vznikly rotační momenty, jejichž hodnoty jsou však zanedbatelné.

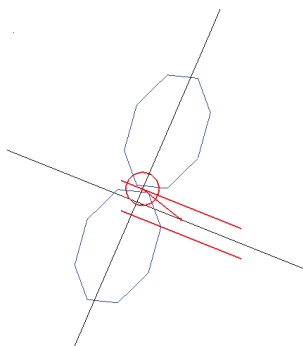


**Obrázek 33.** Model uzlové podpory zamezující rotaci prutu

Většina spojů v dřevěných konstrukcích není schopna přenést ohybové momenty, a proto u modelu prutových dřevěných konstrukcí uvažujeme veškerá uložení jako kloubová. V konstrukci je mnoho takto spojovaných prvků, jako reprezentativní jsem vybral spoje krokví, které jsem již uvedl u prostorového modelu střešního pláště.

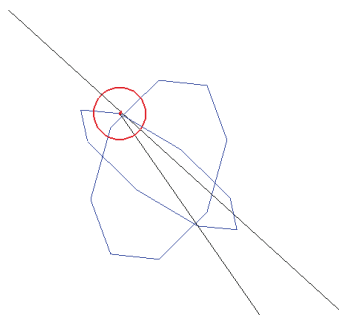
Okrajové podmínky krokví jsou analogické s řešením u prostorového modelu střešního pláště.

Změnou je jejich nepodporování pevnou podporou, ale jsou uloženy na vaznici. Krokve jsou rozděleny do jednotlivých polí na prosté nosníky, uložené na vaznici.



**Obrázek 34.** Kloubové připojení krokví na prostorovém modelu celkové konstrukce

Připojení krokví ke krokví nárožním je v tomto modelu téměř identické s prostorovým modelem střešního pláště. Je zde ten rozdíl, že v tomto případě je propojení provedeno přes tuhé rameno umístěné na nárožní krokvi (obrázek 35). Zde je z důvodu nepřesností modelu zadávaného souřadnicově.



**Obrázek 35.** Kloubové připojení krokve k nárožní krokvi na prostorovém modelu celkové konstrukce

## 7 ZATÍŽENÍ

Stavba je zatížena stálým zatížením, nahodilým zatížením, větrem a sněhem.

Zatížení je navrženo v souladu s normami:

ČSN EN 1990, Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-1-1-1 Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

### 7.1 Stálé zatížení

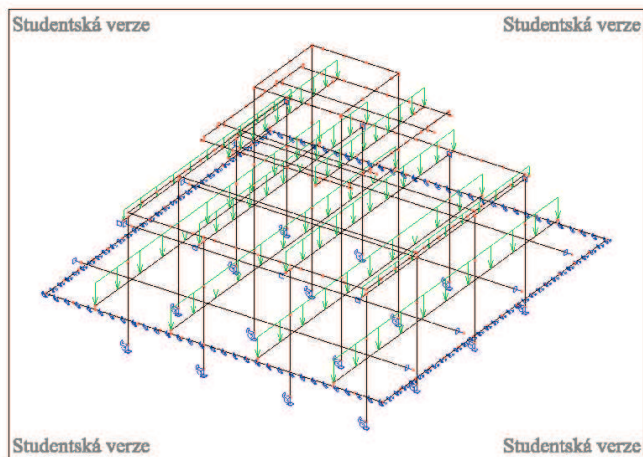
#### 7.1.1 ZS1 – Vlastní tíha

Automaticky vygenerovaná programem Scia Engineer 2010.1.

#### 7.1.2 ZS2 – Ostatní stálé zatížení- vnitřní

Zatížení se skládá z konstrukčních vrstev podlah a stropů v interiéru.

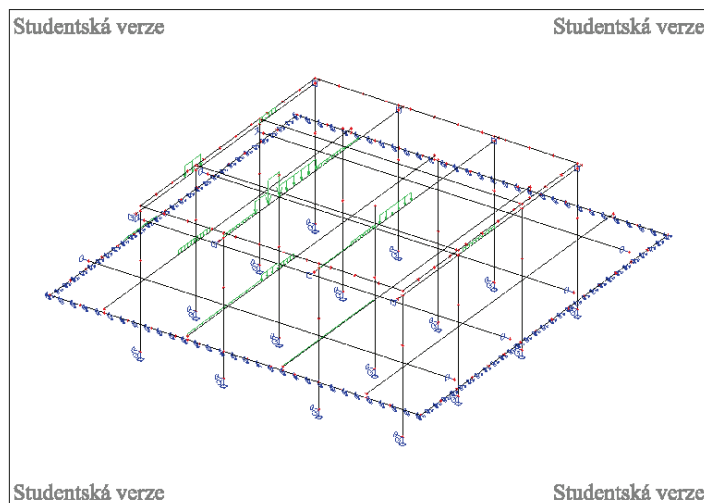
Vypočtené zatížení je  $0,5 \text{ kN/m}^2$ . Zatížení působící na kleštiny spodní řady je spojitě rovnoměrné ve všech podlažích a je neměnné. Při přesném řešení by působilo bodově jako skupina osamělých sil od jednotlivých stropnic, je zde tedy jisté znepřesnění přepočtem na rovnoměrné zatížení. Síla působící na jednotlivé kleštiny je vypočítána přes zatěžovací šířky jednotlivých klestín. Podrobnější popis skladby a výpočtu v příloze.



**Obrázek 36.** ZS2 Ostatní stálé zatížení – vnitřní

### 7.1.3 ZS3 – Zatížení příčkami

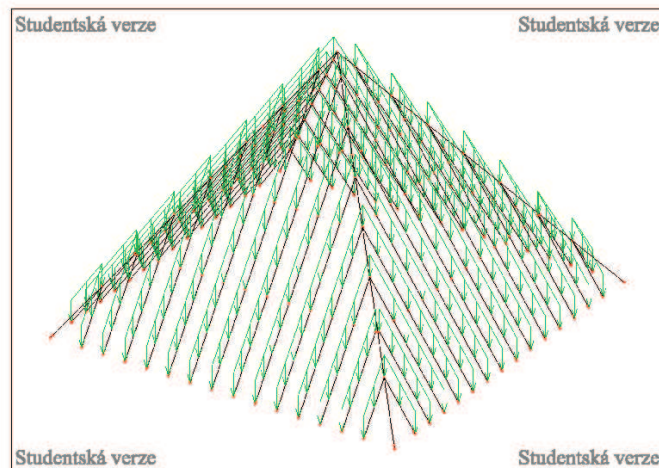
Zatížení se skládá z konstrukčních příček a stropů v interiéru. Vypočtené zatížení je 0,96 kN/m. Zatížení působí na kleštiny spodní řady na jednotlivé kleštiny je spojitě rovnoměrné a přepočítáno z toho, jak je příčka situována vůči dané kleštině a jaká délka připadá. Příčky zatěžující konstrukci se nacházejí v 1.NP a 2.NP. Podrobnější popis skladby a výpočtu v příloze.



**Obrázek 37.** ZS3 Zatížení příčkami

### 7.1.4 ZS4 – Ostatní stálé zatížení- střešní plášť

Zatížení se skládá z vrstev střešního pláště a působí spojitě rovnoměrně na prvky střešních rovin. Vypočtené zatížení je  $0,677 \text{ kN/m}^2$ . Síla působící na krokve je vypočítána ze zatěžovací šířky na danou krokev.



Obrázek 38. ZS4 Ostatní stálé zatížení – střešní plášť

## 7.2 Nahodilé užitné zatížení

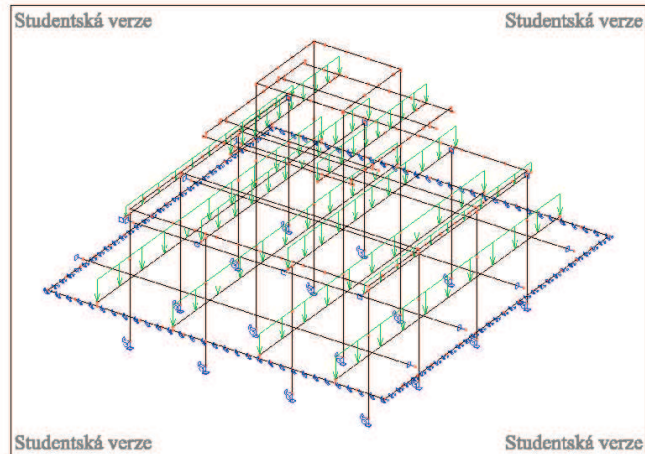
Zatížení je dáno normou ČSN EN 1991-1-1-1 Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Hodnota zatížení je  $2 \text{ kN/m}^2$  v 1.NP a 2.NP. V 3.NP je zatížení  $1,5 \text{ kN/m}^2$ . Toto zatížení je nižší oproti 1.NP a 2.NP, avšak stále vyhovující normě. Prostory v 3.NP nesplňují vyhlášku č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, z důvodu malé podchozí výšky.

Šlo by uvažovat toto poschodí jako neobytné. Norma definuje zatížení pro obytné a pobytové místnosti, zde ovšem lze vyloučit variantu obytné místnosti. Účel poschodí je neobytný prostor sloužící jako půda.

Síla působící na spodní kleštiny je vypočítána ze zatěžovací šířky na danou kleštinu.

### 7.2.1 ZS5 – Nahodilé užité vnitřní plné zatížení

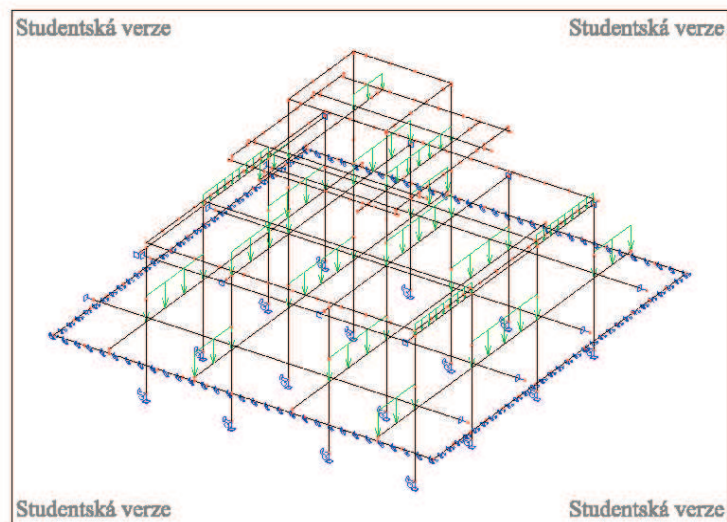
Zatížení působí v plné hodnotě jako spojitě po celé délce spodních kleštín ve všech poschodích.



Obrázek 39. ZS5 Nahodilé vnitřní plné zatížení

### 7.2.2 ZS6 – Nahodilé užité vnitřní šach 1

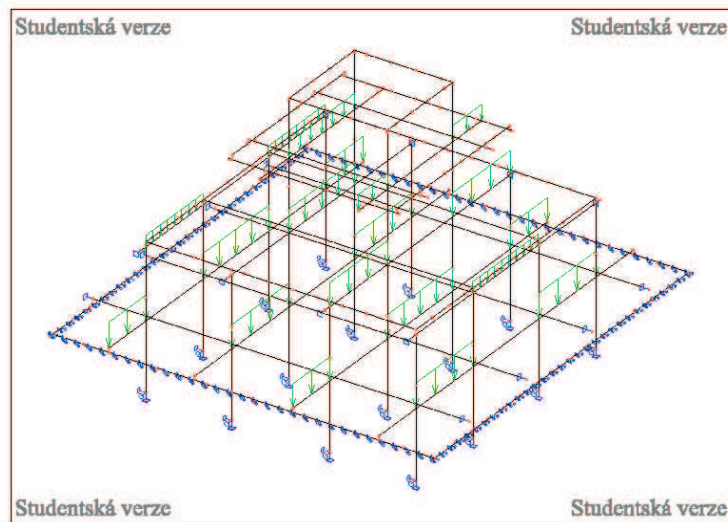
Zatížení působí v šachovitě v zatěžovacích polích v rámci jednotlivých poschodí a rámců.



Obrázek 40. ZS6 Nahodilé vnitřní šach 1

### 7.2.3 ZS7 – Nahodilé užité vnitřní šach 2

Zatížení působí v těch polích, kde nepůsobilo v šachu 1.



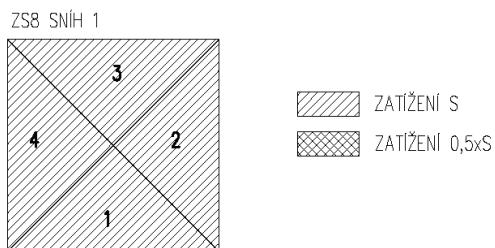
Obrázek 41. ZS6 Nahodilé vnitřní šach 2

## 7.3 Zatížení sněhem

Stavba je situována v Hostýnských vrších, ve sněhové oblasti V, leží do nadmořské výšky 1000 m. n. m. Charakteristická hodnota zatížení v této oblasti je  $2,5 \text{ kN/m}^2$ . Snažil jsem se maximálně vystihnout možnosti různého stavu zatížení sněhem. Půdorysné zatížení  $S=0,27 \text{ kN/m}^2$ , zatížení na 1 bm krokve.

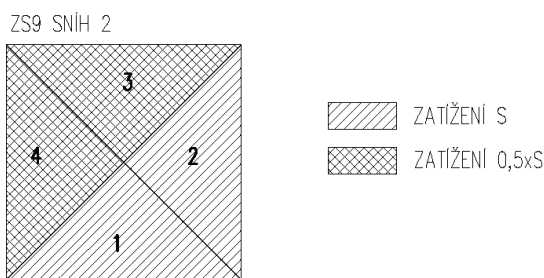
### 7.3.1 ZS8 – Sníh 1

V tomto zatěžovacím stavu působí plné zatížení sněhem na celkovou plochu. Zatížení je spojité rovnoměrné a působí na všechny krokve v rovinách střechy stejně. Působící sílu na jednotlivé krokve vynásobením zatížení zatěžovací šířkou přiléhající na danou krokev.

**Obrázek 42. ZS8 Sníh 1**

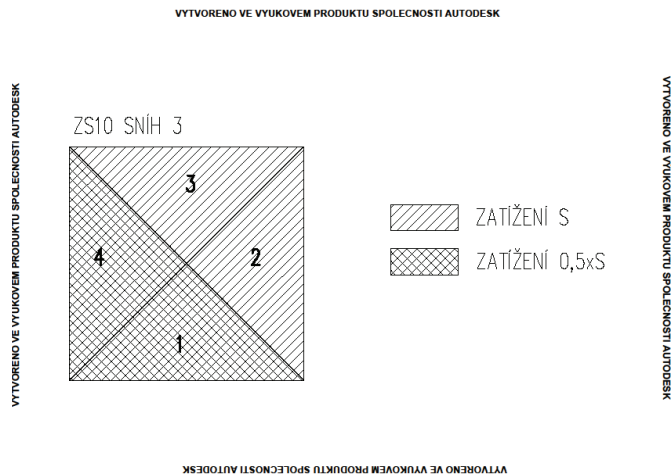
### 7.3.2 ZS9 – Sníh 2

V tomto zatěžovacím stavu působí plné zatížení sněhem na pole 1, 2, poloviční zatížení na pole 3, 4. Zatížení je spojitě rovnoměrné a působí na všechny krokve v rovinách střechy stejně. Působící sílu na jednotlivé krokve vynásobením zatížení zatěžovací šířkou přiléhající na danou krokev.

**Obrázek 43. ZS9 Sníh 2**

### 7.3.3 ZS10 – Sníh 3

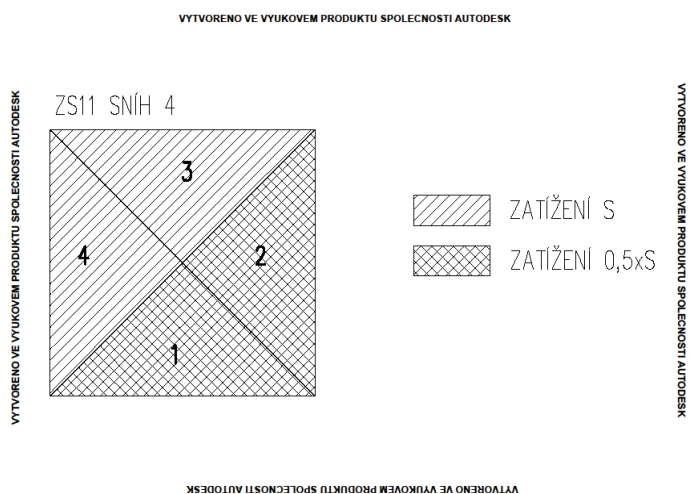
V tomto zatěžovacím stavu působí plné zatížení sněhem na pole 2, 3 a poloviční zatížení na pole 1, 4. Zatížení je spojitě rovnoměrné a působí na všechny krokve v rovinách střechy stejně. Působící sílu na jednotlivé krokve vynásobením zatížení zatěžovací šířkou přiléhající na danou krokev.



Obrázek 44. ZS10 Sníh 3

### 7.3.4 ZS11 – Sníh 4

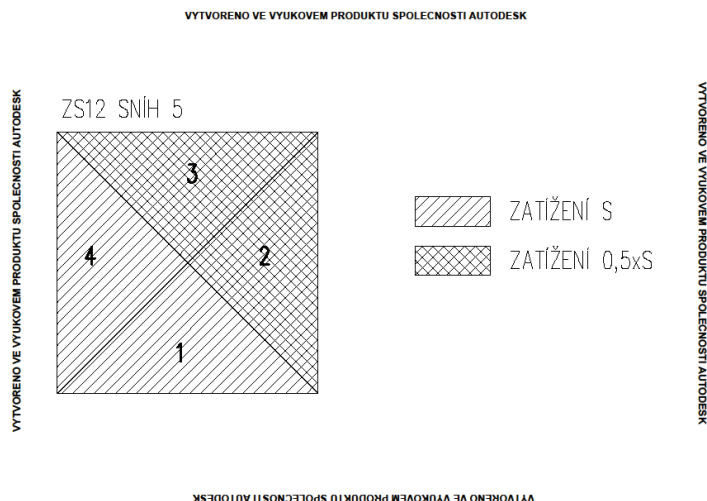
V tomto zatěžovacím stavu působí plné zatížení sněhem na pole 3, 4, poloviční zatížení na pole 1, 2. Zatížení je spojitě rovnoměrné a působí na všechny krokve v rovinách střechy stejně. Působící sílu na jednotlivé krokve vynásobením zatížení zatěžovací šířkou přiléhající na danou krokev.



Obrázek 45. ZS11 Sníh 4

### 7.3.5 ZS12 – Sníh 5

V tomto zatěžovacím stavu působí plné zatížení sněhem na pole 4, 1, poloviční zatížení na pole 2, 3. Zatížení je spojitě rovnoměrné a působí na všechny krokve v rovinách střechy stejně. Působící sílu na jednotlivé krokve vynásobením zatížení zatěžovací šířkou přiléhající na danou krokev.

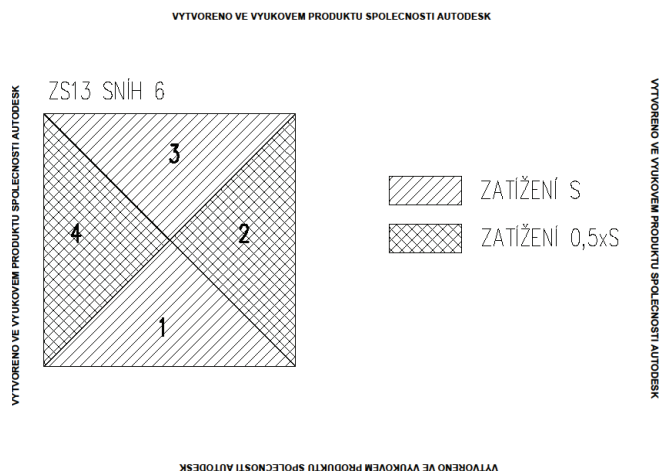


VYTVOŘENO VE VYUŽITÍM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

**Obrázek 46. ZS12 Sníh 5**

### 7.3.6 ZS13 – Sníh 6

V tomto zatěžovacím stavu působí plné zatížení sněhem na pole 1, 3, poloviční zatížení na pole 2, 4. Zatížení je spojitě rovnoměrné a působí na všechny krokve v rovinách střechy stejně. Působící sílu na jednotlivé krokve vynásobením zatížení zatěžovací šířkou přiléhající na danou krokev.

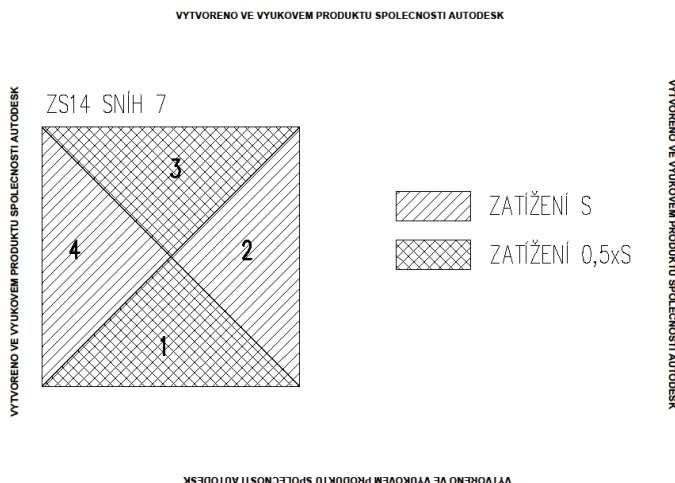


VYTVOŘENO VE VYUŽITÍM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

**Obrázek 47. ZS13 Sníh 6**

### 7.3.7 ZS14 – Sníh 7

V tomto zatěžovacím stavu působí plné zatížení sněhem na pole 2, 4, poloviční zatížení na pole 1, 3. Zatížení je spojitě rovnoměrné a působí na všechny krokve v rovinách střechy stejně. Působící sílu na jednotlivé krokve vynásobením zatížení zatěžovací šířkou přiléhající na danou krokev.



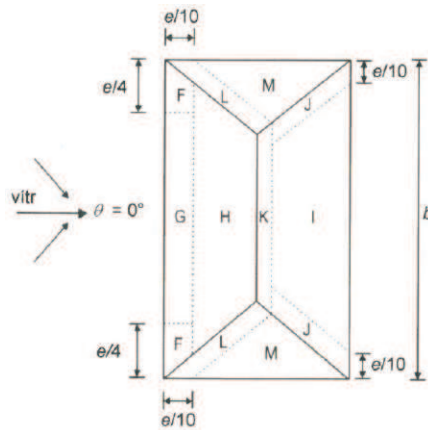
VYTVOŘENO VE VYUŽITÍM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

**Obrázek 48. ZS14 Sníh 7**

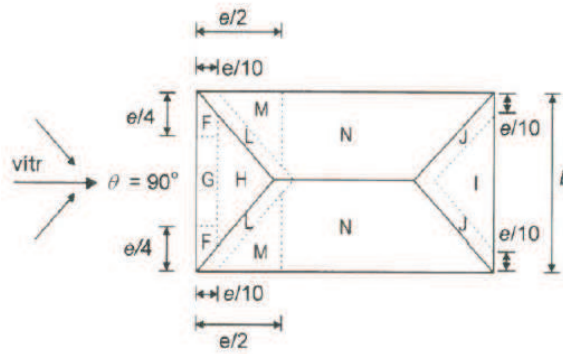
### 7.4 Zatížení větrem

Tento druh zatížení byl na tomto druhu konstrukce trochu komplikovanější než předchozí typy zatížení a to z toho důvodu, že jsem v ČSN EN 1991-1-4 EC1 Zatížení konstrukcí – část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem nenašel přesně odpovídající obrázek, ze kterého bych zjistil zatěžovací působení větru na mnou řešenou konstrukci.

Proto jsem musel najít případy, které přibližně odpovídají mému tvaru konstrukce a z nich si přibližně odvodit jak bude zatížení vypadat. Pro co nejpřesnější vystižení působení větru na konstrukci jsem vytvořil 4 zatěžovací stavy od působení větru. Veškerá zatížení působí jako spojitá o různých intenzitách. Hodnoty zatížení jednotlivých ploch zatížení jsou v příloze. Zatížení na jednotlivé krokve a jejich části získám přenásobením zatěžovací šířkou příslušné krokev. Konstrukce se nachází ve větrové oblasti II., se základní rychlostí větru  $v_{b0} = 25 \text{ ms}^{-1}$ , základní tlak větru je  $0,39 \text{ kN/m}^2$ .

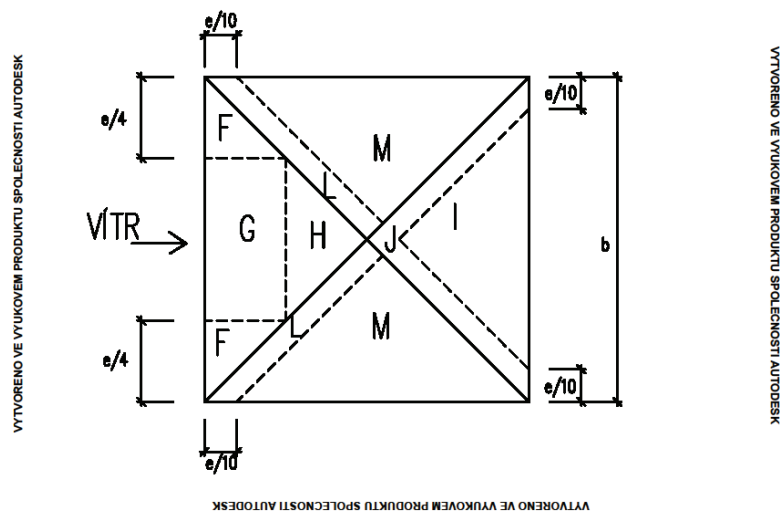


Obrázek 49. Normový obrázek zatížení větru do plochy valbové střech



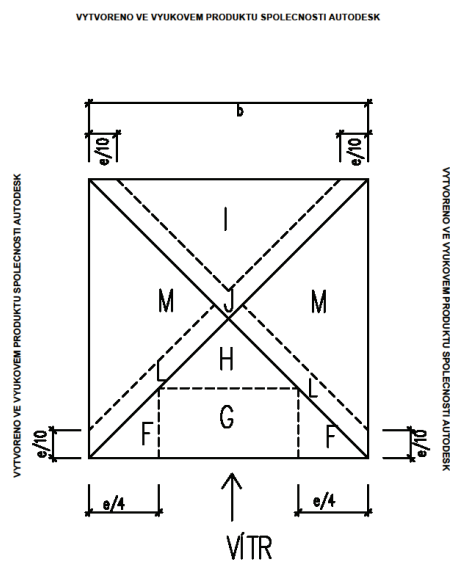
Obrázek 50. Normový obrázek zatížení větru do valby valbové střechy

VYTVOŘENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK



Obrázek 51. Zatížení řešené konstrukce větrem

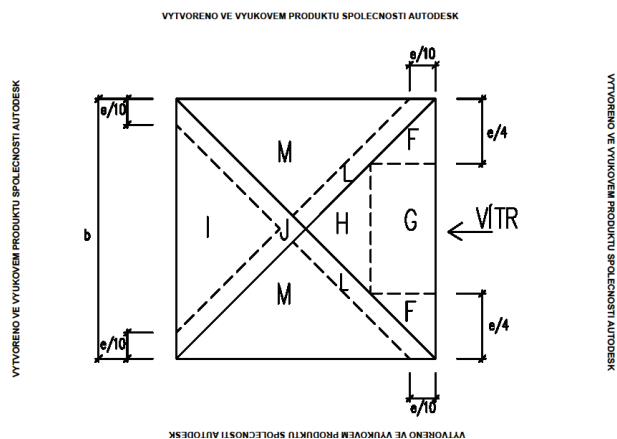
## 7.4.1 ZS15 – Vítr 1



VYTVOŘENO VE VYUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

**Obrázek 52. ZS15 – Vítr 1**

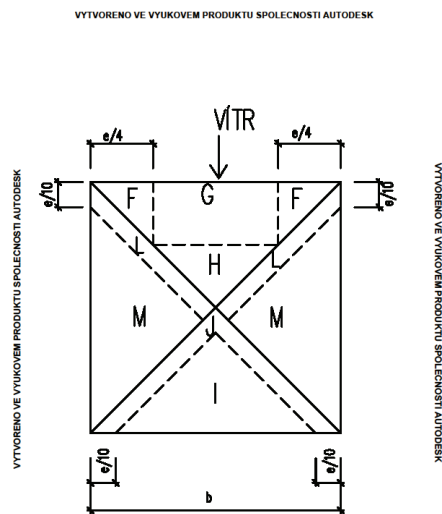
## 7.4.2 ZS16 – Vítr 2



VYTVOŘENO VE VYUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

**Obrázek 53. ZS16 – Vítr 2**

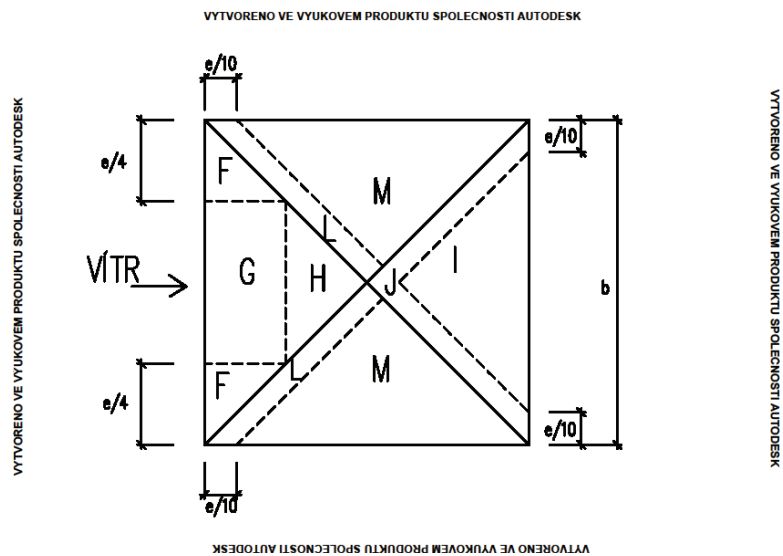
### 7.4.3 ZS17 – Vítr 3



VYTVOŘENO VE VYUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

Obrázek 54. ZS17 – Vítr 3

### 7.4.4 ZS18 – Vítr 4



VYTVOŘENO VE VYUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

Obrázek 55. ZS18 – Vítr 4

## 8 MODELY

V rámci této bakalářské práce byly vytvořeny 4 modely konstrukce nebo jích částí. Postupoval jsem od modelů jednodušších k modelům složitějším. Jako první vznikl

model typové krokve, následoval rámový model jedné příčné vazby. Z těchto modelů jsem získal informace o chování konstrukce a předběžný návrh jednotlivých prutových prvků konstrukce. Tyto modely vznikly jako rovinné.

Po analýze rovinných modelů byl vytvořen prostorový model střešního pláště. Z tohoto modelu jsem zjistil chování a dimenze prvků střešního pláště konstrukce. Jako poslední vznikl model prostorový model konstrukce jako celku. Celkový model je z vytvořených modelů nejsložitější a nejkomplicovanější. Tento model je citlivý na správné vystižení okrajových podmínek (kroucení prutů) a vzájemné spojení mezi pruty.

Kombinace pro mezní stav únosnosti:

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

$$6.10b \sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Kombinace pro mezní stavy použitelnosti

$$6.14b \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$6.15b \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$$6.16b \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Jsou vytvořeny čtyři zatěžovací skupiny

- Stálé zatížení
- Nahodilé zatížení
- Zatížení sněhem
- Zatížení větrem

Skupiny zatížení nahodilé zatížení, zatížení sněhem, zatížení větrem jsou provedeny jako výběrové.

## 8.1 Rovinný model krokve

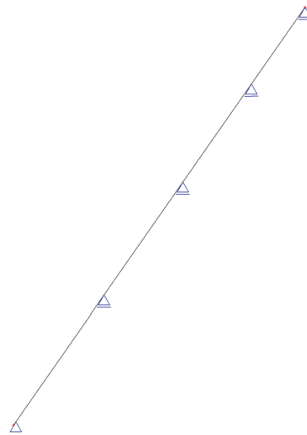
Tento model byl vytvořen jako první z modelů. Jedná se o jednu typovou krokve. Krokve je uložena na kloubových podporách. Nejnižší položená podpora zamezuje pohyby vertikální i horizontální, ostatní podpory omezují pouze vertikální posuny. Je vymodelována jako spojitý nosník s proměnným průřezem. Snížená hodnota výšky se

nalézá v místech podpor v délce rovné jedné výšce nesníženého profilu na každou stranu od podpory. Snížená část krokve má výšku 2/3 výšky nesníženého profilu.

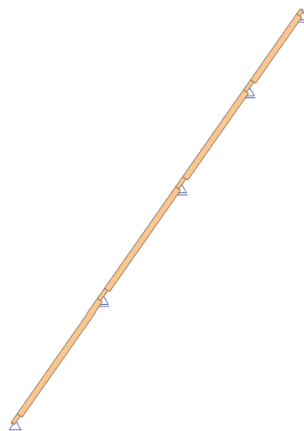
Zatížena je pouze čtyřmi zatěžovacími stavy.

- Zatěžovací stavy:
- ZS1 Vlastní tíha
  - ZS2 Ostatní stálé
  - ZS3 Sníh
  - ZS4 Vítr

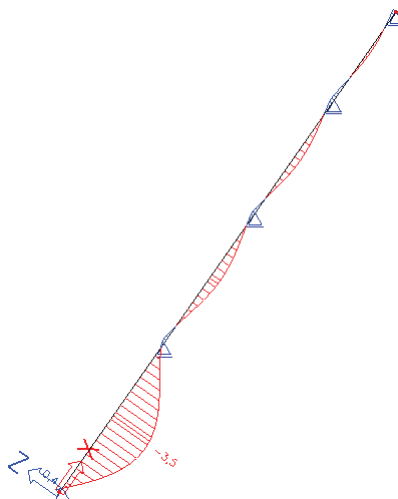
Veškerá zatížení byla přepočítávána na zatěžovací šířku krokve, ta je 1000 mm. V tomto modelu je spousta zjednodušení v rámci zatížení. Zatížení sněhem bylo uvažováno jako plné. Zatížení větrem bylo provedeno tak jako by byla krokev na návětrné straně a zatížení na ni působilo tlakem.



**Obrázek 56.** Osový model spojitě krokve



**Obrázek 57.** Model s proměnným profilem



**Obrázek 58.** Deformace na rovinném modelu krokve

Z tohoto modelu vyplynulo, že by na mezní stav únosnosti mohl vyhovět i relativně malý profil krokve. Z důvodů dostatečné rezervy a velkého množství neznámých při prostorovém chování byl nakonec zvolen profil 160/80 mm. Maximální deformace se oproti jiným modelům nachází v nejnižším poli a to z důvodu vyloučení přenášení vodorovných sil v místech vaznic. Celková maximální deformace je oproti deformacím na dalších modelech relativně malá.

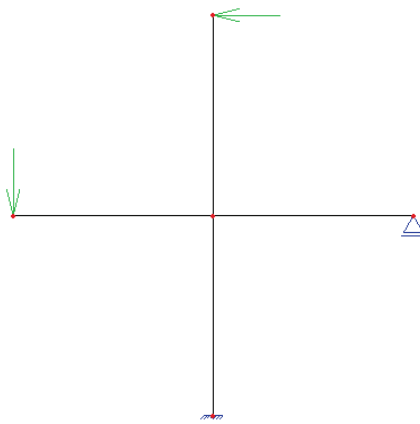
## **8.2 Rámový rovinný model**

Tento model vznikl jako druhý, je oproti modelu krokve složitější a projevuje se na něm více zatěžovacích stavů. Model jedné příčné vazby se skládá z 24 prutů.

Nosným prvkem celé konstrukce jsou sloupy, které se po výšce na sebe navzájem kloubově napojují. Jsou uloženy na kloubové podpory omezující vertikální i horizontální posuny. Průvlaky jsou na sloupy napojeny kloubovým křížením, které vysvětlím v následující části. Pozednice jsou nahrazeny kloubovou podporou pod průvlakem a krokví. Krokve jsou kloubově připojeny k průvlakům a mají po své délce konstantní průřez, kloubové uložení na průvlaky je značné zjednodušení, ale varianta s modelováním vaznice by byla příliš komplikovaná.

### 8.2.1 Pokusný model

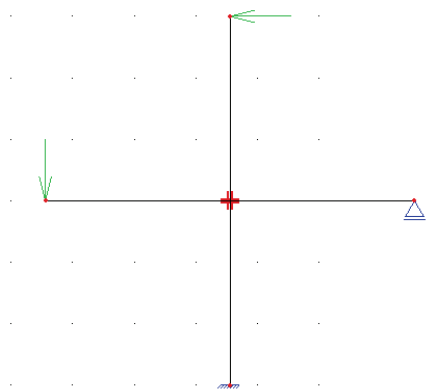
Průvlaky jsou na sloupy napojeny kloubovým křížením. S tímto typem okrajové podmínky jsem si v programu Scia Engineer nevěděl příliš rady, proto jsem si vytvořil malý model pro lepší porozumění funkci v programu. V nabídce křížení jsou tři varianty zadání a to tuhá, kloubová a spojka. Variantu spojky jsem vyloučil a zbyly mi pouze dvě varianty. Vytvořil jsem si proto jednoduchý rovinný prutový model na, kterém jsem vyzkoušel, jak se projeví rozdílné zadání na chování konstrukce. Zadání pro oba případy bylo stejné.



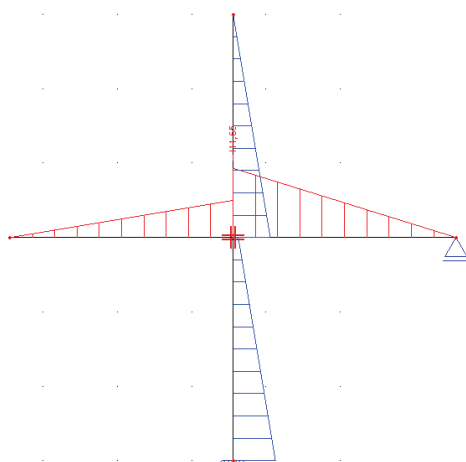
**Obrázek 59.** Zadání pokusného modelu

Zadání je poměrně triviální, dva křížící se pruty se dvěma působícími silami, jeden z prutů je vetknut a druhý kloubově uložen. Dokud není zadáno křížení, pruty spolu nespolutpůsobí.

Jako první jsem vymodeloval tuhé křížení.



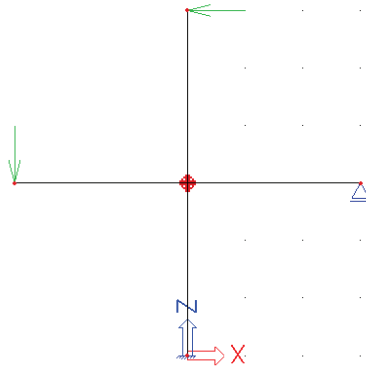
**Obrázek 60.** Zadání pokusného modelu s tuhým křížením



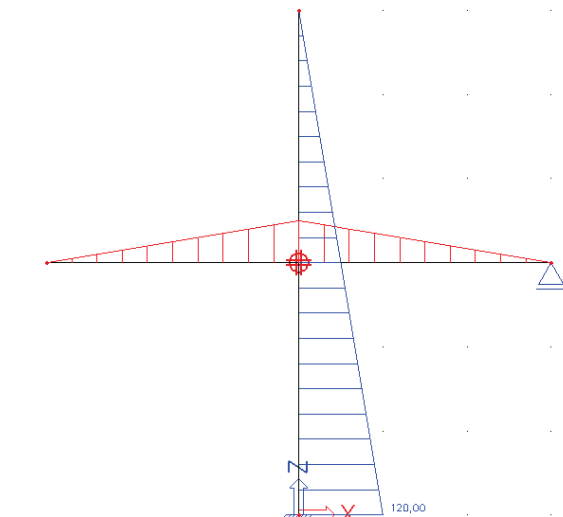
**Obrázek 61.** Výsledné ohybové momenty na tuhém křížení

Dle výsledků ohybových momentů tuhé křížení působí tak, že tuze spojí oba pruty. Tímto tuhým spojením se vzájemně přenesou ohybové momenty. Tento způsob křížení je pro dřevěné konstrukce nevhodný z hlediska toho, že nejsme v rámci spojů dřevěných konstrukcí vytvořit natolik tuhý spoj, který by svojí tuhostí odpovídal vetknutí.

Po analýze prvního modelu byl vytvořen druhý model, který měl křížení kloubové.



**Obrázek 62.** Zadání pokusného modelu s kloubovým křížením



**Obrázek 63.** Výsledné ohybové momenty na kloubovém křížení

Kloubové křížení nepřenáší ohybové momenty, ale pouze posouvající síly. Svými vlastnostmi odpovídá našim požadavkům na spoj dřevěné konstrukce.

Proto jsou dále všechny typy křížení sloupů a průvlaků řešeny tímto způsobem.

### 8.2.2 Rámový model

Rámová konstrukce je složitější a má více zatěžovacích stavů než kroky.

Okrajové podmínky:

- kloubová podpora sloupů
- kloubová podpora pozednic

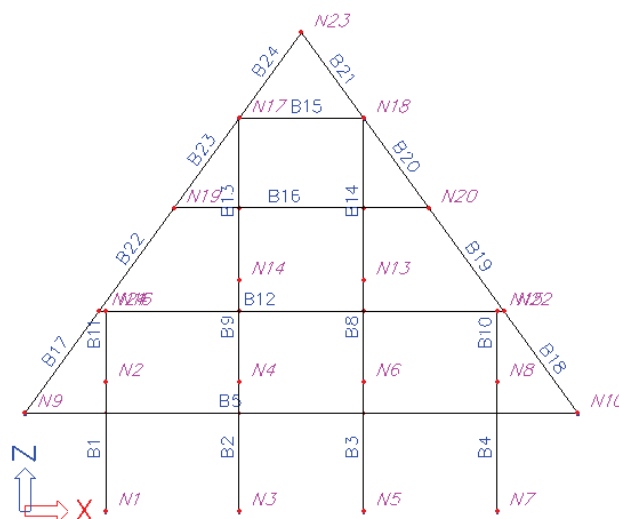
- kloubové křížení prutů
- kloubové spojení prutů

Použité typy profilů

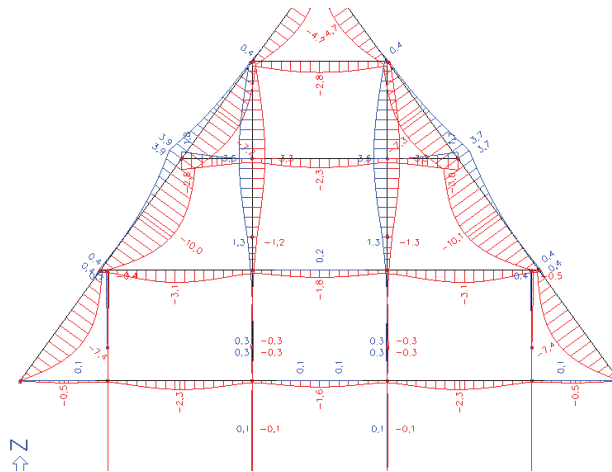
- krokve 160/80 mm
- sloupy 160/160 mm
- kleštiny – průvlaky 2× 220/120

Zatěžovací stavy rovinného rámu:

- ZS1 Vlastní tíha
- ZS2 Ostatní stálé – střešní plášť
- ZS3 Ostatní stálé – vnitřní (zatížení konstrukcí podlah a podhledů)
- ZS4 Sníh 1 – plné zatížení sněhem na obě poloviny střechy
- ZS5 Sníh 2 – na levé části sníh plnou hodnotou, na pravé části sníh s hodnotou 0,5
- ZS6 Sníh 3 – na pravé části sníh plnou hodnotou, na levé části sníh s hodnotou 0,5
- ZS7 Vítr levý
- ZS8 Vítr pravý
- ZS9 Nahodilé zatížení plné
- ZS10 Nahodilé zatížení – šach 1
- ZS11 Nahodilé zatížení – šach 2



**Obrázek 64.** Rovinný rám model



**Obrázek 65.** Rovinný rám model deformace

Maximální deformace prutu v záporné hodnotě je u prutu B19 a to pokles o 10,1 mm, maximální kladná deformace prutu je v uzlu mezi pruty B22 a B23 její hodnota je +3,9 mm. Obě hodnoty jsou menší než limitní hodnota průhybu.

$$L/250 = 3540/250 = 14,16 \text{ mm}$$

Po analýze průhybů, sil a ohybových momentů byly předběžně navrženy prvky pro vnitřní konstrukci prostorového modelu.

### **8.3 Prostorový model střešního pláště**

Výpočtový model střešního pláště skládajícího se z krokví a nárožních krokví.

Krokve jsou zde, jako prosté nosníky na kloubových podporách v místech kde v prostorovém modelu jsou vaznice a pozednice. Nárožní krokve jsou také jako prosté nosníky, kloubové podpory se nachází na místě křížení dvou vaznic nebo pozednic.

Okrajové podmínky:

- kloubová podpora zamezující vertikální a horizontální posuny v místě pozednice
- kloubová podpora zamezující vertikální posuny v místech vaznic
- kloubové propojení prvků s jednou osou otáčení
- kloubové propojení prvků se dvěma osami otáčení

Použité typy profilů

- krokve 160/80 mm

– nárožní krokve – atypický průřez vycházející z krokvi seříznutý podle protínajících se rovin střešního pláště

Počet zatěžovacích stavů je 13 pro co nejpřesnější modelaci chování konstrukce.

Zatěžovací stavy prostorového modelu střešního pláště:

ZS1 – Vlastní tíha

ZS2 – Ostatní stálé – střešní plášť

ZS3 – Sníh 1 – plný

ZS4 – Sníh 2

ZS5 – Sníh 3

ZS6 – Sníh 4

ZS7 – Sníh 5

ZS8 – Sníh 6

ZS9 – Sníh 7

ZS10 – Vítr 1

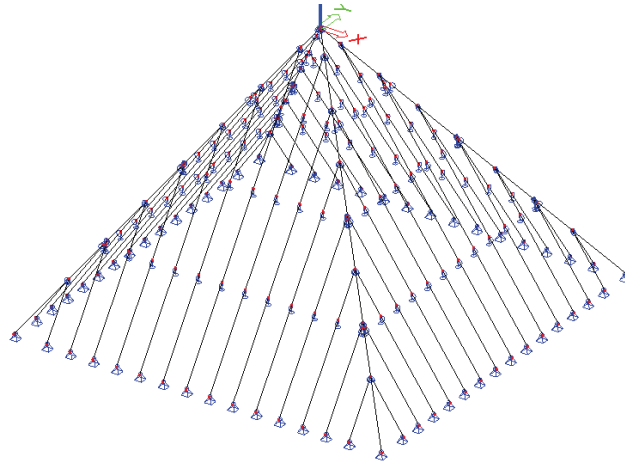
ZS11 – Vítr 2

ZS12 – Vítr 3

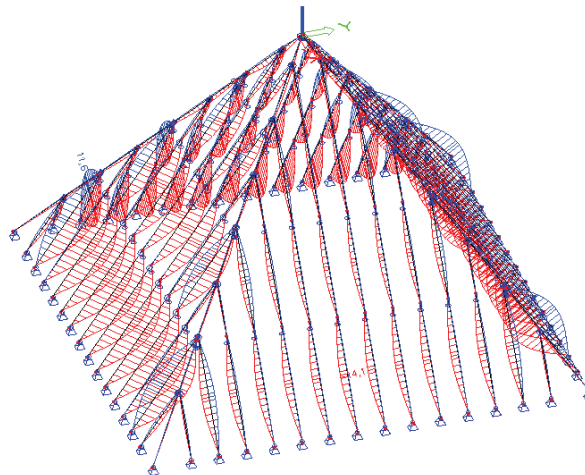
ZS13 – Vítr 4

U tohoto modelu jsem provedl ruční přepočtení v místě maximálního průhybu. Výpočet je proveden na krokvi (Prvek B87), která je uložena mezi pozednicí a první vaznicí. Výsledný průhyb z programu Scia Engineer je 14,1 mm, průhyb zjištěný ručním výpočtem je 14,21 mm. Rozdíl mezi výslednými hodnotami je malý a mohl vzniknout rozdíly při zaokrouhlování a zadávání hodnot. Limitní průhyb na tomto prvku je 16,22 mm, tedy v obou typech výpočtu krokve velikosti 160/80 mm vyhoví. Maximální deformace je větší oproti rámovému modelu a vyskytuje se oproti němu v jiném poli, důvodem této odlišnosti jsou rozdílné okrajové podmínky obou modelů. Menší profil krokve 140/80 již z důvodu nadměrného průhybu nevyhoví.

Po tomto ověření беру všechny hodnoty deformací vycházející z programu Scia Engineer jako správné a dále je používám při posudcích.



**Obrázek 66.** Prostorový model střešního pláště



**Obrázek 67.** Deformace na modelu střešního pláště

Maximální deformace prutu v záporné hodnotě je u prutu B87 a to pokles o -14,1 mm, maximální kladná deformace prutu je na prutu B107 její hodnota je +11,6 mm. Obě hodnoty jsou menší než limitní hodnota průhybu.

$$L/250 = 4054/250 = 16,22 \text{ mm}$$

## **8.4 Prostorový model celkové konstrukce**

Posledním z vytvořených modelů je model celkové konstrukce. Jedná se o prostorový prutový model vytvořený nezávisle na předchozích modelech. V tomto modelu jsou obsaženy všechny prvky z modelů předchozích a některé další, které nebylo možné v těchto modelech vystihnout.

Jednotlivé prvky modelu byly zadávány pomocí prostorových souřadnic. Při složitosti modelu a zvýšenému počtu prvků oproti předchozím modelům vznikly jisté nepřesnosti při vzájemném napojování prvků. Bylo nutné v některých případech spojovat prvky pomocí tuhých ramen vedených z uzlů na spojovaných prvcích. Tímto způsobem jsou z důvodu již zmíněné nepřesnosti připojeny například krokve ke krokví nárožním. Dalším případem užití tuhých ramen jsou spoje prvků, které jsou v reálné konstrukci navzájem uloženy, avšak v osovém prutovém modelu se jejich osy míjejí a je potřebné tyto prvky propojit. Při zadávání tuhých ramen jsem postupoval tak, že jsem nejprve zadával tuhé rameno k prutu, ke kterému se měla další část připojit. Na uzel připojovaného prvku jsem zadal druhý bod a zadal také kloub z důvodu vzájemného nepřenašení ohybových momentů mezi těmito dvěma prvky.

Tento způsob propojení je realizován na spojeních mezi:

- pozednicí a krokví
- vaznicí a krokví
- krokví a nárožní krokví
- pozednicí a nárožní krokví
- vaznicí a nárožní krokví
- mezi vaznicemi v posledním podlaží

V tomto modelu se vyskytují všechny druhy okrajových podmínek zpracovaných v kapitole 5.2 Okrajové podmínky prostorových modelů.

Těmito okrajovými podmínkami jsou:

- kloubová podpora sloupu
- kloubové propojení prvků s jednou osou otáčení v kloubu
- kloubové propojení prvků se dvěma osami otáčení v kloubu
- liniiová podpora pozednice
- podpora zamezující rotaci prvku kolem podélné osy

– kloubové křížení prutů

Použité typy profilů

– krokve 160/80 mm

– nárožní krokve – atypický průřez vycházející z krokví seříznutý podle protínajících se rovin střešního pláště

– sloupy 160/160 mm

– kleštiny níže položené – průvlaky – 2×220/120 mm

– kleštiny výše položené – průvlaky – 2×160/80 mm

– kleštiny vysoké v obou vrstvách v posledním podlaží – 2×240/140

– pozednice 140/160 mm

Zatížení zde působí v 18 zatěžovacích stavech.

Působící zatěžovací stavy:

ZS1 – Vlastní tíha

ZS2 – Ostatní stálé – vnitřní (zatížení od konstrukce podlah a podhledů)

ZS3 – Příčky

ZS4 – Ostatní stálé – střecha (zatížení konstrukcí střešního pláště)

ZS5 – Nahodilé vnitřní – plné

ZS6 – Nahodilé vnitřní – šach 1

ZS7 – Nahodilé vnitřní – šach 2

ZS8 – Sníh 1 – plný

ZS9 – Sníh 2

ZS10 – Sníh 3

ZS11 – Sníh 4

ZS12 – Sníh 5

ZS13 – Sníh 6

ZS14 – Sníh 7

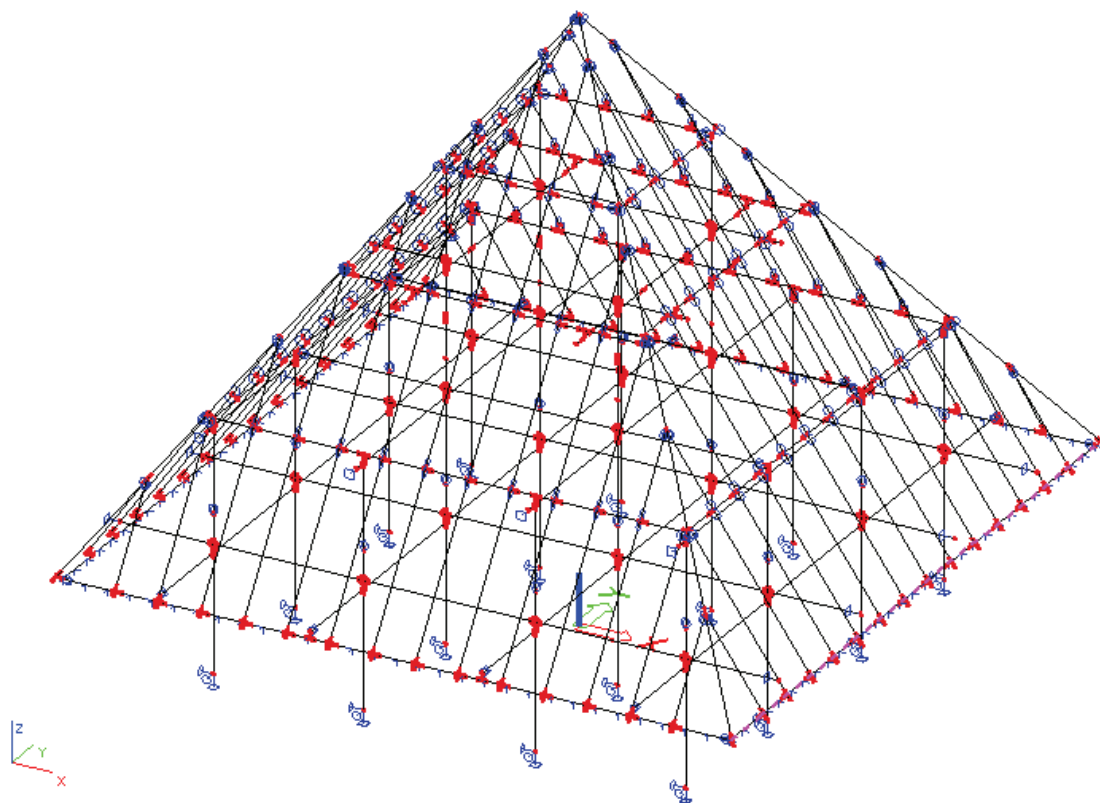
ZS15 – Vítr 1

ZS16 – Vítr 2

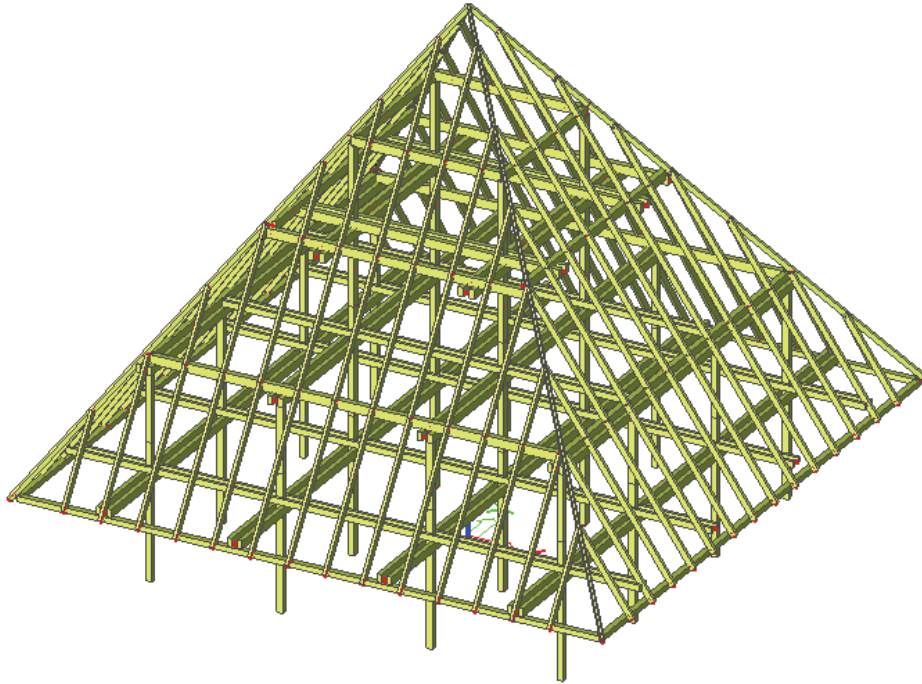
ZS17 – Vítr 3

ZS18 – Vítr 4

Prostorový model celkové konstrukce se skládá z 222 prutů, 558 uzlů, 8 druhů průřezů, 18 zatěžovacích stavů.



**Obrázek 68.** Prostorový model celé konstrukce



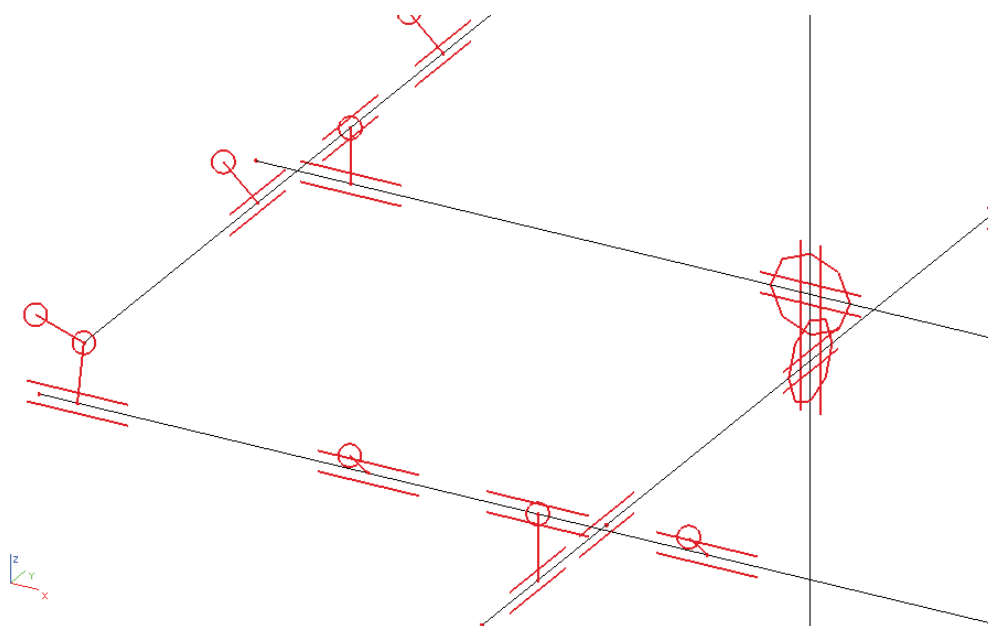
**Obrázek 69.** Zobrazení průřezů na prutovém modelu

## **8.4.1 Změny na prostorovém modelu oproti předchozímu modelování**

### **8.4.1.1 Změna uložení prutů a průřezů**

Prostorový model dokáže vystihnout chování celé konstrukce jako celku a svou komplexností ukáže na nedostatky, které by při rovinných modelech nevypluly na povrch. Nastínění těchto nedostatků nastalo i u této konstrukce.

Při prostorovém vymodelování vznikl problém s uložení vaznic ve směru kolmém na vyšší vrstvu kleštin pod podlahou 3.NP. Nebylo možné zde osadit oba směry vaznic do stejné výškové úrovně, nastalý problém jsem vyřešil uložení vaznic kolmých na horní vrstvu kleštin na vaznice rovnoběžné s kleštinami vyšší výškové úrovně. Tyto kleštiny i vaznice měly stejnou výšku průřezu a tím tvořily rovinný podklad pro uložení vaznice.



**Obrázek 70.** Propojení vaznic a kleštin

Po vyřešení tohoto problému jsem pokračoval v modelování. Po zatížení konstrukce a následném výpočtu nastal v tomto místě další problém a to s nadměrnými deformacemi na vaznicích a kleštinách.

Limitní deformace na konzole:  $L/100 = 1400/100 = 14$  mm, maximální deformace vycházející z výpočtového modelu je:

- kleština vyšší výškové úrovně – 15,2 > 14 mm      Nevyhovuje
- kleština nižší výškové úrovně – 13,9 < 14 mm      Vyhovuje

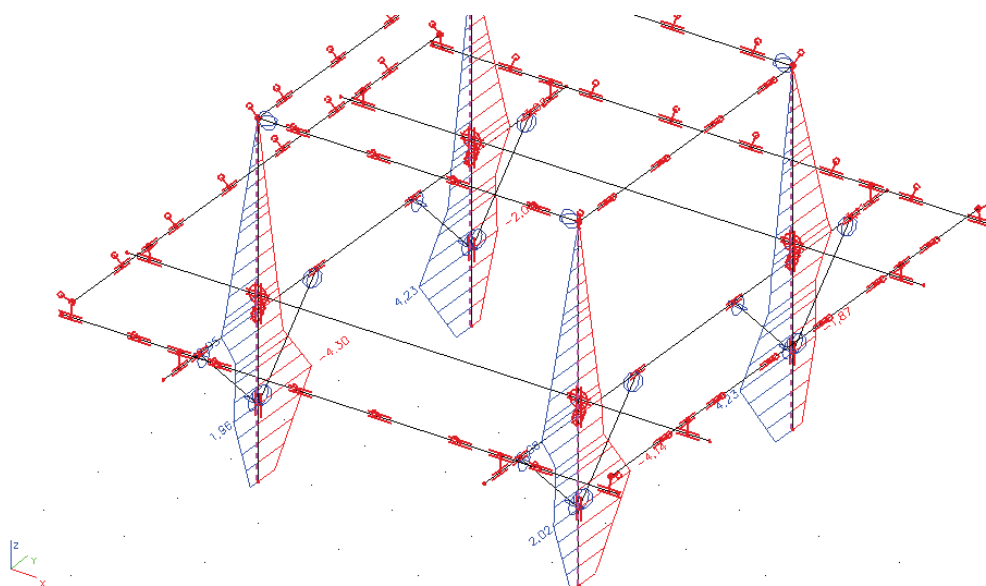
Z důvodu velkých deformací je nutné upravit model tak, aby se deformace zmenšily. U kleštiny nižší úrovně deformační podmínka vyšla, ale rezerva je natolik malá, že je nutná změna.

Limitní deformace na nosníku:  $L/250 = 4000/250 = 16$  mm, maximální deformace vycházející z výpočtového modelu je:

- vaznice vyšší výškové úrovně 16,8 > 16 mm      Nevyhovuje
- vaznice nižší výškové úrovně 19,6 > 16 mm      Nevyhovuje

Z důvodu velkých deformací je nutné upravit model tak, aby se deformace zmenšily.





**Obrázek 72.** Ohybové momenty v rovině vazby s pásky

Tuto variantu řešení nadměrných deformací jsem opustil.

Druhou variantou je snížení nahodilého zatížení na této stropní konstrukci. Z důvodu toho, že místnost nad touto částí konstrukce nesplňuje technické požadavky pro obytnou místnost dle vyhlášky č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, z důvodu malé podchodné výšky.

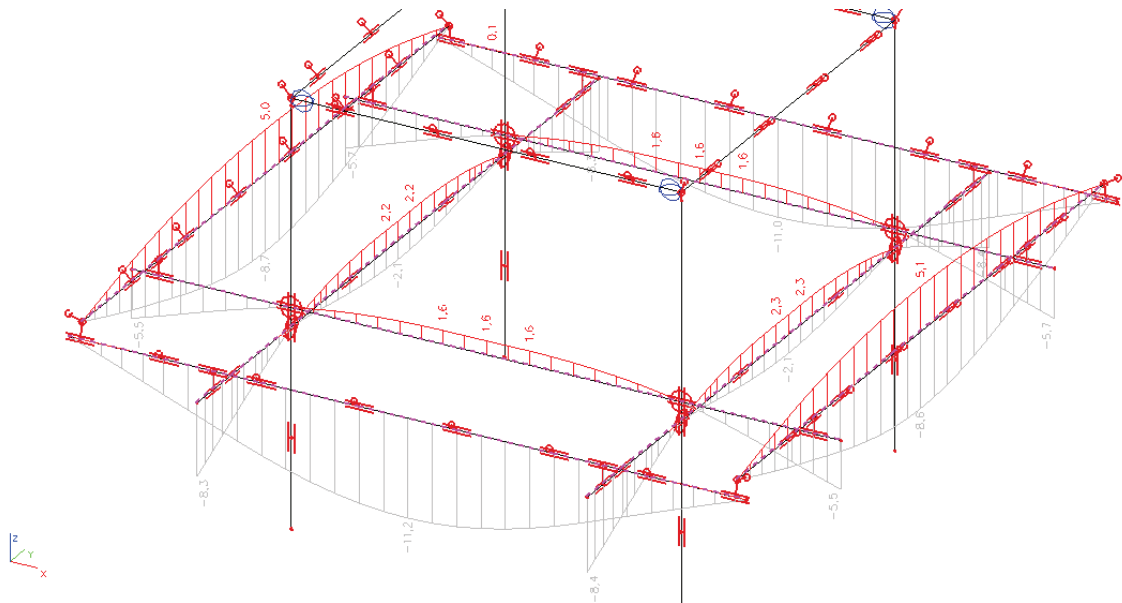
V normě ČSN EN 1991 Zatížení konstrukcí, je zatížení definováno pro obytné a pobytové místnosti. Definici pobytové místnosti se mi nepodařilo nikde nalézt. Místnost nad touto konstrukcí bude sloužit jako půdní prostor, tím pádem by se na tuto plochu nevztahovala norma, která stanovuje zatížení pro kategorii A pro stropy, kde je stanoveno rovnoměrné zatížení 1,5 až 2 kN/m<sup>2</sup>. Toto zatížení by tím pádem mohlo být nižší a nevznikaly by tak velké ohybové momenty a konstrukce sloupů by byly snáze vydimenzovatelné. Toto řešení jsem nechal jako poslední možnost, kdyby nešlo s konstrukcí navrhnout z reálných profilů.

Třetí variantou je zvětšení všech kritických profilů. Zvětšení nastalo u kleštín, kdy byl sjednocen průřez kleštín na profil 2×240/140 mm. Vaznice byly zvětšeny na 240/160 mm. Po tomto zvětšení se zmenšily deformace na požadovanou úroveň.

Limitní deformace na konzole:  $L/100 = 1400/100 = 14$  mm, maximální deformace vycházející z výpočtového modelu je:

– kleština vyšší výškové úrovně       $5,7 < 14$  mm      Vyhovuje

- kleština nižší výškové úrovně       $8,4 < 14 \text{ mm}$       Vyhovuje
- Limitní deformace na nosníku:  $L/250 = 4000/250 = 16 \text{ mm}$ , maximální deformace vycházející z výpočtového modelu je:
- vaznice vyšší výškové úrovně       $8,6 < 16 \text{ mm}$       Vyhovuje
  - vaznice nižší výškové úrovně       $11,2 < 16 \text{ mm}$       Vyhovuje

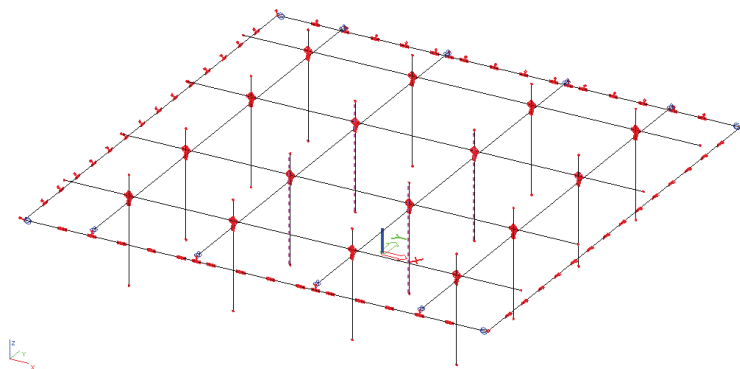


**Obrázek 73.** Deformace na zvětšených průřezech

#### 8.4.1.2 Změna materiálu vybraných sloupů

Nutnost změny materiálu jsem zjistil při výpočtu napětí, kde bylo překročeno maximální možné napětí. Jako náhradní materiál za dřevo třídy C24 jsem zvolil lepené lamelové dřevo třídy GL24h. Tato změna byla provedena na čtyřech vnitřních sloupech, které jsou nejvíce zatíženy. Změna materiálu je provedena pouze v první vrstvě sloupů, kde běžné dřevo nevyhovovalo.

Na obrázku jsou vyznačeny čtyři vnitřní sloupy, kde je běžné dřevo nahrazeno dřevem lepeným.



**Obrázek 74.** Sloupy z GL24h

## 9 POSOUZENÍ JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ

Bylo provedeno posouzení jednotlivých prvků.

Posouzení prvků z prostorového modelu se nachází v příloze.

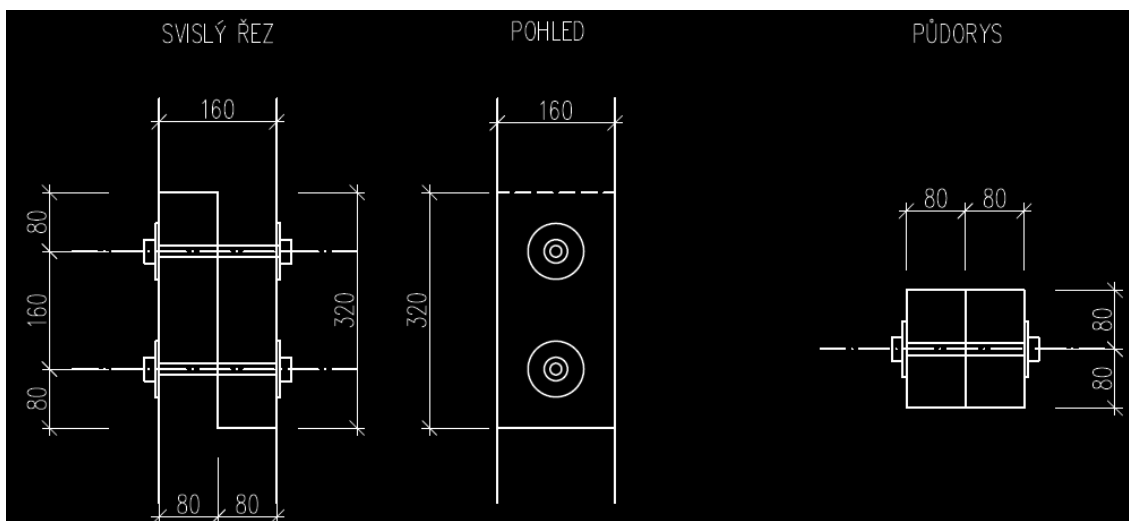
## 10 SPOJE

### 10.1 Spoj sloupu

Spoj sloupu není příliš obvyklým spojem, u většiny konstrukcí se nevyskytuje. Nejčastěji se s ním lze setkat u věžovitých konstrukcí.

Sloupy jsou namáhány primárně normálovou silou, ostatní složky jsou buď nulové, nebo zanedbatelné oproti normálovému namáhání. Veškeré normálové síly přenáší plochy dílců sloupu. Kovové svorníky jsou zde pouze pro propojení obou kusů. Dříve se zakotvení řešilo kovovou obručí přibitou hřebíky ke spojovaným prvkům.

Ve výpočtovém modelu je tento druh spoje modelován jako prostorový kloub se zamezením rotace kolem podélné osy prutů.

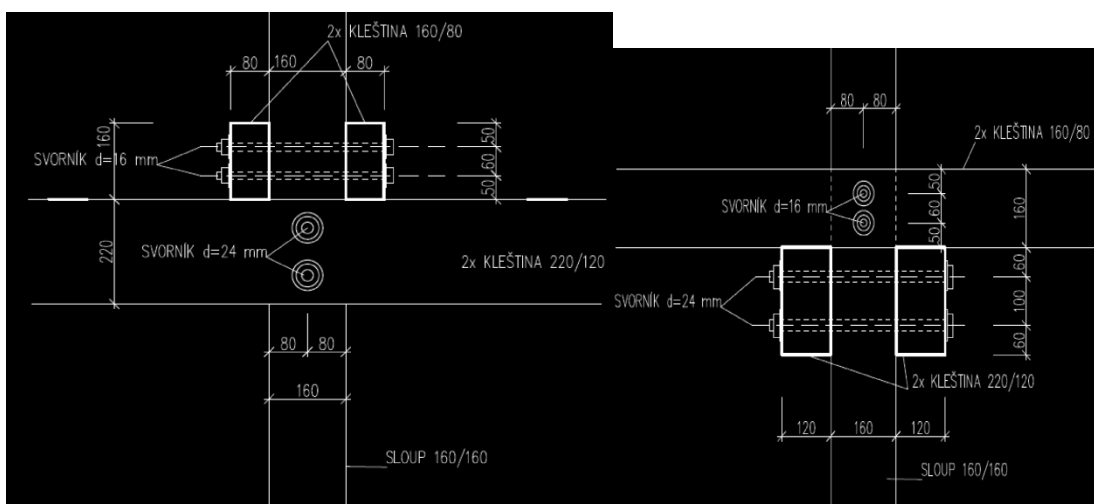


Obrázek 75. Spoj sloupu

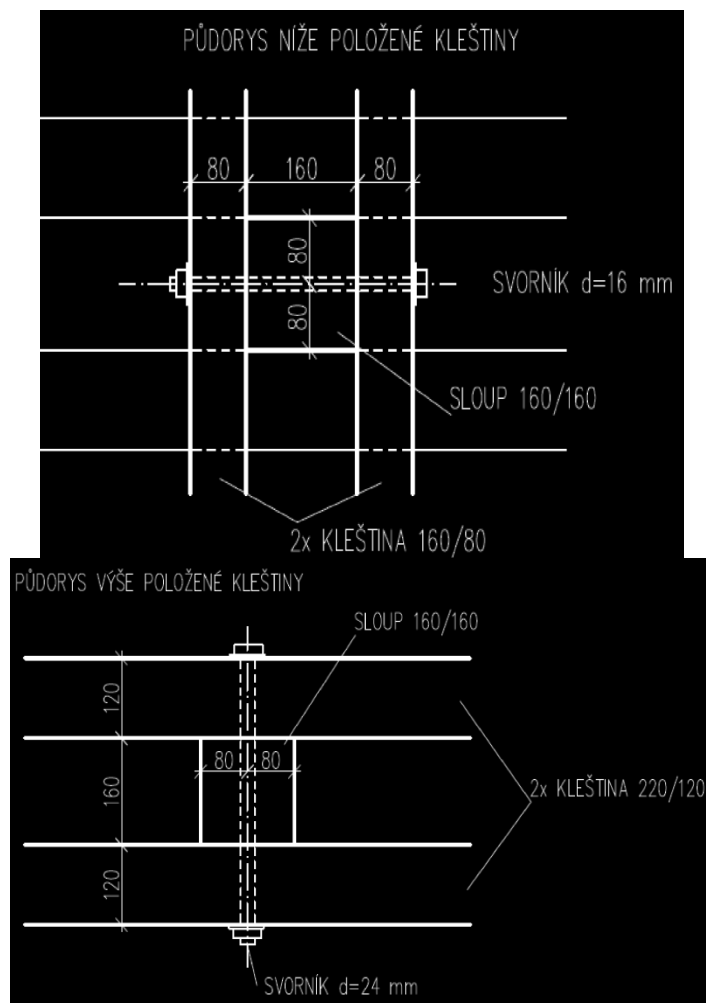
## 10.2 Připoj průvlaku ke sloupu

Je to typický spoj prutů na této konstrukci. Vyskytuje se ve všech podlažích. Jedná se o spoj se dvěma svorníky. Spoj má tři provedení z hlediska šířky připojovaných prvků (tloušťky 80, 120, 140 mm). Pro posudek jsem vybral varianty s šířkou 120 a 140 mm, z důvodu že jsou to hlavní vodorovné nosné prvky. Připojované pruty s šířkou 80 mm jsou uloženy na kleštině nižší výškové úrovni v daném patře, tím pádem tyto spoje primárně nepřenáší zatížení, ale zajišťují prostorovou polohu prvku.

Ve výpočtovém modelu je tento druh spoje modelován jako kloubové křížení.



Obrázek 76. Propojení sloupu a kleštin (průvlaků) – pohled



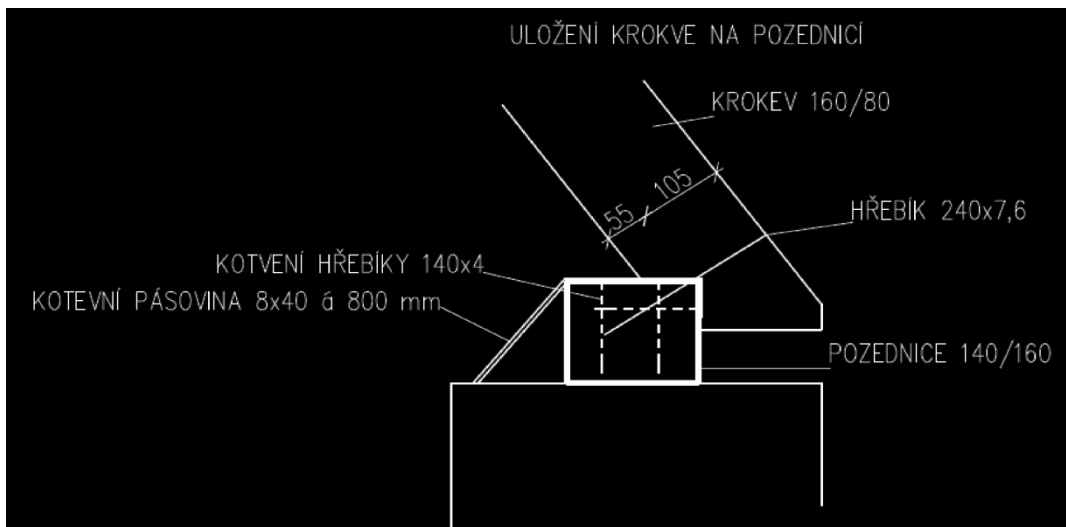
**Obrázek 77.** Propojení sloupu a kleštin (průvlaků) – řezy

### **10.3 Spoj krokve s pozednicí a pozednice k pozednímu věnci**

Uložení krokve na pozednici je řešeno klasickým osedláním krokve s oslabením jejího průřezu na 2/3 výšky oproti poli. Hřebík propojující krokev s pozednicí má význam pouze na udržení prostorové polohy krokve. U dříve provedených konstrukcí se lze občas setkat s případem, že tento hřebík chybí. Ve výpočtovém modelu je propojení pozednice a krokve pomocí tuhého ramene s kloubem na připojovaném prvku.

Pozednice je k pozednímu věnci kotvena pomocí kotevních pásovin, které jsou připojeny k pozednici hřebíky přes předvrtané otvory. Tento druh uložení je ve výpočtovém modelu řešen jako liniová podpora odebírající tři stupně volnosti v posunech a jeden stupeň volnosti v pootočení, a to rotaci kolem podélné osy. U

skutečného případu může dojít do jisté míry k pootočení. U výpočtového modelu je nutné pro stabilitu výpočtu tuto omezující podmínku zadat.

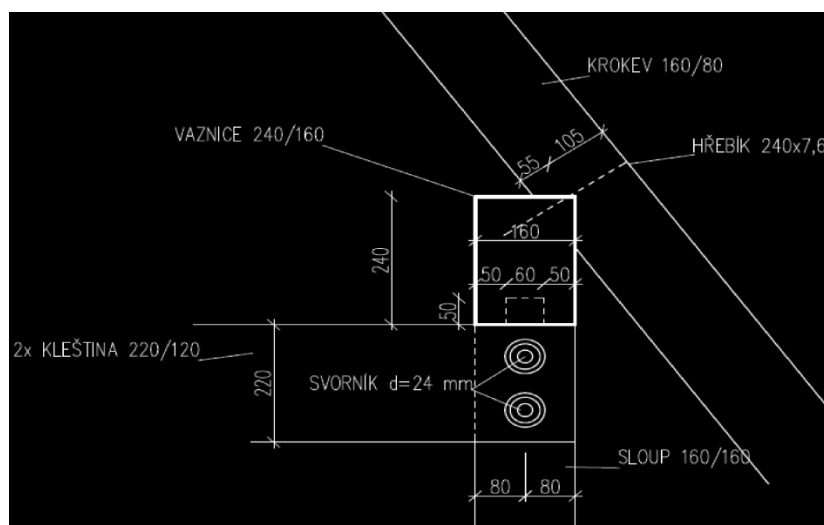


**Obrázek 78.** Detail pozednice a krokve

#### **10.4 Spoj krokve s vaznicí a osazení vaznice na sloup**

Uložení krokve na vaznici je řešeno klasickým osedláním krokve s oslabením jejího průřezu na 2/3 výšky oproti poli. Připojení ve výpočtovém modelu je analogické s připojením na pozednici.

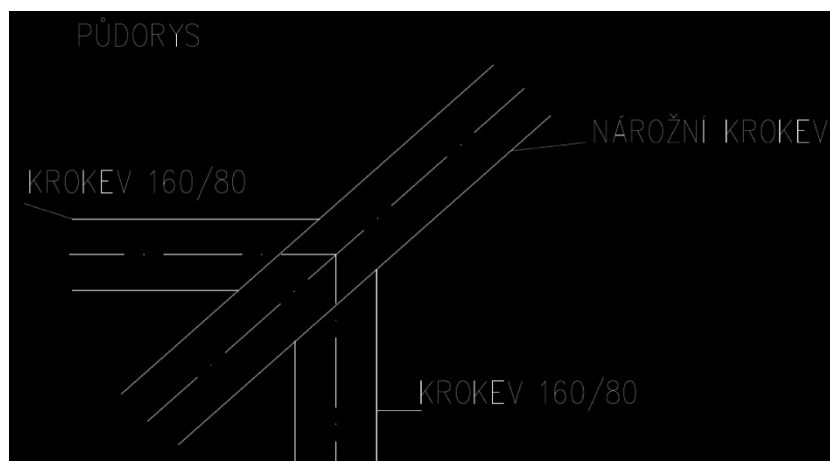
Vaznice je na sloupy připojena pomocí čepu. Ve výpočtovém modelu je propojení provedeno pomocí tuhých ramen s kloubem na připojovaném prvku.



**Obrázek 79.** Detail vaznice a krokve

## 10.5 Spoj krokve s nárožní krokví

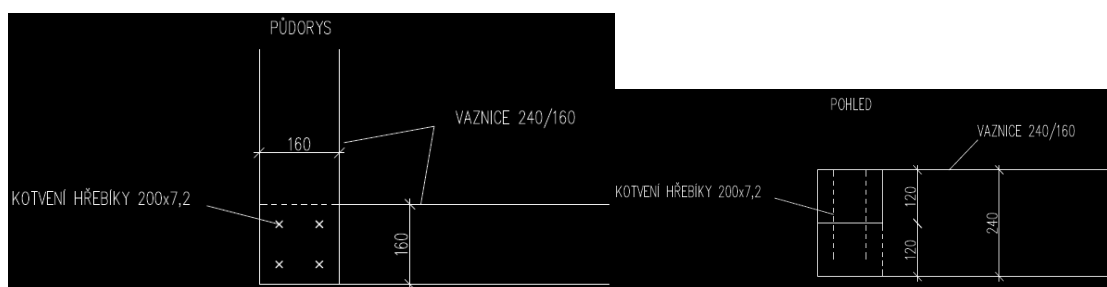
Připojovaná krokev je seříznuta k rovině boční stěny nárožní krokev. Připojení je provedeno hřebíky. Ve výpočtovém modelu je tento druh spoje modelován jako prostorový kloub se zamezením rotace kolem podélné osy prutů.



Obrázek 80. Půdorys připojení krovů ke krovci nárožní

## 10.6 Koutové spoje pozednic a vaznic

Tento spoj se nachází v každém rohu konstrukce. Spoj je analogicky stejný, jak pro pozednice, tak pro vaznice. Jsou zde sníženy oba spojované prvky na polovinu svojí tloušťky. Spojení hřebíky má spíše význam pro vzájemnou prostorovou polohu než pro přenos sil. Ve výpočtovém modelu je tento spoj řešen jako prostorový kloub.



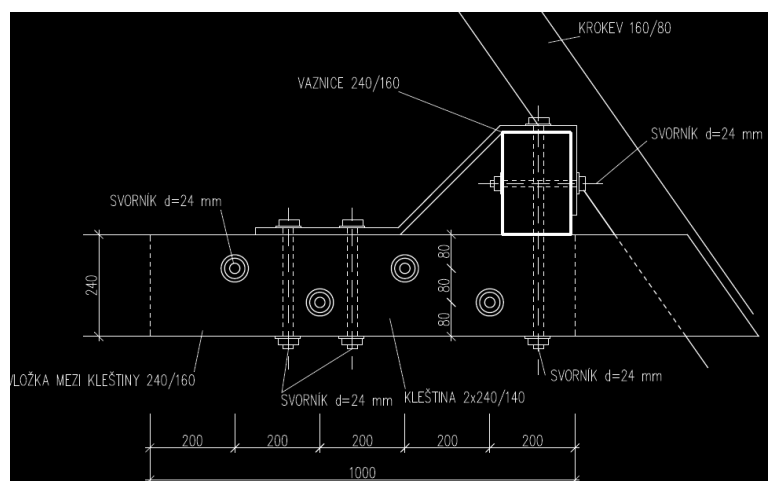
Obrázek 81. Koutové spojení pozednic



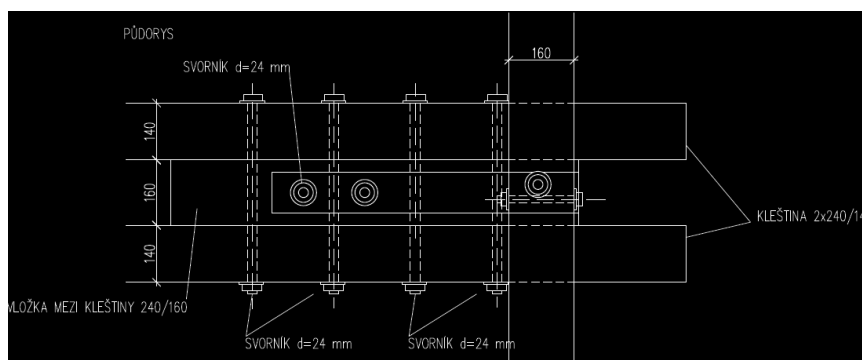
Obrázek 82. Koutové spojení vaznic

### 10.7 Připojení vaznice na konzole průvlaku

Tento přípoj není příliš obvyklý, vznikl z nutnosti osadit vaznici na konzolovitě vyložený průvlak. Průvlak se skládá ze dvou profilů mezi, kterými je mezera na šířku sloupu, což umožnilo vložit prvek mezi tyto dva profily a k němu následně přikotvit. V modelu je tento spoj vyřešen pomocí tuhého ramene mezi průvlakem a vaznicí. Na tuhém rameni je na připojovaném prvku umístěn kloub.



Obrázek 83. Pohled na spoj vaznice a průvlaku



Obrázek 84. Půdorys spoje vaznice a průvlaku

## 11 ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem zpracoval posouzení dřevěné konstrukce skládající se z prutových prvků. Byly vytvořeny čtyři výpočetní modely. Nejdříve byl vytvořen výpočetní model typické krokve, po tomto modelu následoval rovinný rámový model.

Těmito modely jsem získal předběžné rozměry prvků pro finální prostorové modely. Rovinné modely mohou dobře posloužit ke zjištění rozměrů a chování části z prvků, které budou tvořit prostorový model. Rovinné modely mají ovšem svoje limity. Jedním z těchto limitů je neschopnost kvalitně vystihnout chování konstrukce z hlediska menšího množství použitelných zatěžovacích stavů. Po analýze rovinných modelů byl proveden prostorový model pláště střešní roviny. Zde jsem získal představu o chování střešního pláště a vlivu různých kombinací zatížení. Na tomto relativně jednoduchém modelu jsem ověřil velikosti průhybů mezi ručně provedeným výpočtem a výpočtem programu Scia Engineer 2010.1. Rozdíl mezi těmito výsledky byl natolik malý, že jsem dále mohl deformace vycházející z programu za směrodatné. Jako poslední byl vytvořen prostorový model konstrukce jako celku. Tento model byl oproti předchozím složitější a bylo náročnější správně zadat okrajové podmínky. Při tvorbě prostorového modelu se ukázala spousta problémů, které nemohly předchozí modely vystihnout. Největším problémem, který prostorový model odhalil, se nacházel ve vodorovné konstrukci v hladině 3. Fakt, který nastal, nebyl v návrhu, podle kterého jsem konstrukci modeloval vůbec vystižen. Nevystižení tohoto problému by na konstrukci mohlo mít nepříjemné následky. Problém spočíval v nevyřešení v uložení vaznice v hladině 3. Tento nedostatek se mi povedlo odstranit. Ukázal se zde další nedostatek rovinných modelů a to v nedostatečném vystižení působících sil v jednotlivých prvcích a nutností změny průřezů prvků navržených v rovinných modelech. Odstranění tohoto problému je popsáno 8.4.1.1 Změna uložení prutů a průřezů.

Byly provedeny návrhy a posouzení použitých prutových prvků. Byly navrženy detaily a část z nich byla posouzena.

Při vypracovávání této bakalářské práce jsem upotřebil znalosti získané v části předmětů bakalářského studijního programu. Prohloubil jsem si znalosti navrhování a posuzování prvků dřevěných konstrukcí. Značně jsem se také zlepšil v používání výpočetního programu Scia Engineer a modelaci v něm.



## 12 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- (1) Architektonický návrh dřevostavby
- (2) EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- (3) EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- (4) EN 1991-1-3: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- (5) EN 1991-1-4: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- (6) EN 1995-1-1 Navrhování dřevěných konstrukcí, Část 1-1: Společná pravidla pro pozemní stavby
- (7) Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby
- (8) Blass, H.J. a kol.: Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, STEP 1, KODR Zlín, (překlad Koželuh, B.), 1999
- (9) Kadlčák J., Kytýr J.: Statika stavebních konstrukcí I, nakladatelství VUTIUM, vydání 3, Brno 2010, ISBN 978-80-214-3419-6
- (10) Šmiřák S.: Pružnost a plasticita I pro distanční studium, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno 1999, ISBN 80-214-1151-1
- (11) Straka B., Sýkora K.: Dřevěné konstrukce modul BO03 – M01  
Mechanické vlastnosti dřeva

## **12.1 Seznam obrázků:**

- Obrázek 1.** Axonometrické zobrazení prostorového prutového modelu
- Obrázek 2.** Axonometrické zobrazení výpočtového modelu prostorového prutového modelu
- Obrázek 3.** Prostý nosník kloubově uložený (6)
- Obrázek 4.** Střednicový prut s přímou střednicí (6)
- Obrázek 5.** Složky výslednice sil přímého prostorového nosníku (6)
- Obrázek 6.** Souřadný systém nosníku (6)
- Obrázek 7.** Hladina 1
- Obrázek 8.** Hladina 2
- Obrázek 9.** Hladina 3
- Obrázek 10.** Hladina 4
- Obrázek 11.** Průřez sloupu
- Obrázek 12.** Průřez spodní řady kleštín
- Obrázek 13.** Průřez horní řady kleštín
- Obrázek 14.** Průřez kleštín z hladiny 3
- Obrázek 15.** Průřez vaznice
- Obrázek 16.** Průřez krokve
- Obrázek 17.** Průřez nárožní krokve
- Obrázek 18.** Průřez pozednice
- Obrázek 19.** Pokles pevnosti dřeva v závislosti na čase (8)
- Obrázek 20.** Pokles pevnosti dřeva v závislosti na jeho vlhkosti (8)
- Obrázek 21.** Model uložení krokve na vaznici
- Obrázek 22.** Model uložení krokve na pozednici
- Obrázek 23.** Model uložení krokve a kleštiny na pozednici
- Obrázek 24.** Model uložení sloupu na základovou patku
- Obrázek 25.** Kloub v rámovém modelu umožňující pootočení v rovině rámu
- Obrázek 26.** Model uložení krokve u prostorového modelu střešního pláště v místě pozednice
- Obrázek 27.** Model uložení krokve u prostorového modelu střešního pláště v místě vaznice
- Obrázek 28.** Kloubové okrajové podmínky na krokvích

- Obrázek 29.** Kloubová okrajová podmínky spoji krokev-nárožní krokev
- Obrázek 30.** Model uložení spodního sloupu
- Obrázek 31.** Model vzájemného kloubového spojení sloupů
- Obrázek 32.** Model liniové podpory
- Obrázek 33.** Model uzlové podpory zamezující rotaci prutu
- Obrázek 34.** Kloubové připojení krokvi na prostorovém modelu celkové konstrukce
- Obrázek 35.** Kloubové připojení krokve k nárožní krokvi na prostorovém modelu celkové konstrukce
- Obrázek 36.** ZS2 Ostatní stálé zatížení – vnitřní
- Obrázek 37.** ZS3 Zatížení příčkami
- Obrázek 38.** ZS4 Ostatní stálé zatížení – střešní plášť
- Obrázek 39.** ZS5 Nahodilé vnitřní plné zatížení
- Obrázek 40.** ZS6 Nahodilé vnitřní šach 1
- Obrázek 41.** ZS6 Nahodilé vnitřní šach 2
- Obrázek 42.** ZS8 Sníh 1
- Obrázek 43.** ZS9 Sníh 2
- Obrázek 44.** ZS10 Sníh 3
- Obrázek 45.** ZS11 Sníh 4
- Obrázek 46.** ZS12 Sníh 5
- Obrázek 47.** ZS13 Sníh 6
- Obrázek 48.** ZS14 Sníh 7
- Obrázek 49.** Normový obrázek zatížení větru do plochy valbové střech
- Obrázek 50.** Normový obrázek zatížení větru do valby valbové střechy
- Obrázek 51.** Zatížení řešené konstrukce větrem
- Obrázek 52.** ZS15 – Vítr 1
- Obrázek 53.** ZS16 – Vítr 2
- Obrázek 54.** ZS17 – Vítr 3
- Obrázek 55.** ZS18 – Vítr 4
- Obrázek 56.** Osový model spojitě krokve
- Obrázek 57.** Model s proměnným profilem
- Obrázek 58.** Deformace na rovinném modelu krokve
- Obrázek 59.** Zadání pokusného modelu

- Obrázek 60.** Zadání pokusného modelu s tuhým křížením
- Obrázek 61.** Výsledné ohybové momenty na tuhém křížení
- Obrázek 62.** Zadání pokusného modelu s kloubovým křížením
- Obrázek 63.** Výsledné ohybové momenty na kloubovém křížení
- Obrázek 64.** Rovinný rám model
- Obrázek 65.** Rovinný rám model deformace
- Obrázek 66.** Prostorový model střešního pláště
- Obrázek 67.** Deformace na modelu střešního pláště
- Obrázek 68.** Prostorový model celé konstrukce
- Obrázek 69.** Zobrazení průřezů na prutovém modelu
- Obrázek 70.** Propojení vaznic a kleštín
- Obrázek 71.** Deformace na původních průřezech
- Obrázek 72.** Ohybové momenty v rovině vazby s pásky
- Obrázek 73.** Deformace na zvětšených průřezech
- Obrázek 74.** Sloupy z GL24h
- Obrázek 75.** Spoj sloupu
- Obrázek 76.** Propojení sloupu a kleštín (průvlaků) – pohled
- Obrázek 77.** Propojení sloupu a kleštín (průvlaků) – řezy
- Obrázek 78.** Detail pozednice a krokve
- Obrázek 79.** Detail vaznice a krokve
- Obrázek 80.** Půdorys připojení krokví ke krokvi nárožní
- Obrázek 81.** Koutové spojení pozednic
- Obrázek 82.** Koutové spojení vaznic
- Obrázek 83.** Pohled na spoj vaznice a průvlaku
- Obrázek 84.** Půdorys spoje vaznice a průvlaku

## 13 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

|            |  |
|------------|--|
| A          | Plocha průřezu                                 |
| b          | Šířka průřezu                                  |
| $c_1$      | Vzdálenost tažených vláken od těžiště průřezu  |
| $c_2$      | Vzdálenost tlačných vláken od těžiště průřezu  |
| C24        | Třída pevnosti za ohybu rostlého dřeva 24 MPa  |
| E          | Modul pružnosti                                |
| F          | Síla obecně                                    |
| $F_{ix}$   |  |
| G          | Smykový modul pružnosti                        |
| GL24h      | Lepené lamelové dřevo pevnosti za ohybu 24 MPa |
| GSS        | Globální souřadný systém                       |
| h          | Výška průřezu                                  |
| $I_y$      | Moment setrvačnosti k ose y                    |
| $I_z$      | Moment setrvačnosti k ose z                    |
| $k_{def}$  | Součinitel dotvarování                         |
| $k_{mod}$  | Modifikační součinitel                         |
| L          | Délka prutu                                    |
| LSS        | Lokální souřadný systém                        |
| MPa        | Megapascal                                     |
| MPK        | Metoda konečných prvků                         |
| $M_x$      | Ohybový moment okolo osy x                     |
| $M_y$      | Ohybový moment okolo osy y                     |
| $M_z$      | Ohybový moment okolo osy z                     |
| N          | Normálová síla                                 |
| NAD        | Národní dodatek                                |
| $R_a$      | Reakce v bodě a                                |
| $R_{ax}$   | Reakce v bodě a ve směru osy x                 |
| $R_b$      | Reakce v bodě b                                |
| $u_{fin}$  | Konečný průhyb                                 |
| $u_{inst}$ | Počáteční průhyb                               |
| $V_y$      | Posouvající síla ve směru osy y                |

|            |                                   |
|------------|-----------------------------------|
| $V_z$      | Posouvající síla ve směru osy z   |
| $W_y$      | Průřezový modul k ose y           |
| $W_z$      | Průřezový modul k ose z           |
| $X_d$      | Obecná návrhová vlastnost         |
| $X_k$      | Obecná charakteristická vlastnost |
| 1bm        | Jeden metr běžný                  |
| 1.PP       | První podzemní podlaží            |
| 1.NP       | První nadzemní podlaží            |
| 2.NP       | Druhé nadzemní podlaží            |
| 3.NP       | Třetí nadzemní podlaží            |
| $\sigma_x$ | Napětí k ose x                    |

## **14 SEZNAM PŘÍLOH**

*A. Schéma konstrukce*

*B. Výpočty zatížení*

*C. Posudky prvků*

*D. Posudky spojů*

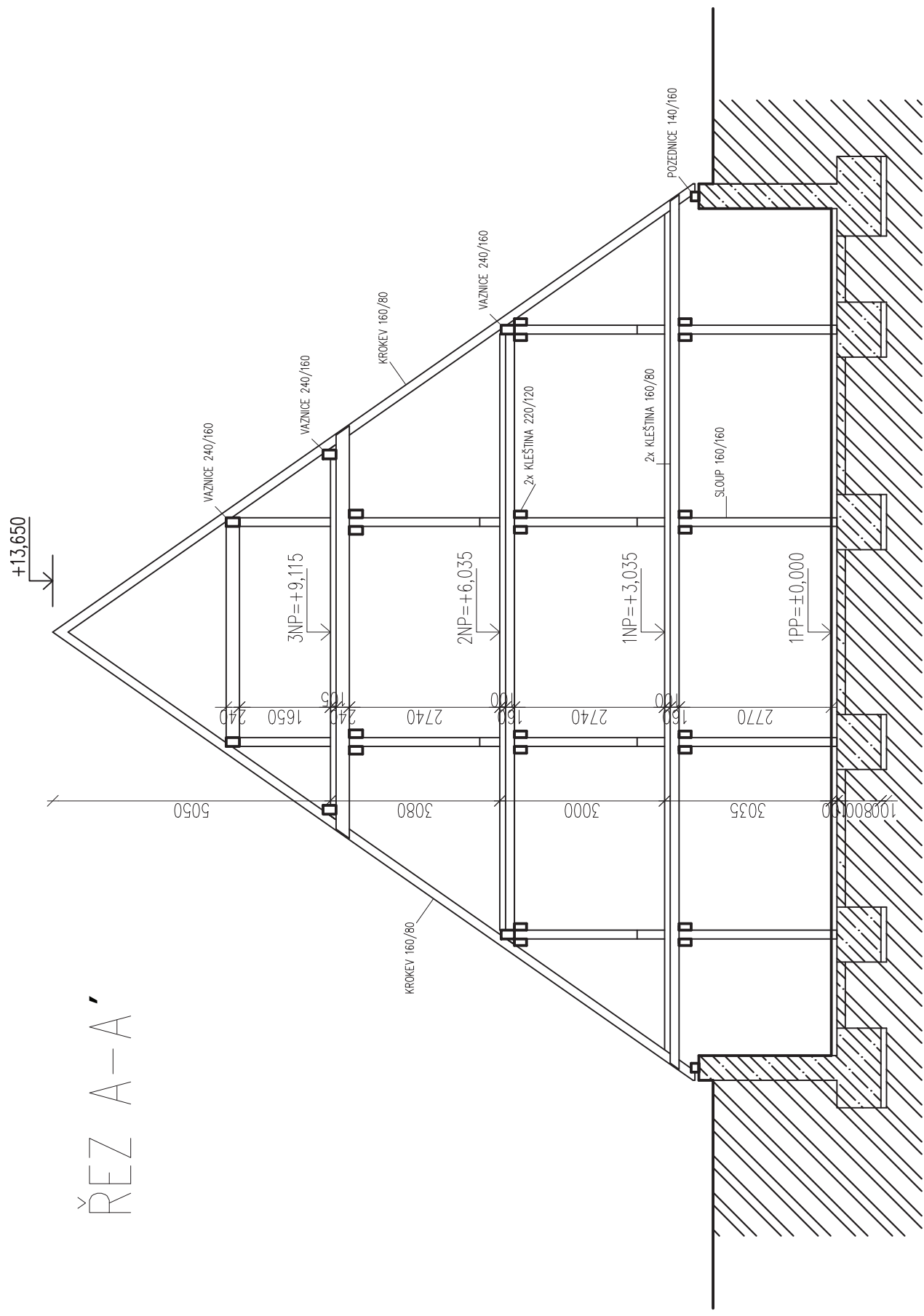
## **15 PŘÍLOHY**

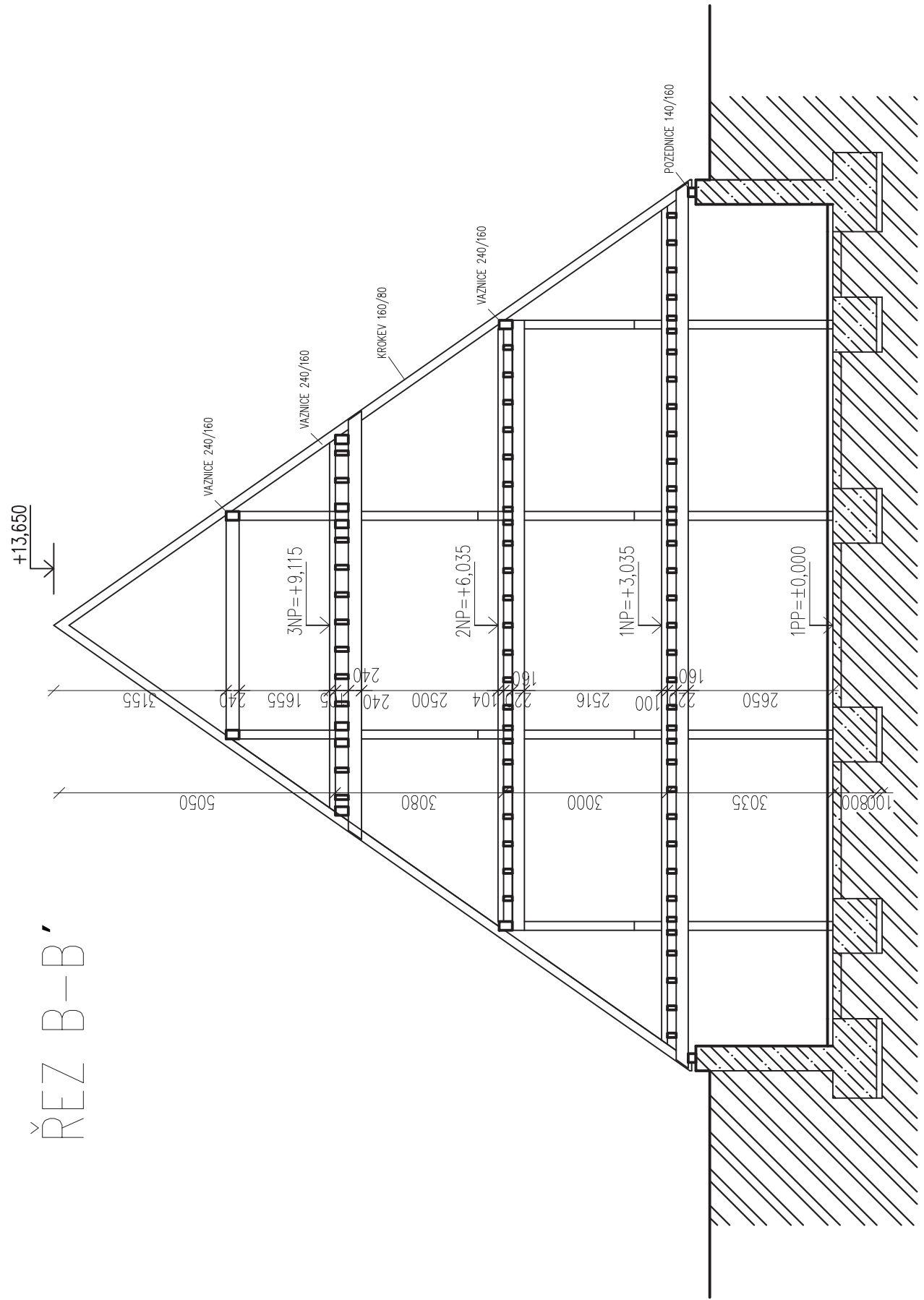
.



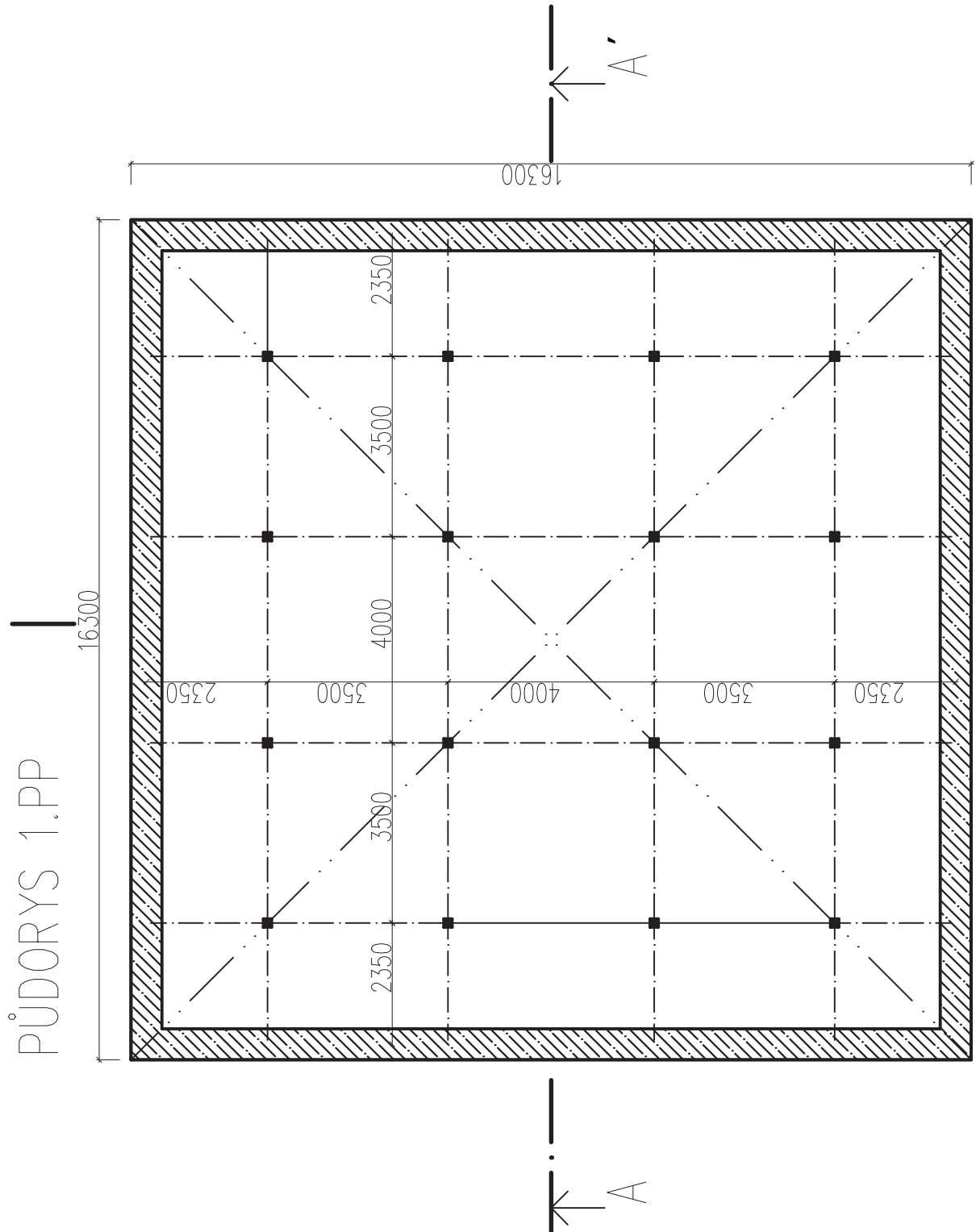
## **A) SCHÉMATA KONSTRUKCE**

# ŘEZ A-A'

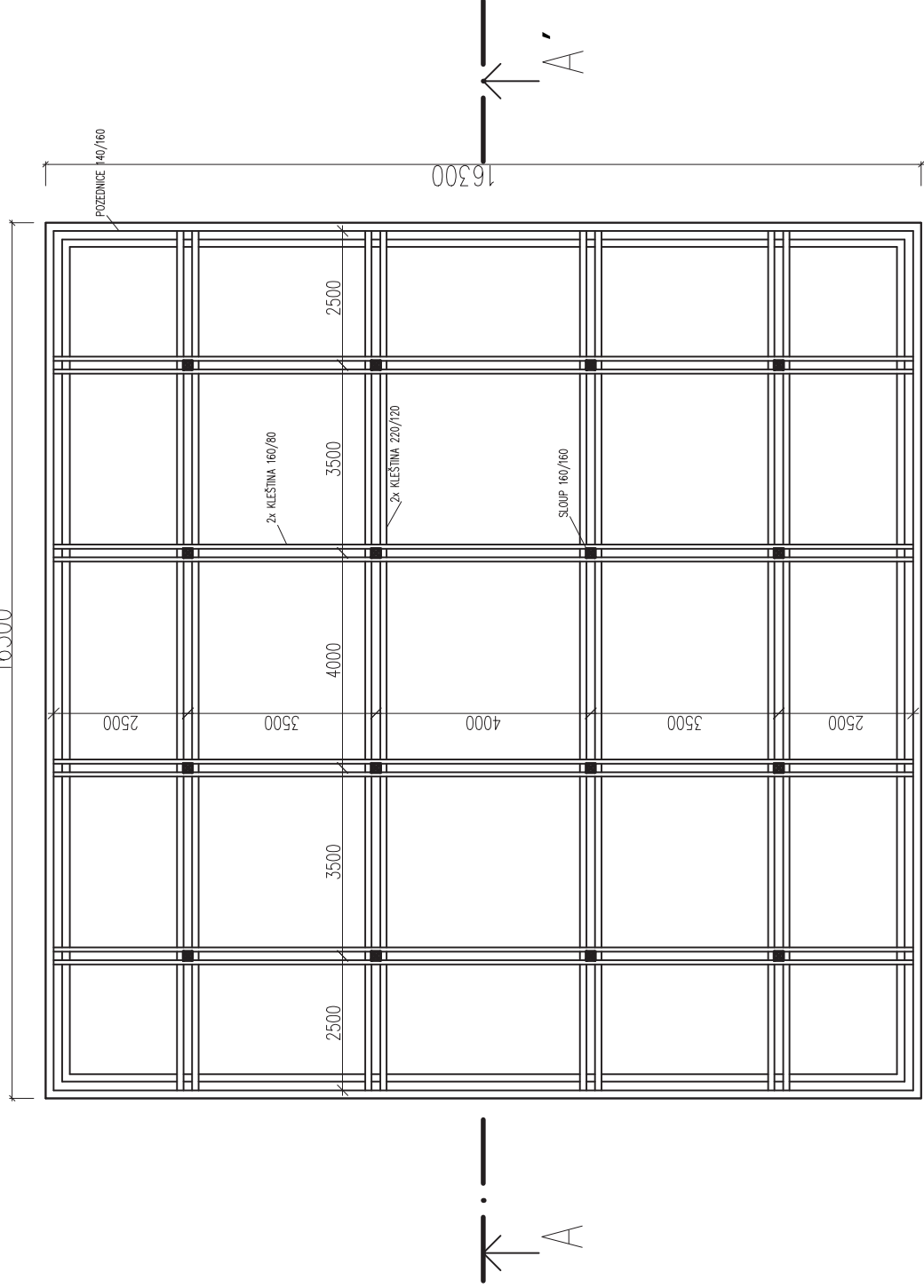




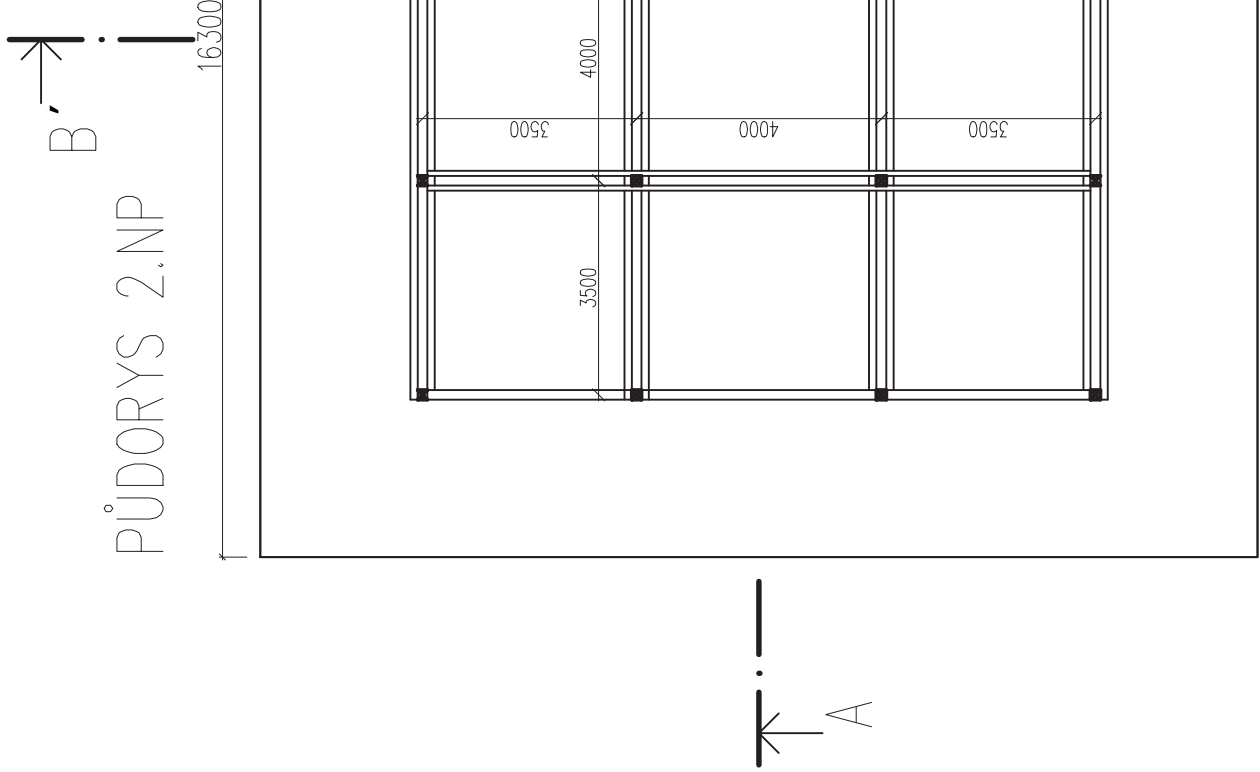
ŘEZ B-B'

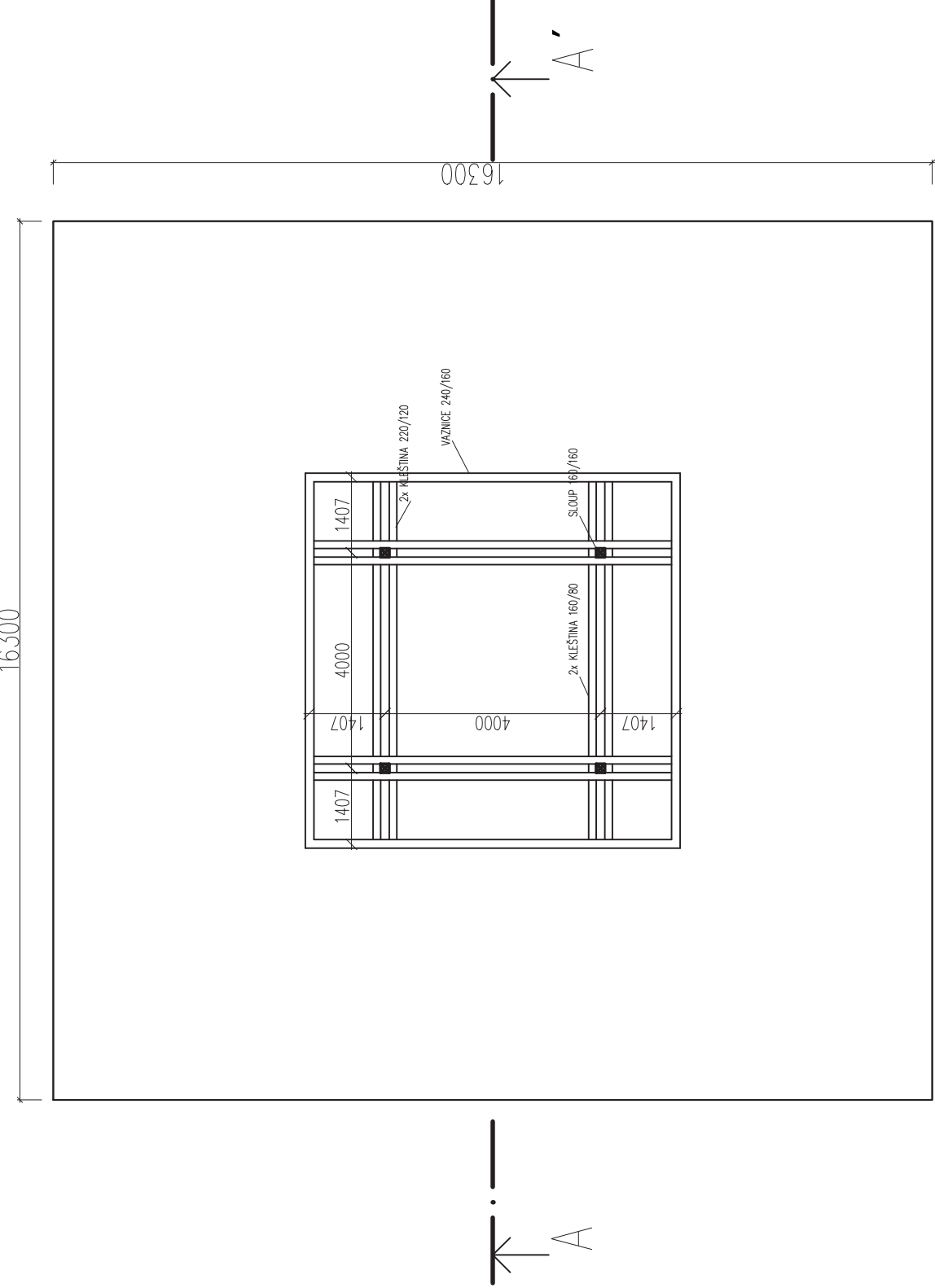


PŮDORYS 1.NP



PŮDORYS 2.NP





PŮDORYS 3.NP

## **B) VÝPOČTY ZATÍŽENÍ**

## Zatížení sněhem

Staveniště je uvažováno v Hostýnských vrších, ve sněhové oblasti V, do nadmořské výšky  $H < 1000$  m.n.m.

Sklon střešní roviny  $\alpha = 55^\circ$

Příslušné vstupní hodnoty:

|  |                                    |                   |
|--|------------------------------------|-------------------|
| $S_k$ - Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi v příslušném místě (kN/m <sup>2</sup> ) | $S_k = 2,5$                        | kN/m <sup>2</sup> |
| $\psi_0$ - Součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení                                 | $\psi_0 = 0,5$                     |                   |
| $\psi_1$ - Součinitel pro častou hodnotu proměnného zatížení                                     | $\psi_1 = 0,2$                     |                   |
| $\psi_2$ - Součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení                                | $\psi_2 = 0$                       |                   |
| $C_e$ - Součinitel topografie  | $C_e = 0,8$                        |                   |
| $C_t$ - Součinitel teploty pro střechy s propustností nad $W/m^2K$                               | $C_t = 1,0$                        |                   |
| $\mu_1$ - Součinitel tvaru sedlové střechy (dle $\alpha = 55^\circ$ )                            | $\mu_1 = 0,8(60-\alpha)/30 = 0,13$ |                   |

Zatížení sněhem na střeše

$$s = \mu_1 * C_e * C_t * S_k$$

$$s = 0,27 \quad \text{kN/m}^2$$

zatížení na 1bm krokve:

zatěžovací šířka: 1 m

$$\alpha = 55^\circ$$

$$sk = zš * s * \cos\alpha$$

$$sk = 0,153 \text{ kN/m}$$

**Zatížení stálé**

| Konstrukční vrstvy střechy:            |           |             | hmotnost (kg/m <sup>2</sup> ) | kN/m <sup>2</sup> |
|--|-----------|-------------|-------------------------------|-------------------|
| Krytina Bramac Classic                 |           |             | 43,000                        | 0,430             |
| Latě                                   | 40*60mm   | 4ks         | 4,800                         | 0,048             |
| Folie HI                               |           |             | 0,110                         | 0,001             |
| Tepelná izolace $\rho=92\text{kg/m}^3$ |           | 0,92*0,18*1 | 9,270                         | 0,093             |
| Latě                                   | 40*60mm   | 1ks         | 1,200                         | 0,012             |
| Folie HI                               |           |             | 0,120                         | 0,001             |
| Sádkokarton                            | tl.12,5mm |             | 9,200                         | 0,092             |
|  |           | celkem:     | 67,700                        | 0,677             |

## Konstrukční vrstvy podlah a stropů v interiéru:

|                              |  |             | hmotnost (kg/m <sup>2</sup> ) | kN/m <sup>2</sup> |
|------------------------------|--|-------------|-------------------------------|-------------------|
| Plovoucí podlaha             |  |             | 9,000                         | 0,09              |
| OSB deska tl.10mm            |  |             | 6,400                         | 0,06              |
| Kročejová izolace tl.30mm    |  | 0,92*0,03*1 | 2,760                         | 0,03              |
| OSB desky tl.2*18mm          |  | 2*10,5kg    | 21,000                        | 0,21              |
| Stropní fošny 60*220 á500 mm |  |             | 3,300                         | 0,03              |
| Palubkový podhled tl.16mm    |  |             | 8,000                         | 0,08              |
|                              |  | celkem:     | 50,460                        | 0,5               |

## Konstrukční vrstvy příček:

|                             |  |                     | hmotnost (kg/m <sup>2</sup> ) | kN/m <sup>2</sup> |
|-----------------------------|--|---------------------|-------------------------------|-------------------|
| Dřevovláknitá deska tl.18mm |  |                     | 11,520                        | 0,12              |
| Zvuková izolace tl.80mm     |  | 0,92*0,08*1         | 7,400                         | 0,07              |
| Dřevěný nosný rošt á1000mm  |  | (0,08*0,08*1)*2*500 | 6,400                         | 0,06              |
| Dřevovláknitá deska tl.18mm |  |                     | 11,520                        | 0,12              |
|                             |  | celkem:             | 36,840                        | 0,37              |
|                             |  | výška příček:       | 2,600 m                       |                   |
|                             |  | půdorysně celkem:   | 95,784                        | 0,96              |

## Zatížení větrem

Staveniště je uvažováno v Hostýnských vrších, ve sněhové oblasti V, do nadmořské výšky  $H < 1000$  m.n.m.

Větrná oblast č.II  $v_{b,0} = 25 \text{ ms}^{-1}$

$C_{dir} = 1,0$

$C_{season} = 1,0$

Základní rychlost větru

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0}$$

$v_b = 25 \text{ ms}^{-1}$

Základní tlak větru

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2$$

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

$q_b = 0,39 \text{ kN/m}^2$

Kategorie terénu

II- Oblast souvisle pokrytá vegetací nebo budovami (vesnice, předměstské oblasti, souvislé lesy), samostatně stojící překážky

$z_0 = 0,3 \text{ m}$

$z_{min} = 5 \text{ m}$

$k_r = 0,22$

Součinitel drsnosti ve výšce

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(\max(z; z_{min}) / z_0)$$

$c_r(z) = 0,79$

$z = 12 \text{ m}$

součinitel expozice ve výšce z

$z = 12 \text{ m}$

součinitel turbulence

$k_t = 1,0$

součinitel orografie ve výšce z

$c_o(z) = 1,0$

zatížení větrem

$$c_e(z) = c_i(z)^2 \cdot c_o(z)^2 + 7c_i(z) \cdot c_o(z) \cdot k_r \cdot k_f$$

$$c_e(z) = 1,82$$

Nárazový tlak ve výšce z

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

$$q_p(z) = 0,71 \text{ kN/m}^2$$

Stanovení součinitele vnějšího tlaku

Střecha se svým tvarem je zvláštním případem valbové střechy, tudíž jsem použil při určení použil tabulku 7.5; obraz 7.9

| Uhel sklonu                      | Oblast pro směr větru $\theta=0^\circ$ a $\theta=90^\circ$ |            |             |            |             |            |             |            |             |            |             |            |
|----------------------------------|--|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|                                  | F  |            | G           |            | H           |            | I           |            | J           |            |             |            |
| $\alpha_0$ pro $\theta=0^\circ$  | $C_{pe,10}$  | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ |
| $\alpha_0$ pro $\theta=90^\circ$ |  |            |             |            |             |            |             |            |             |            |             |            |
| 45°                              |  | 0,70       |             | 0,70       |             | 0,60       |             | -0,30      |             | -0,30      |             | -0,60      |
| Interpolace 55°                  |  | 0,70       |             | 0,70       |             | 0,66       |             | -0,30      |             | -0,30      |             | -0,60      |
| 60°                              |  | 0,70       |             | 0,70       |             | 0,70       |             | -0,30      |             | -0,30      |             | -0,60      |

Vítr  $\theta=0^\circ$ :

|   |   |                               |
|---|---|-------------------------------|
| F | $w_k(z) = C_{pe,10} \cdot c_e(z) \cdot q_b$ | $w_k(z) = 0,5 \text{ kN/m}^2$ |
| G | $w_k(z) = 0,5 \text{ kN/m}^2$               |                               |
| H | $w_k(z) = 0,47 \text{ kN/m}^2$              |                               |
| I | $w_k(z) = -0,21 \text{ kN/m}^2$             |                               |
| J | $w_k(z) = -0,43 \text{ kN/m}^2$             |                               |
| K | $w_k(z) = -0,21 \text{ kN/m}^2$             |                               |
| L | $w_k(z) = -0,88 \text{ kN/m}^2$             |                               |
| M | $w_k(z) = -0,19 \text{ kN/m}^2$             |                               |
| N | $w_k(z) = -0,14 \text{ kN/m}^2$             |                               |

zatížení větrem

| K           |            | L          |             | M          |             | N          |             |
|-------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ |
| -0,30       | -1,30      | -2,00      | 0,00        | -1,20      | -0,20       | -0,20      | -0,20       |
| -0,30       | -1,23      | -2,00      | -0,27       | -0,67      | -0,20       | -0,20      | -0,20       |
| -0,30       | -1,20      | -2,00      | -0,40       | -0,20      | -0,20       | -0,20      | -0,20       |

## ***C) POSUDKY PRVKŮ***

## Posudek sloupů

### Sloup 1 vrstvy u paty sloupu

Sloup B11 maxN

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 2,950 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,760 \text{ m}$$

$$I_y = 5,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 5,46 \cdot 10^{-5}$$

$$W_y = 6,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_z = 6,82 \cdot 10^{-4}$$

$$A = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Lepené lamelové dřevo třídy GL24h

$$E_{0,05} = 9400,000 \text{ Mpa}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 132,400 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 0,000 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,000 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

Lepené lamelové dřevo třídy GL24h

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 24 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,25$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 17,28 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 17,28 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 17,28 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 10,34 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 2,950 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Štíhlost} \quad \lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = 63,88$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1,03 > 0,3$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

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

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,67$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy z:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,y} = 2,760$$

$$i_y = \sqrt{I_z / A} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Štíhlost} \quad \lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = 59,76$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 0,96 > 0,3$$

Součinitel  $k_y$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1,03$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,72$$

Sloup 1 vrstvy

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,89 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,89 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability

Pro celistvý průřez

$$b = 0,160 \text{ m}$$

$$h = 0,160 \text{ m}$$

$$l_{ef} = 2,950 \text{ m}$$

$$E_{0,05} = 9400,000 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

$$\sigma_{m,crit} = 397,668 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,246$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,89 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posudek sloupů****Sloup 1 vrstvy u paty sloupu**

Sloup B8 minN

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 2,950 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,760 \text{ m}$$

$$I_y = 5,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 6,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$A = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_z = 5,46 \cdot 10^{-5}$$

$$W_z = 6,82 \cdot 10^{-4}$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 38,550 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 0,000 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,000 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 3,01 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 2,950 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} \quad 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Štíhlost} \quad \lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} \quad 63,88$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad 1,14 > 0,3$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1,23$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad 0,59$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy z:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,y} = 2,760$$

$$i_y = \sqrt{I_z / A} \quad 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Štíhlost} \quad \lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} \quad 59,76$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad 1,07 > 0,3$$

Součinitel  $k_y$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1,14$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad 0,64$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,35 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,35 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability

Pro celistvý průřez

$$b = 0,160 \text{ m}$$

$$h = 0,160 \text{ m}$$

$$l_{ef} = 2,950 \text{ m}$$

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

$$\sigma_{m,crit} = 283,444 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,291$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,35 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

## Posudek sloupů

### Sloup 1 vrstvy u paty sloupu

Sloup B11 maxN

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 2,950 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,760 \text{ m}$$

$$I_y = 5,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 5,46 \cdot 10^{-5}$$

$$W_y = 6,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_z = 6,82 \cdot 10^{-4}$$

$$A = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Lepené lamelové dřevo třídy GL24h

$$E_{0,05} = 9400,000 \text{ Mpa}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 91,340 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -0,130 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,190 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

Lepené lamelové dřevo třídy GL24h

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 24 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 7,14 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0,38 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 1,11 \text{ Mpa}$$

### Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:

Kritická vzpěrná délka  $L_{cr,z} = 2,950 \text{ m}$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,05 \text{ m}$$

Štíhlost  $\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = 63,88$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1,03 > 0,3$$

Součinitel  $k_z$

$$\beta_c = 0,200$$

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

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,67$$

### Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy z:

Kritická vzpěrná délka  $L_{cr,y} = 2,760$

$$i_y = \sqrt{I_z / A} = 0,05 \text{ m}$$

Štíhlost  $\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = 59,76$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 0,96 > 0,3$$

Součinitel  $k_y$

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1,03$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,72$$

Sloup 1 maxN strop

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,71 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,72 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability

Pro celistvý průřez

$$b = 0,160 \text{ m}$$

$$h = 0,160 \text{ m}$$

$$l_{ef} = 2,950 \text{ m}$$

$$E_{0,05} = 9400,000 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

$$\sigma_{m,crit} = 397,668 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,246$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,65 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

## Posudek sloupů

### Sloup 1 vrstvy u paty sloupu

Sloup B8 minN

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 2,950 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,760 \text{ m}$$

$$I_y = 5,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 6,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_z = 5,46 \cdot 10^{-5}$$

$$W_z = 6,82 \cdot 10^{-4}$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 10,580 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 0,060 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,100 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,83 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0,18 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,58 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 2,950 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} \quad 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Štíhlost} \quad \lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} \quad 63,88$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad 1,14 > 0,3$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1,23$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad 0,59$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy z:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,y} = 2,760$$

$$i_y = \sqrt{I_z / A} \quad 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Štíhlost} \quad \lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} \quad 59,76$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad 1,07 > 0,3$$

Součinitel  $k_y$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_y = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1,14$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad 0,64$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,13 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,14 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability  
Pro celistvý průřez

$$b = 0,160 \text{ m}$$

$$h = 0,160 \text{ m}$$

$$l_{ef} = 2,950 \text{ m}$$

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

$$\sigma_{m,crit} = 283,444 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,291$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

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

**Posudek sloupů****Sloup 2 vrstvy u paty sloupu**

Sloup B30 maxN

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 2,862 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,862 \text{ m}$$

$$I_y = 5,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 6,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$A = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_z = 5,46 \cdot 10^{-5}$$

$$W_z = 6,82 \cdot 10^{-4}$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 90,990 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 0,000 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,000 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 7,11 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 2,862 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,05 \text{ m}$$

$$\checkmark \text{Štíhlost} \quad \lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = 61,97$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1,1 > 0,3$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1,19$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,61$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy z:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,y} = 2,862$$

$$i_y = \sqrt{I_z / A} = 0,05 \text{ m}$$

$$\checkmark \text{Štíhlost} \quad \lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = 61,97$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1,1 > 0,3$$

Součinitel  $k_y$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_y = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1,19$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,61$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,8 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,8 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability

Pro celistvý průřez

$$b = 0,160 \text{ m}$$

$$h = 0,160 \text{ m}$$

$$l_{ef} = 2,862 \text{ m}$$

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

$$\sigma_{m,crit} = 292,159 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,287$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,8 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

## Posudek sloupů

### Sloup 2 vrstvy

Sloup B36 min N- sloup je tažen

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 2,950 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,760 \text{ m}$$

$$I_y = 5,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 6,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 5,46 \cdot 10^{-5}$$

$$W_z = 6,82 \cdot 10^{-4}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 14,370 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -0,140 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,110 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{t,0,d} = N_{ed} / A = 1,12 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0,41 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,64 \text{ Mpa}$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

Sloup 2 Nmin

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,17 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,17 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posudek sloupů****Sloup 2 vrstvy**

Sloup B44 maxM

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 2,862 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,862 \text{ m}$$

$$I_y = 5,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 5,46 \cdot 10^{-5}$$

$$W_y = 6,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_z = 6,82 \cdot 10^{-4}$$

$$A = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 14,760 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 0,000 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 1,400 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 1,15 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 8,19 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 2,862 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Štíhlost} \quad \lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = 61,97$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1,1 > 0,3$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1,19$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,61$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy z:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,y} = 2,862$$

$$i_y = \sqrt{I_z / A} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Štíhlost} \quad \lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = 61,97$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1,1 > 0,3$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_y = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1,19$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,61$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,47 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,62 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability

Pro celistvý průřez

$$b = 0,160 \text{ m}$$

$$h = 0,160 \text{ m}$$

$$l_{ef} = 2,862 \text{ m}$$

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

$$\sigma_{m,crit} = 292,159 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,287$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,16 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posudek sloupů****Sloup 2 vrstvy**

Sloup B37 minM

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 2,862 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,862 \text{ m}$$

$$I_y = 5,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 5,46 \cdot 10^{-5}$$

$$W_y = 6,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_z = 6,82 \cdot 10^{-4}$$

$$A = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 13,030 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 0,000 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -1,370 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 1,02 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 8,01 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 2,862 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Štíhlost} \quad \lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = 61,97$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1,1 > 0,3$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1,19$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,61$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy z:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,y} = 2,862$$

$$i_y = \sqrt{I_z / A} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Štíhlost} \quad \lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = 61,97$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1,1 > 0,3$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_y = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1,19$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,61$$

Sloup 2 minM

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,45 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,6 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability

Pro celistvý průřez

$$b = 0,160 \text{ m}$$

$$h = 0,160 \text{ m}$$

$$l_{ef} = 2,862 \text{ m}$$

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

$$\sigma_{m,crit} = 292,159 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,287$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,14 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posudek sloupů****Sloup 2 vrstvy u paty sloupu**

Sloup B151 maxN

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 2,020 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,215 \text{ m}$$

$$I_y = 5,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 6,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_z = 5,46 \cdot 10^{-5}$$

$$W_z = 6,82 \cdot 10^{-4}$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 37,310 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 0,000 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,000 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 2,91 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 2,020 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Štíhlost} \quad \lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = 43,74$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 0,78 > 0,3$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,85$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,84$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy z:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,y} = 2,215$$

$$i_y = \sqrt{I_z / A} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Štíhlost} \quad \lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = 47,96$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 0,85 > 0,3$$

Součinitel  $k_y$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,92$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,79$$

Sloup 3 maxN

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,24 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,24 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability

Pro celistvý průřez

$$b = 0,160 \text{ m}$$

$$h = 0,160 \text{ m}$$

$$l_{ef} = 2,215 \text{ m}$$

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

$$\sigma_{m,crit} = 377,499 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,252$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,24 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

## Posudek sloupů

### Sloup 2 vrstvy

Sloup B150 min N- sloup je tažen

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 2,020 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,215 \text{ m}$$

$$I_y = 5,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 6,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$A = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 5,46 \cdot 10^{-5}$$

$$W_z = 6,82 \cdot 10^{-4}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 6,000 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 0,000 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,000 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{t,0,d} = N_{ed} / A = 0,47 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0 \text{ Mpa}$$

Sloup 3 minN

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,05 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,05 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posudek sloupů****Sloup 3 vrstvy**

Sloup B149 max M

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 2,020 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,215 \text{ m}$$

$$I_y = 5,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 6,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$A = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_z = 5,46 \cdot 10^{-5}$$

$$W_z = 6,82 \cdot 10^{-4}$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 16,060 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 0,060 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 2,360 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 1,25 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0,18 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 13,8 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 2,020 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Štíhlost} \quad \lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = 43,74$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 0,78 > 0,3$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,85$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,84$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy z:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,y} = 2,215$$

$$i_y = \sqrt{I_z / A} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Štíhlost} \quad \lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = 47,96$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 0,85 > 0,3$$

Součinitel  $k_y$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,92$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,79$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,7 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{k_m \cdot \sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,94 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability

Pro celistvý průřez

$$b = 0,160 \text{ m}$$

$$h = 0,160 \text{ m}$$

$$l_{ef} = 2,215 \text{ m}$$

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

$$\sigma_{m,crit} = 377,499 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,252$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,15 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

## Posudek sloupů

### Sloup 3 vrstvy

Sloup B152 min M- sloup je tažen

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 2,020 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,215 \text{ m}$$

$$I_y = 5,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 6,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$A = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 5,46 \cdot 10^{-5}$$

$$W_z = 6,82 \cdot 10^{-4}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 2,000 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -0,050 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -2,370 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{t,0,d} = N_{ed} / A = 0,16 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0,15 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 13,86 \text{ Mpa}$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,61 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,86 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posudek kleštin****Kleština 1 vrstvy**Kleština B20 maxM<sub>y</sub>**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,000 \text{ m}$$

$$I_y = 2,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 1,098 \cdot 10^{-3}$$

$$W_y = 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_z = 5,49 \cdot 10^{-3}$$

$$A = 5,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = -0,040 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 11,080 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,650 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 5,71 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,12 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,06 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 \cdot E_{0,05} / i_z = 16,39 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} \quad 1,13$$

Součinitel  $k_z$

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1,22$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad 0,59$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,35 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,25 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posouzení příčné a torzní stability**

$$\begin{aligned}
 b &= 0,240 \text{ m} & G_{0,05} &= 690 \text{ Mpa} \\
 h &= 0,160 \text{ m} & I_z &= 1,098 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \\
 l_{ef} &= 4,000 \text{ m} & I_{tor} &= 1,737 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \\
 E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \\
 \sigma_{m,crit} &= \frac{M_{crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \\
 \sigma_{m,crit} &= 380,147 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,251$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,02 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posouzení prutu na průhyb:**

$$\begin{aligned}
 l &= 4,000 \text{ m} \\
 u_{net,fin} &= 7,1 \text{ mm} \\
 u_{net,fin,lim} &= L/250 = 16 \text{ mm} \\
 u_{net,fin} &= 7,1 < 16 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

**Posudek kleštin****Kleština 1 vrstvy**Kleština B20 minM<sub>y</sub>**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,000 \text{ m}$$

$$I_y = 2,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 1,098 \cdot 10^{-3}$$

$$W_y = 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_z = 5,49 \cdot 10^{-3}$$

$$A = 5,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 0,020 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -13,290 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 6,85 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,06 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 \cdot E_{0,05} / i_z = 16,39 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} \quad 1,13$$

Součinitel  $k_z$

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1,22$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad 0,59$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,41 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,29 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posouzení příčné a torzní stability**

$$\begin{aligned}
 b &= 0,240 \text{ m} & G_{0,05} &= 690 \text{ Mpa} \\
 h &= 0,160 \text{ m} & I_z &= 1,098 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \\
 I_{ef} &= 4,000 \text{ m} & I_{tor} &= 1,737 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \\
 E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \\
 \sigma_{m,crit} &= \frac{M_{crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \\
 \sigma_{m,crit} &= 380,147 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,251$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,02 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posudek kleštin****Kleština 1 vrstvy**

Kleština B18 maxN

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,000 \text{ m}$$

$$I_y = 2,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 1,098 \cdot 10^{-3}$$

$$W_y = 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_z = 5,49 \cdot 10^{-3}$$

$$A = 5,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 0,780 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -7,480 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,01 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 3,86 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 2,270 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,06 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 \cdot E_{0,05} / i_z = 16,39 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} \quad 1,13$$

Součinitel  $k_z$

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1,22$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad 0,59$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,23 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,16 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

## Posouzení příčné a torzní stability

$$\begin{aligned}
 b &= 0,240 \text{ m} & G_{0,05} &= 690 \text{ Mpa} \\
 h &= 0,160 \text{ m} & I_z &= 1,098 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \\
 l_{ef} &= 4,000 \text{ m} & I_{tor} &= 1,737 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \\
 E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \\
 \sigma_{m,crit} &= \frac{M_{crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \\
 \sigma_{m,crit} &= 380,147 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

## Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,251$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

## Návrhové napětí v průřezu:

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

0,02 &lt; 1

Vyhovuje

**Posudek kleštin****Kleština 1 vrstvy**

Kleština B18 minN bude tažena

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,000 \text{ m}$$

$$I_y = 2,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_y = 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A = 5,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_z = 1,098 \cdot 10^{-3}$$

$$W_z = 5,49 \cdot 10^{-3}$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 0,520 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -8,400 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,01 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 4,33 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$k_m = 0,700$$

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

$$0,26 < 1,0$$

Vyhovuje

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

$$0,26 < 1,0$$

Vyhovuje

×

**Posudek kleštin****Kleština 1 vrstvy**Kleština B46 maxM<sub>y</sub>**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 3,500 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 3,500 \text{ m}$$

$$I_y = 2,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_y = 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A = 5,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 1,098 \cdot 10^{-3}$$

$$W_z = 5,49 \cdot 10^{-3}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = -1,340 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 12,610 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 2,820 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,03 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 6,5 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,51 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 3,500 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,06 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 16,39 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 1,13$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1,22$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,59$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\times \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,41 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,3 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posouzení příčné a torzní stability**

$$\begin{aligned}
 b &= 0,240 \text{ m} & G_{0,05} &= 690 \text{ Mpa} \\
 h &= 0,160 \text{ m} & I_z &= 1,098 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \\
 l_{ef} &= 3,500 \text{ m} & I_{tor} &= 1,737 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \\
 E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \\
 \sigma_{m,crit} &= \frac{M_{crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \\
 \sigma_{m,crit} &= 434,453 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,235$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,03 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posouzení prutu na průhyb:**

$$\begin{aligned}
 l &= 3,500 \text{ m} \\
 u_{net,fin} &= 6,8 \text{ mm} \\
 u_{net,fin,lim} &= L/250 = 14 \text{ mm} \\
 u_{net,fin} &= 6,8 < 14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

**Posudek kleštin****Kleština 1 vrstvy**Kleština B46 min  $M_y$ **Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,000 \text{ m}$$

$$I_y = 2,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 1,098 \cdot 10^{-3}$$

$$W_y = 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_z = 5,49 \cdot 10^{-3}$$

$$A = 5,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 7,890 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -17,170 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,070 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,15 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 8,85 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,01 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,06 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 16,39 \text{ Mpa}$$

$$\text{Relativní štíhlost} \quad \lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}}$$

$$1,13$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1,22$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,59$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,53 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,37 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability

$$\begin{aligned}
 b &= 0,240 \text{ m} & G_{0,05} &= 690 \text{ Mpa} \\
 h &= 0,160 \text{ m} & I_z &= 1,098 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \\
 l_{ef} &= 4,000 \text{ m} & I_{tor} &= 1,737 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \\
 E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \\
 \sigma_{m,crit} &= \frac{M_{crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \\
 \sigma_{m,crit} &= 380,147 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,251$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

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

$$0,05 < 1$$

Vyhovuje

**Posudek kleštin****Kleština 1 vrstvy**

Kleština B46 max N

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 3,500 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 3,500 \text{ m}$$

$$I_y = 2,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_y = 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A = 5,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_z = 1,098 \cdot 10^{-3}$$

$$W_z = 5,49 \cdot 10^{-3}$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 8,040 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -14,640 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,030 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,15 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 7,55 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,01 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 3,500 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,06 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 16,39 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 1,13$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z}^{-0,3} + \lambda_{rel,z}^2)) = 1,22$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,59$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,45 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,32 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability

$$\begin{aligned}
 b &= 0,240 \text{ m} & G_{0,05} &= 690 \text{ Mpa} \\
 h &= 0,160 \text{ m} & I_z &= 1,098 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \\
 l_{ef} &= 3,500 \text{ m} & I_{tor} &= 1,737 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \\
 E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \\
 \sigma_{m,crit} &= \frac{M_{crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \\
 \sigma_{m,crit} &= 434,453 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,235$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,05 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posudek kleštin****Kleština 3 vrstvy**

Kleština B59 maxM, bude tažena

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,000 \text{ m}$$

$$I_y = 3,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_y = 2,68 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A = 6,72 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_z = 1,62 \cdot 10^{-3}$$

$$W_z = 7,37 \cdot 10^{-3}$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 2,000 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 5,520 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,03 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 2,06 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$k_m = 0,700$$

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

$$0,12 < 1,0$$

Vyhovuje

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

$$0,12 < 1,0$$

Vyhovuje

### Posouzení prutu na průhyb:

Posouzení v polovině pole

$$l = 4,000 \text{ m}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 2,1 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin,lim}} = L/250 = 16 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 2,1 < 16 \text{ mm}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

Posouzení na konzolivé části

$$l = 1,470 \text{ m}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 8,3 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin,lim}} = L/125 = 11,76 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 8,3 < 11,76 \text{ mm}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

**Posudek kleštin****Kleština 3 vrstvy**

Kleština B59 minM

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,000 \text{ m}$$

$$I_y = 3,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_y = 2,68 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A = 6,72 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_z = 1,62 \cdot 10^{-3}$$

$$W_z = 7,37 \cdot 10^{-3}$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 4,070 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -15,430 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,050 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,06 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 5,76 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,01 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,06 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 20,86 \text{ Mpa}$$

$$\text{Relativní štíhlost} \quad \lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}}$$

1

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1,07$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,69$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,35 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,24 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability

$$\begin{array}{ll}
 b = & 0,280 \text{ m} \\
 h = & 0,240 \text{ m} \\
 l_{ef} = & 4,000 \text{ m} \\
 E_{0,05} = & 6700,000 \text{ Mpa} \\
 G_{0,05} = & 690 \text{ Mpa} \\
 I_z = & 1,62 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \\
 I_{tor} = & 3,08 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \\
 \sigma_{m,crit} = & \\
 \sigma_{m,crit} = & 445,092 \text{ Mpa}
 \end{array}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\begin{array}{ll}
 \lambda_{rel,m} = & \\
 \lambda_{rel,m} = & 0,232 \\
 k_{crit} = & 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75
 \end{array}$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$0,03 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posudek kleštin****Kleština 3 vrstvy**

Kleština B59 minM

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,000 \text{ m}$$

$$I_y = 3,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 1,62 \cdot 10^{-3}$$

$$W_y = 2,68 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_z = 7,37 \cdot 10^{-3}$$

$$A = 6,72 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 7,470 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -10,180 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,020 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,11 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 3,8 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,06 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 20,86 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 1$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1,07$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,69$$

X

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,23 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,16 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability

$$\begin{array}{ll}
 b = & 0,280 \text{ m} \\
 h = & 0,240 \text{ m} \\
 l_{ef} = & 4,000 \text{ m} \\
 E_{0,05} = & 6700,000 \text{ Mpa}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{ll}
 G_{0,05} = & 690 \text{ Mpa} \\
 I_z = & 1,62 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \\
 I_{tor} = & 3,08 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4
 \end{array}$$

$$\sigma_{m,crit} =$$

$$\sigma_{m,crit} = 445,092 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} =$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,232$$

$$k_{crit} = 1,000 \qquad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$0,02 < 1$$

Vyhovuje

**Posudek kleštin****Kleština 3 vrstvy**

Kleština B60 minN, bude tažena

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,000 \text{ m}$$

$$I_y = 3,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_y = 2,68 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A = 6,72 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_z = 1,62 \cdot 10^{-3}$$

$$W_z = 7,37 \cdot 10^{-3}$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 2,060 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -8,460 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,090 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,03 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 3,16 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,01 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$k_m = 0,700$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,19 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

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

$$0,19 < 1,0$$

Vyhovuje

**Posudek kleštin****Kleština 1 vrstvy**Kleština B17 maxM<sub>y</sub>**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,000 \text{ m}$$

$$I_y = 5,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 3,82 \cdot 10^{-4}$$

$$W_y = 6,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_z = 2,39 \cdot 10^{-3}$$

$$A = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 0,020 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 0,120 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,050 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0,18 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,02 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,05 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 31 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 0,82$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,89$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,81$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,01 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,01 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

## Kleština horní 1 Mmax

### Posouzení příčné a torzní stability

$$\begin{aligned}
 b &= 0,240 \text{ m} & G_{0,05} &= 690 \text{ Mpa} \\
 h &= 0,160 \text{ m} & I_z &= 1,098 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \\
 l_{ef} &= 4,000 \text{ m} & I_{tor} &= 1,737 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \\
 E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \\
 \sigma_{m,crit} &= \frac{M_{crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \\
 \sigma_{m,crit} &= 380,147 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

### Poměrná štíhlost v ohybu

$$\begin{aligned}
 \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \\
 \lambda_{rel,m} &= 0,251 \\
 k_{crit} &= 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75
 \end{aligned}$$

### Návrhové napětí v průřezu:

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

### Posouzení prutu na průhyb:

#### Posouzení ve vnitřním poli

$$\begin{aligned}
 l &= 4,000 \text{ m} \\
 u_{net,fin} &= 0,3 \text{ mm} \\
 u_{net,fin,lim} &= L/250 = 16 \text{ mm} \\
 u_{net,fin} &= 0,3 < 16 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

#### Posouzení na konzole

$$\begin{aligned}
 l &= 1,470 \text{ m} \\
 u_{net,fin} &= 0,8 \text{ mm} \\
 u_{net,fin,lim} &= L/125 = 11,76 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kleština horní 1 Mmax

$$u_{\text{net,fin}} = 0,8 < 11,76 \text{ mm}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

**Posudek kleštin****Kleština 1 vrstvy**Kleština B21 min $M_y$ **Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,000 \text{ m}$$

$$I_y = 5,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 3,82 \cdot 10^{-4}$$

$$W_y = 6,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_z = 2,39 \cdot 10^{-3}$$

$$A = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 0,000 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -0,210 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,000 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0,31 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**Kritická vzpěrná délka  $L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$ 

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,05 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 31 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 0,82$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,89$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,81$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,02 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,01 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

## Posouzení příčné a torzní stability

$$\begin{aligned}
 b &= 0,240 \text{ m} & G_{0,05} &= 690 \text{ Mpa} \\
 h &= 0,160 \text{ m} & I_z &= 1,098 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \\
 l_{ef} &= 4,000 \text{ m} & I_{tor} &= 1,737 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \\
 E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \\
 \sigma_{m,crit} &= \frac{M_{crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \\
 \sigma_{m,crit} &= 380,147 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

## Poměrná štíhlost v ohybu

$$\begin{aligned}
 \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \\
 \lambda_{rel,m} &= 0,251 \\
 k_{crit} &= 1,000 & \lambda_{rel,m} &< 0,75
 \end{aligned}$$

## Návrhové napětí v průřezu:

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

**Posudek kleštín****Kleština 1 vrstvy**Kleština B50 maxM<sub>y</sub>**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,000 \text{ m}$$

$$I_y = 5,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 3,82 \cdot 10^{-4}$$

$$W_y = 6,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_z = 2,39 \cdot 10^{-3}$$

$$A = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 0,880 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 0,030 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 2,590 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,03 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0,04 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 1,08 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**Kritická vzpěrná délka  $L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$ 

$$i_z = \frac{\sqrt{I_y / A}}{0,05} = 0,05 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 31 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 0,82$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,89$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,81$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

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

$$0,05 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

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

$$0,07 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

## Posouzení příčné a torzní stability

$$\begin{aligned}
 b &= 0,240 \text{ m} & G_{0,05} &= 690 \text{ Mpa} \\
 h &= 0,160 \text{ m} & I_z &= 1,098 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \\
 l_{ef} &= 4,000 \text{ m} & I_{tor} &= 1,737 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \\
 E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{m,crit} &= \frac{M_{crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \\
 \sigma_{m,crit} &= 380,147 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

## Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,251$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

## Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,01 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posouzení prutu na průhyb:**

## Posouzení ve vnitřním poli

$$\begin{aligned}
 l &= 4,000 \text{ m} \\
 u_{net,fin} &= 0,3 \text{ mm} \\
 u_{net,fin,lim} &= L/250 = 16 \text{ mm} \\
 u_{net,fin} &= 0,3 < 16 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

## Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## Posouzení v krajním poli

$$\begin{aligned}
 l &= 3,500 \text{ m} \\
 u_{net,fin} &= 1,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kleština horní 2 maxM

$$\begin{array}{rcl} u_{\text{net,fin,lim}} = & L/250 = & 14 \text{ mm} \\ u_{\text{net,fin}} = & 1,4 < & 14 \text{ mm} \end{array}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

**Posudek kleštín****Kleština 1 vrstvy**Kleština B49 min  $M_y$ **Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,000 \text{ m}$$

$$I_y = 5,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 3,82 \cdot 10^{-4}$$

$$W_y = 6,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_z = 2,39 \cdot 10^{-3}$$

$$A = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 3,330 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -0,090 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -2,760 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,13 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0,13 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 1,15 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**Kritická vzpěrná délka  $L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$ 

$$i_z = \frac{\sqrt{I_y / A}}{0,05} = 0,05 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 31 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 0,82$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,89$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,81$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,06 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,08 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

## Posouzení příčné a torzní stability

$$\begin{aligned}
 b &= 0,240 \text{ m} & G_{0,05} &= 690 \text{ Mpa} \\
 h &= 0,160 \text{ m} & I_z &= 1,098 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \\
 l_{ef} &= 4,000 \text{ m} & I_{tor} &= 1,737 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \\
 E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y}$$

$$\sigma_{m,crit} = 380,147 \text{ Mpa}$$

## Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,251$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

## Návrhové napětí v průřezu:

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

$$0,02 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posudek kleštin****Kleština 1 vrstvy**

Kleština B46 max N

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,000 \text{ m}$$

$$I_y = 5,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 3,82 \cdot 10^{-4}$$

$$W_y = 6,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_z = 2,39 \cdot 10^{-3}$$

$$A = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 14,600 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -0,100 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,760 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,57 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0,15 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,32 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$i_z = \frac{\sqrt{I_y / A}}{0,05} = 0,05 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 31 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 0,82$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,89$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,81$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,02 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,03 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

## Posouzení příčné a torzní stability

$$\begin{aligned}
 b &= 0,240 \text{ m} & G_{0,05} &= 690 \text{ Mpa} \\
 h &= 0,160 \text{ m} & I_z &= 1,098 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \\
 l_{ef} &= 4,000 \text{ m} & I_{tor} &= 1,737 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \\
 E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \\
 \sigma_{m,crit} &= \frac{M_{crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \\
 \sigma_{m,crit} &= 380,147 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

## Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,251$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

## Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,05 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posudek kroků****Kroky 1 vrstvy**Kroky B85 maxN zároveň maxM<sub>y</sub>**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,087 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,087 \text{ m}$$

$$I_y = 2,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 6,82 \cdot 10^{-6}$$

$$W_y = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_z = 1,71 \cdot 10^{-4}$$

$$A = 1,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 18,620 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 1,940 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,010 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 1,45 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 5,69 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = -0,06 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 4,087 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,05 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 31 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 0,82$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,89$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,81$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,36 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,26 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability  
Pro celistvý průřez

$$\begin{aligned} b &= 0,080 \text{ m} \\ h &= 0,160 \text{ m} \\ l_{ef} &= 4,087 \text{ m} \\ E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

$$\sigma_{m,crit} = 51,148 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,685$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,14 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

### Posouzení prutu na průhyb:

Posouzení ve vnitřním poli

$$\begin{aligned} l &= 4,057 \text{ m} \\ u_{net,fin} &= 11,2 \text{ mm} \\ u_{net,fin,lim} &= L/250 = 16,23 \text{ mm} \\ u_{net,fin} &= 11,2 < 16,23 \text{ mm} \end{aligned}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## Posudek krokví

### Krokve 1 vrstvy

Korkev B112 min N- krokev je tažena

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 4,057 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,057 \text{ m}$$

$$I_y = 2,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 1,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 6,82 \cdot 10^{-6}$$

$$W_z = 1,71 \cdot 10^{-4}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 10,420 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 1,940 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,000 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{t,0,d} = N_{ed} / A = 0,81 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 5,69 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0 \text{ Mpa}$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,43 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,32 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

### Posouzení prutu na průhyb:

Posouzení ve vnitřním poli

$$l = 4,057 \text{ m}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 11,2 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin,lim}} = L/250 = 16,23 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 11,2 < 16,23 \text{ mm}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## Posudek krokví

### Krokve 1 vrstvy

Korkev B112 min My- krokev je tažena

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 4,057 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,057 \text{ m}$$

$$I_y = 2,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 1,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 6,82 \cdot 10^{-6}$$

$$W_z = 1,71 \cdot 10^{-4}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = -16,720 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -0,710 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,000 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{t,0,d} = N_{ed} / A = 1,31 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 2,08 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0 \text{ Mpa}$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,26 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,22 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posouzení prutu na průhyb:**

Posouzení ve vnitřním poli

$$l = 4,057 \text{ m}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 11,2 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin,lim}} = L/250 = 16,23 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 11,2 < 16,23 \text{ mm}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## Posudek krokví

### Krokve 2 vrstvy

Korkev B223 max N

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 3,735 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 3,735 \text{ m}$$

$$I_y = 2,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 1,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 6,82 \cdot 10^{-6}$$

$$W_z = 1,71 \cdot 10^{-4}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 17,680 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 1,650 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,000 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 1,38 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 4,84 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 3,725 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,05 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 31 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 0,82$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,89$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,81$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,3 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,22 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability  
Pro celistvý průřez

$$\begin{aligned} b &= 0,080 \text{ m} \\ h &= 0,160 \text{ m} \\ l_{ef} &= 3,735 \text{ m} \\ E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

$$\sigma_{m,crit} = 55,968 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,655$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

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

### Posouzení prutu na průhyb:

Posouzení ve vnitřním poli

$$\begin{aligned} l &= 3,735 \text{ m} \\ u_{net,fin} &= 7,9 \text{ mm} \\ u_{net,fin,lim} &= L/250 = 14,94 \text{ mm} \\ u_{net,fin} &= 7,9 < 14,94 \text{ mm} \end{aligned}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## Posudek krokví

### Krokve 2 vrstvy

Korkev B183 max My

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 3,735 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 3,735 \text{ m}$$

$$I_y = 2,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 1,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 6,82 \cdot 10^{-6}$$

$$W_z = 1,71 \cdot 10^{-4}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 7,540 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 1,720 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,050 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,59 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 5,04 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,29 \text{ Mpa}$$

#### Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:

Druha vrstva maxMy

Kritická vzpěrná délka  $L_{cr,z} = 3,725 \text{ m}$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,05 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 31 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 0,82$$

Součinitel  $k_z$

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,89$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,81$$

Návrhové napětí v průřezu:

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

0,32 < 1,0      Vyhovuje

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

0,23 < 1,0      Vyhovuje

Posouzení příčné a torzní stability  
Pro celistvý průřez

$$\begin{aligned} b &= 0,080 \text{ m} \\ h &= 0,160 \text{ m} \\ l_{ef} &= 3,735 \text{ m} \\ E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

$$\sigma_{m,crit} = 55,968 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,655$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,14 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posouzení prutu na průhyb:**

Posouzení ve vnitřním poli

$$\begin{aligned} l &= 3,735 \text{ m} \\ u_{net,fin} &= 8,5 \text{ mm} \\ u_{net,fin,lim} &= L/250 = 14,94 \text{ mm} \\ u_{net,fin} &= 8,5 < 14,94 \text{ mm} \end{aligned}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## Posudek krokví

### Krokve 2 vrstvy

Korkev B220 min N- krokev je tažena

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 3,735 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 3,735 \text{ m}$$

$$I_y = 2,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 1,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 6,82 \cdot 10^{-6}$$

$$W_z = 1,71 \cdot 10^{-4}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 12,080 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 1,540 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,000 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{t,0,d} = N_{ed} / A = 0,94 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 4,52 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0 \text{ Mpa}$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

Druhá vrstva minN

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,37 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,29 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

### Posouzení prutu na průhyb:

Posouzení ve vnitřním poli

$$l = 3,735 \text{ m}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 7,2 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin,lim}} = L/250 = 14,94 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 7,2 < 14,94 \text{ mm}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## Posudek krokví

### Krokve 2 vrstvy

Korkev B218 min My- krokev je tažena

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 3,735 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 3,735 \text{ m}$$

$$I_y = 2,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 1,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 6,82 \cdot 10^{-6}$$

$$W_z = 1,71 \cdot 10^{-4}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 11,840 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -0,710 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,070 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{t,0,d} = N_{ed} / A = 0,93 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 2,08 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,41 \text{ Mpa}$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

Druhá vrstva minM

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,24 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,21 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

### Posouzení prutu na průhyb:

Posouzení ve vnitřním poli

$$l = 3,735 \text{ m}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 7,9 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin,lim}} = L/250 = 14,94 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 7,9 < 14,94 \text{ mm}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

**Posudek krokví****Krokve 3 vrstvy**

Krokev B164 maxN zároveň max My

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 2,563 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,563 \text{ m}$$

$$I_y = 2,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 6,82 \cdot 10^{-6}$$

$$W_y = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_z = 1,71 \cdot 10^{-4}$$

$$A = 1,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 9,860 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 0,790 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,220 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,77 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 2,32 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 1,29 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 2,563 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,05 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 31 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 0,82$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,89$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,81$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

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

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,18 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability  
Pro celistvý průřez

$$\begin{aligned} b &= 0,080 \text{ m} \\ h &= 0,160 \text{ m} \\ l_{ef} &= 2,563 \text{ m} \\ E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

$$\sigma_{m,crit} = 81,561 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,105$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,09 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posouzení prutu na průhyb:**

Posouzení ve vnitřním poli

$$\begin{aligned} l &= 2,563 \text{ m} \\ u_{net,fin} &= 1,9 \text{ mm} \\ u_{net,fin,lim} &= L/250 = 10,25 \text{ mm} \\ u_{net,fin} &= 1,9 < 10,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## Posudek krokví

### Krokve 3 vrstvy

Korkev B218 min N- krokev je tažena

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 2,563 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,563 \text{ m}$$

$$I_y = 2,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 1,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 6,82 \cdot 10^{-6}$$

$$W_z = 1,71 \cdot 10^{-4}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 3,990 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -0,300 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,090 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{t,0,d} = N_{ed} / A = 0,31 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0,88 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,53 \text{ Mpa}$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

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

$$0,11 < 1,0$$

Vyhovuje

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

$$0,1 < 1,0$$

Vyhovuje

**Posouzení prutu na průhyb:**

Posouzení ve vnitřním poli

$$l = 2,563 \text{ m}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 1,9 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin,lim}} = L/250 = 10,25 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 1,9 < 10,25 \text{ mm}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## Posudek krokví

### Krokve 3 vrstvy

Korkev B165 min My- krokev je tažena

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 2,563 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,563 \text{ m}$$

$$I_y = 2,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 1,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 6,82 \cdot 10^{-6}$$

$$W_z = 1,71 \cdot 10^{-4}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 9,770 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -0,320 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,790 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{t,0,d} = N_{ed} / A = 0,76 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0,94 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 4,62 \text{ Mpa}$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

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

$$0,33 < 1,0$$

Vyhovuje

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

$$0,4 < 1,0$$

Vyhovuje

**Posouzení prutu na průhyb:**

Posouzení ve vnitřním poli

$$l = 2,563 \text{ m}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 1,9 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin,lim}} = L/250 = 10,25 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 1,9 < 10,25 \text{ mm}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

**Posudek krokví****Krokve 4 vrstvy**

Krokev B248 maxN zároveň max My

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 2,789 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,789 \text{ m}$$

$$I_y = 2,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 6,82 \cdot 10^{-6}$$

$$W_y = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_z = 1,71 \cdot 10^{-4}$$

$$A = 1,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 3,600 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 0,940 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,050 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,28 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 2,76 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,29 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 2,563 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,05 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 31 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 0,82$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,89$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,81$$

Návrhové napětí v průřezu:

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

$$0,18 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

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

$$0,13 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability  
Pro celistvý průřez

$$\begin{aligned} b &= 0,080 \text{ m} \\ h &= 0,160 \text{ m} \\ l_{ef} &= 2,789 \text{ m} \\ E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

$$\sigma_{m,crit} = 74,952 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,110$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,05 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posouzení prutu na průhyb:**

Posouzení ve vnitřním poli

$$\begin{aligned} l &= 2,789 \text{ m} \\ u_{net,fin} &= 2,6 \text{ mm} \\ u_{net,fin,lim} &= L/250 = 11,16 \text{ mm} \\ u_{net,fin} &= 2,6 < 11,16 \text{ mm} \end{aligned}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## Posudek krokví

### Krokve 4 vrstvy

Korkev B250 min N- krokev je tažena

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 2,789 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,789 \text{ m}$$

$$I_y = 2,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 1,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 6,82 \cdot 10^{-6}$$

$$W_z = 1,71 \cdot 10^{-4}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 2,580 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -0,450 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,040 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{t,0,d} = N_{ed} / A = 0,2 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 1,32 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,23 \text{ Mpa}$$

Vrstva 4 minN

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,11 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,09 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

### Posouzení prutu na průhyb:

Posouzení ve vnitřním poli

$$l = 2,789 \text{ m}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 2,6 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin,lim}} = L/250 = 11,16 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 2,6 < 11,16 \text{ mm}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## Posudek krokví

### Krokve 4 vrstvy

Korkev B251 min My- krokev je tažena

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 2,789 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,789 \text{ m}$$

$$I_y = 2,73 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 1,28 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 6,82 \cdot 10^{-6}$$

$$W_z = 1,71 \cdot 10^{-4}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 1,600 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -0,450 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,250 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{t,0,d} = N_{ed} / A = 0,13 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 1,32 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 1,46 \text{ Mpa}$$

Vrstva 4 minM

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,15 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,16 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

### Posouzení prutu na průhyb:

Posouzení ve vnitřním poli

$$l = 2,789 \text{ m}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 2,6 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin,lim}} = L/250 = 11,16 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 2,6 < 11,16 \text{ mm}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## Posouzení průhybu krokve

### Materiálové charakteristiky

|                |           |                |                       |
|----------------|-----------|----------------|-----------------------|
| $f_{mk} =$     | 24 Mpa    | $f_{c,90,k} =$ | 2,5 Mpa               |
| $f_{t,0,k} =$  | 14 Mpa    | $f_{v,k} =$    | 2,5 Mpa               |
| $f_{t,90,k} =$ | 0,5 Mpa   | $E_{0,05} =$   | 7400 Mpa              |
| $f_{c,0,k} =$  | 21 Mpa    | $G =$          | 690 Mpa               |
| $E =$          | 11000 Mpa | hmotnost:      | 350 Kg/m <sup>3</sup> |

### Délka:

$$l = 4,05 \text{ m}$$

### Průřezové charakteristiky

|         |                                      |         |                                      |
|---------|--------------------------------------|---------|--------------------------------------|
| $A =$   | 0,0128 m <sup>2</sup>                | $I_z =$ | 6,83*10 <sup>-6</sup> m <sup>4</sup> |
| $I_y =$ | 2,73*10 <sup>-5</sup> m <sup>4</sup> | $W_z =$ | 1,71*10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> |
| $W_y =$ | 3,41*10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> |         |                                      |

### Třída vnitřního prostředí

$$\text{Třída: } 1$$

### Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zatížení

$$k_{def} = 0,6$$

Konstrukce je v nadmořské výšce <1000 m.n.m.

### Charakteristické hodnoty zatížení prvku konstrukce:

|                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| vlastní tíha celkem: | 0,68 kN/m <sup>1</sup>  |
| zatížení sněhem:     | 0,270 kN/m <sup>1</sup> |
| zatížení větrem:     | 0,5 kN/m <sup>1</sup>   |

Výpočet bude prováděn kolmo na rovinu střechy

Výpočty zatížení kolmo k rovině střechy:

$$\text{vlastní tíha: } G_k \cdot \cos \alpha = 0,39$$

$$\text{sníh: } S \cdot \cos^2 \alpha = 0,089$$

vítr: zůstává stejný

### Průhyb od jednotkového rovnoměrného zatížení

$$q_{ref} = 1 \text{ kN/m}$$

$$u_{ref} = \frac{5 \cdot q_{ref} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = 11,71 \text{ mm}$$

### Okamžitý průhyb od stálého zatížení

$$g_k = 0,39 \text{ kN/m}^1$$

$$u_{1,inst} = g_k \cdot u_{ref} = 4,57 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od proměnného zatížení sněhem

$$q_{k1} = 0,089 \text{ kN/m}^1$$

$$u_{2,inst} = q_{k1} \cdot u_{ref} = 1,04 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od zatížení větrem

$$q_{k2} = 0,5 \text{ kN/m}^1$$

$$u_{3,inst} = q_{k2} \cdot u_{ref} = 5,86 \text{ mm}$$

Okamžitý celkový průhyb

$$u_{inst} = u_{1,inst} + u_{2,inst} + u_{3,inst} = 11,47 \text{ mm}$$

$$u_{inst,lim} = L/300 = 13,51 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = 11,47 < 13,51 \text{ mm}$$

Konečný průhyb od stálého a proměnného zatížení

$$u_{net,fin} = u_{1,inst} \cdot (1 + k_{1,def}) + u_{2,inst} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{2,def}) + u_{3,inst} \cdot (1 + \psi_{3,1} \cdot k_{3,def})$$

$$u_{net,fin} = 4,57 \cdot (1 + 0,6) + 1,04 \cdot (1 + 0,0 \cdot 0,6) + 5,86 \cdot (1 + 0,0 \cdot 0,6)$$

$$u_{net,fin} = 14,21 \text{ mm}$$

$$u_{net,fin,lim} = L/250 = 16,22 \text{ mm}$$

$$u_{net,fin} = 14,21 < 16,22 \text{ mm}$$

Posuzovaná krokev na průhyb vyhoví

**Posudek nárožních krokví****Krokve 1 vrstvy**

Krokve B177 maxN zároveň maxMy

**Geometrie:**

|                |                      |       |                                      |
|----------------|----------------------|-------|--------------------------------------|
| $L_{cr,z} =$   | 4,676 m              |       |                                      |
| $L_{cr,y} =$   | 4,676 m              |       |                                      |
| $I_y =$        | $1,93 \cdot 10^{-5}$ | $m^4$ | $I_z = 5,55 \cdot 10^{-6} \quad m^4$ |
| $W_y =$        | $2,13 \cdot 10^{-4}$ | $m^3$ | $W_z = 1,38 \cdot 10^{-4} \quad m^3$ |
| $A =$          | $1,12 \cdot 10^{-2}$ | $m^2$ |                                      |
| Dřevo třídy SI |                      |       |                                      |
| $E_{0,05} =$   | 6700,000 Mpa         |       |                                      |

**Zatížení:**

|            |           |
|------------|-----------|
| $N_{ed} =$ | 10,140 kN |
| $M_{yd} =$ | 0,050 kNm |
| $M_{zd} =$ | 0,260 kNm |

**Návrhová pevnost:**

|                           |  |               |        |
|---------------------------|--|---------------|--------|
| $f_{mk} =$                | 24,0 Mpa                               | $f_{c,0,k} =$ | 21 Mpa |
| $\gamma_M =$              | 1,3                                    |               |        |
| $k_{mod} =$               | 0,9                                    |               |        |
| $f_{m,y,d} =$             | $k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M =$    | 16,62 Mpa     |        |
| $f_{c,0,d} =$             | $k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M =$ | 14,54 Mpa     |        |
| $f_{m,z,d} = f_{m,y,d} =$ |  | 16,62 Mpa     |        |

**Návrhové napětí v průřezu:**

|                                   |          |
|-----------------------------------|----------|
| $\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A =$   | 0,91 Mpa |
| $\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y =$ | 0,23 Mpa |
| $\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z =$ | 1,88 Mpa |

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 4,676 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,04 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 38,37 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 0,74$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,82$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,86$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 1,000$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,13 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,13 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

## Krokov první vrstvy

Posouzení příčné a torzní stability  
Pro celistvý průřez

$$\begin{aligned}
 b &= 0,080 \text{ m} & G_{0,05} &= 690 \text{ Mpa} \\
 h &= 0,160 \text{ m} & I_z &= 5,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 l_{ef} &= 4,087 \text{ m} & I_{tor} &= 1,98 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \\
 E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \\
 \sigma_{m,crit} &= \frac{M_{crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \\
 \sigma_{m,crit} &= 257,221 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\begin{aligned}
 \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \\
 \lambda_{rel,m} &= 0,305 \\
 k_{crit} &= 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75
 \end{aligned}$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,08 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

### Posouzení prutu na průhyb:

Posouzení ve vnitřním poli

$$\begin{aligned}
 l &= 4,676 \text{ m} \\
 u_{net,fin} &= 0,5 \text{ mm} \\
 u_{net,fin,lim} &= L/250 = 18,7 \text{ mm} \\
 u_{net,fin} &= 0,5 < 18,7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## Posudek nárožních krokví

### Krokve 1 vrstvy

Korkev B177 min N- krokev je tažena, zároveň minMy

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 4,676 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,676 \text{ m}$$

$$I_y = 1,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 2,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 1,12 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 5,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_z = 1,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 12,680 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -0,060 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,250 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{t,0,d} = N_{ed} / A = 1,13 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0,28 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 1,81 \text{ Mpa}$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 1,000$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,24 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,24 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posouzení prutu na průhyb:**

Posouzení ve vnitřním poli

$$l = 4,676 \text{ m}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 0,5 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin,lim}} = L/250 = 18,7 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 0,5 < 18,7 \text{ mm}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

**Posudek nárožních krokví****Krokve 2 vrstvy**

Krokev B182 maxN zároveň maxMy

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,272 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,272 \text{ m}$$

$$I_y = 1,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 5,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_y = 2,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_z = 1,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 1,12 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 14,070 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 0,190 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,090 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 1,26 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0,89 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,65 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 4,272 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,04 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 38,37 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 0,74$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,82$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,86$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 1,000$$

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

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

Posouzení příčné a torzní stability  
Pro celistvý průřez

$$\begin{aligned}
 b &= 0,080 \text{ m} & G_{0,05} &= 690 \text{ Mpa} \\
 h &= 0,160 \text{ m} & I_z &= 5,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 l_{ef} &= 4,087 \text{ m} & I_{tor} &= 1,98 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \\
 E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \\
 \sigma_{m,crit} &= \frac{M_{crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \\
 \sigma_{m,crit} &= 246,082 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,312$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

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

$$0,11 < 1$$

Vyhovuje

### Posouzení prutu na průhyb:

Posouzení ve vnitřním poli

$$l = 4,272 \text{ m}$$

$$u_{net,fin} = 0,5 \text{ mm}$$

$$u_{net,fin,lim} = L/250 = 17,09 \text{ mm}$$

$$u_{net,fin} = 0,5 < 17,09 \text{ mm}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## Posudek nárožních krokví

### Krokve 2 vrstvy

Korkev B182 min N- krokev je tažena, zároveň minMy

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 4,272 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,272 \text{ m}$$

$$I_y = 1,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 2,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 1,12 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 5,55 \cdot 10^{-6}$$

$$W_z = 1,38 \cdot 10^{-4}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 20,300 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -0,190 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,250 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{t,0,d} = N_{ed} / A = 1,81 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 0,89 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 1,81 \text{ Mpa}$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 1,000$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,35 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,35 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

### Posouzení prutu na průhyb:

Posouzení ve vnitřním poli

$$l = 4,272 \text{ m}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 0,5 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin,lim}} = L/250 = 17,09 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 0,5 < 17,09 \text{ mm}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

**Posudek nárožních krokví****Krokve 3 vrstvy**

Krokev B257 maxN zároveň maxMy

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 2,842 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,842 \text{ m}$$

$$I_y = 1,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 5,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_y = 2,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_z = 1,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 1,12 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 4,690 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 0,690 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,140 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,42 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 3,24 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 1,01 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 2,842 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,04 \text{ m}$$

## Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 38,37 \text{ Mpa}$$

## Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 0,74$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,82$$

## Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,86$$

## Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 1,000$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,26 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,26 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability  
Pro celistvý průřez

$$\begin{aligned}
 b &= 0,080 \text{ m} & G_{0,05} &= 690 \text{ Mpa} \\
 h &= 0,160 \text{ m} & I_z &= 5,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 l_{ef} &= 4,087 \text{ m} & I_{tor} &= 1,98 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \\
 E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \\
 \sigma_{m,crit} &= \frac{M_{crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \\
 \sigma_{m,crit} &= 369,902 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,255$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,05 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

### Posouzení prutu na průhyb:

Posouzení ve vnitřním poli

$$\begin{aligned}
 l &= 2,842 \text{ m} \\
 u_{net,fin} &= 2,5 \text{ mm} \\
 u_{net,fin,lim} &= L/250 = 11,37 \text{ mm} \\
 u_{net,fin} &= 2,5 < 11,37 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## Posudek nárožních krokví

### Krokve 3 vrstvy

Korkev B257 min N- krokv je tažena, zároveň minMy

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 2,842 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 2,842 \text{ m}$$

$$I_y = 1,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 2,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 1,12 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 5,55 \cdot 10^{-6}$$

$$W_z = 1,38 \cdot 10^{-4}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 4,230 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -0,570 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,060 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{t,0,d} = N_{ed} / A = 0,38 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 2,68 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,43 \text{ Mpa}$$

Vrstva 3 minN

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 1,000$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,23 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,23 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

### Posouzení prutu na průhyb:

Posouzení ve vnitřním poli

$$l = 2,842 \text{ m}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 2,5 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin,lim}} = L/250 = 11,37 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 2,5 < 11,37 \text{ mm}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

**Posudek nárožních krokví****Krokve 4 vrstvy**

Krokev B253 maxN zároveň maxMy

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,145 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,145 \text{ m}$$

$$I_y = 1,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 5,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_y = 2,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_z = 1,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 1,12 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = 3,200 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 0,790 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = 0,060 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,29 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 3,71 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,43 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 4,145 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,04 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 38,37 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 0,74$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,82$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,86$$

Návrhové napětí v průřezu:

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

$$0,25 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

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

$$0,25 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Vrstva 4 maxN

Posouzení příčné a torzní stability  
Pro celistvý průřez

$$\begin{aligned}
 b &= 0,080 \text{ m} & G_{0,05} &= 690 \text{ Mpa} \\
 h &= 0,160 \text{ m} & I_z &= 5,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\
 l_{ef} &= 4,145 \text{ m} & I_{tor} &= 1,98 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \\
 E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \\
 \sigma_{m,crit} &= \frac{M_{crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \\
 \sigma_{m,crit} &= 253,622 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\begin{aligned}
 \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \\
 \lambda_{rel,m} &= 0,308 \\
 k_{crit} &= 1,000 & \lambda_{rel,m} &< 0,75
 \end{aligned}$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,04 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

**Posouzení prutu na průhyb:**

Posouzení ve vnitřním poli

$$\begin{aligned}
 l &= 4,145 \text{ m} \\
 u_{net,fin} &= 5,8 \text{ mm} \\
 u_{net,fin,lim} &= L/250 = 16,58 \text{ mm} \\
 u_{net,fin} &= 5,8 < 16,58 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## Posudek nárožních krokví

### Krokve 4 vrstvy

Korkev B253 min N- krokev je tažena, zároveň minMy

#### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 4,145 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,145 \text{ m}$$

$$I_y = 1,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = 2,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A = 1,12 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 5,55 \cdot 10^{-6}$$

$$W_z = 1,38 \cdot 10^{-4}$$

#### Zatížení:

$$N_{ed} = 3,200 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -0,460 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -0,050 \text{ kNm}$$

#### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

#### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{t,0,d} = N_{ed} / A = 0,29 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 2,16 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 0,36 \text{ Mpa}$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 1,000$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,18 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,18 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

### Posouzení prutu na průhyb:

Posouzení ve vnitřním poli

$$l = 4,145 \text{ m}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 5,8 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin,lim}} = L/250 = 16,58 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 5,8 < 16,58 \text{ mm}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

**Posudek vaznic**

Vaznice B53 max My

**Geometrie:**

$$L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,000 \text{ m}$$

$$I_y = 1,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_y = 1,53 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A = 3,84 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 8,19 \cdot 10^{-5}$$

$$W_z = 1,02 \cdot 10^{-3}$$

**Zatížení:**

$$N_{ed} = -8,100 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = -5,680 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -1,680 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost:**

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 14,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ Mpa}$$

**Návrhové napětí v průřezu:**

$$\sigma_{c,0,d} = N_{ed} / A = 0,44 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 3,71 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 1,65 \text{ Mpa}$$

**Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy y:**

$$\text{Kritická vzpěrná délka} \quad L_{cr,z} = 3,725 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_y / A} = 0,05 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda_{e,crit,z} = \pi^2 * E_{0,05} / i_z = 31 \text{ Mpa}$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{e,crit,z}}} = 0,82$$

Součinitel  $k_z$ 

$$\beta_c = 0,200$$

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,89$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,81$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,29 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0,26 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení příčné a torzní stability  
Pro celistvý průřez

$$\begin{aligned} b &= 0,160 \text{ m} \\ h &= 0,240 \text{ m} \\ l_{ef} &= 4,000 \text{ m} \\ E_{0,05} &= 6700,000 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}$$

$$\sigma_{m,crit} = 139,360 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,415$$

$$k_{crit} = 1,000 \quad \lambda_{rel,m} < 0,75$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,y,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit} \cdot f_{d,z,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad 0,09 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

### Posouzení prutu na průhyb:

Posouzení ve vnitřním poli

$$\begin{aligned} l &= 4,000 \text{ m} \\ u_{net,fin} &= 11,8 \text{ mm} \\ u_{net,fin,lim} &= L/250 = 16 \text{ mm} \\ u_{net,fin} &= 11,8 < 16 \text{ mm} \end{aligned}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## Posudek vaznic

Vaznice B73 minM zároveň min N- krokev je tažena

### Geometrie:

$$L_{cr,z} = 4,000 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 4,000 \text{ m}$$

$$I_y = 1,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_y = 1,53 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A = 3,84 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Dřevo třídy SI

$$E_{0,05} = 6700,000 \text{ Mpa}$$

$$I_z = 8,19 \cdot 10^{-5}$$

$$W_z = 1,02 \cdot 10^{-3}$$

### Zatížení:

$$N_{ed} = 7,280 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = 5,700 \text{ kNm}$$

$$M_{zd} = -4,060 \text{ kNm}$$

### Návrhová pevnost:

$$f_{mk} = 24,0 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,0,k} = 14 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

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

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot f_{mk} / \gamma_M = 16,62 \text{ Mpa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,d} / \gamma_M = 9,69 \text{ Mpa}$$

$$f_{m,z,d} = f_{m,y,d} = 16,62 \text{ Mpa}$$

### Návrhové napětí v průřezu:

$$\sigma_{t,0,d} = N_{ed} / A = 0,4 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{yd} / W_y = 3,73 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_{zd} / W_z = 3,98 \text{ Mpa}$$

Návrhové napětí v průřezu:

$$k_m = 0,700$$

List2

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

$$0,43 < 1,0$$

Vyhovuje

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

$$0,44 < 1,0$$

Vyhovuje

### Posouzení prutu na průhyb:

Posouzení ve vnitřním poli

$$l = 4,000 \text{ m}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 11,6 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin,lim}} = L/250 = 16 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin}} = 11,6 < 16 \text{ mm}$$

Posuzovaná kleština na průhyb vyhoví

## ***D) POSUDKY SPOJŮ***

# Posudek svorníkového spoje sloup – průvlak

## Únosnost svorníku v otláčení

Pevnost v otláčení

Prut průřezu 220/120

Svorník do 30 mm

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 d) \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 21,81 \text{ Mpa}$$

$$d = 24,000 \text{ mm}$$

$$t_1 = 120 \text{ mm}$$

$$\rho_k = 350,000 \text{ kg/m}^3$$

$$t_2 = 160 \text{ mm}$$

$$\gamma_M = 1,300$$

$$k_{mod} = 0,600$$

$$f_{h,0,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} f_{h,0,k}$$

$$f_{h,0,d} = 10,07 \text{ Mpa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 d$$

$$k_{90} = 1,71$$

$$f_{h,1,d} = 10,07 \text{ Mpa}$$

$$f_{h,2,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha_2 + \cos^2 \alpha_2}$$

$$f_{h,2,k} = 5,89 \text{ Mpa}$$

$$\beta = f_{h,2,d} / f_{h,1,d}$$

$$\beta = 0,58$$

Plastický moment únosnosti svorníku

$$f_{u,k} = 300 \text{ Mpa}$$

$$M_{y,d} = \frac{0,8 f_{u,k} d^3 / 6}{\gamma_M}$$

$$M_{y,d} = 442368 \text{ Nmm}$$

Únosnost jednoho střihu svorníku

$$R_d = f_{h,1,d} t_1 d$$

$$R_d = 28993,18 \text{ N}$$

$$R_d = 0,5 f_{h,1,d} t_2 d \beta$$

$$R_d = 11303,38 \text{ N}$$

$$R_d = 1,1 \frac{f_{h,1,d} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2 \beta (1 + \beta) + \frac{4 \beta (2 + \beta) M_{y,d}}{f_{h,1,d} d t_1^2} - \beta} \right]$$

$$R_d = 25140,15$$

$$R_d = 1,1 \sqrt{\frac{2 \beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d}$$

$$R_d = 13816,16 \text{ N}$$

$$\min R_d = 11,3 \text{ kN}$$

Únosnost přípoje

$$R_{dpřípoje} = 45,2 \text{ kN}$$

Maximální přípustné zatížení s ohledem na vliv napětí kolmo k vláknům nosníku

$$f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{v,d} = 1,15 \text{ Mpa}$$

$$V_{r,d} \leq \frac{2 f_{v,d} b_e t}{3}$$

$$V_{r,d} = 22,15 \text{ kN}$$

$$F_{r,d} = 2 V_{r,d}$$

$$F_{r,d} = 44,31 \text{ kN}$$

Maximální působící síla

Spoj mezi průvlakem B19 a sloupem B11

$$F_{e,d} = 40,82 \text{ kN}$$

$$f_{e,d} < f_{r,d}$$

$$40,82 < 44,31$$

$$f_{e,d} < R_{d, \text{přípoje}}$$

$$40,82 < 45,2$$

# Posudek svorníkového spoje sloup – průvlak

## Únosnost svorníku v otláčení

Pevnost v otláčení

Prut průřezu 240/140

Svorník do 30 mm

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 d) \rho_k$$

$$f_{h,0,k} = 21,81 \text{ Mpa}$$

$$d = 24,000 \text{ mm}$$

$$t_1 = 140 \text{ mm}$$

$$\rho_k = 350,000 \text{ kg/m}^3$$

$$t_2 = 160 \text{ mm}$$

$$\gamma_M = 1,300$$

$$k_{mod} = 0,600$$

$$f_{h,0,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} f_{h,0,k}$$

$$f_{h,0,d} = 10,07 \text{ Mpa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 d$$

$$k_{90} = 1,71$$

$$f_{h,1,d} = 10,07 \text{ Mpa}$$

$$f_{h,2,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha_2 + \cos^2 \alpha_2}$$

$$f_{h,2,k} = 5,89 \text{ Mpa}$$

$$\beta = f_{h,2,d} / f_{h,1,d}$$

$$\beta = 0,58$$

Plastický moment únosnosti svorníku

$$f_{u,k} = 300 \text{ Mpa}$$

$$M_{y,d} = \frac{0,8 f_{u,k} d^3}{6 \gamma_M}$$

$$M_{y,d} = 442368 \text{ Nmm}$$

Únosnost jednoho střihu svorníku

$$R_d = f_{h,1,d} t_1 d$$

$$R_d = 33825,38 \text{ N}$$

$$R_d = 0,5 f_{h,1,d} t_2 d \beta$$

$$R_d = 11303,38 \text{ N}$$

$$R_d = 1,1 \frac{f_{h,1,d} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,d}}{f_{h,1,d} dt_1^2} - \beta} \right]$$

$$R_d = 26394,19$$

$$R_d = 1,1 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,d} f_{h,1,d} d}$$

$$R_d = 13816,16 \text{ N}$$

$$\min R_d = 11,3 \text{ kN}$$

Únosnost připoje

$$R_{\text{dprípoje}} = 45,2 \text{ kN}$$

Maximální přípustné zatížení s ohledem na vliv napětí kolmo k vláknům nosníku

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{v,d} = 1,15 \text{ Mpa}$$

$$V_{r,d} \leq \frac{2f_{v,d} b_e t}{3}$$

$$V_{r,d} = 22,15 \text{ kN}$$

$$F_{r,d} = 2V_{r,d}$$

$$F_{r,d} = 44,31 \text{ kN}$$

Maximální působící síla

Spoj mezi průvlakem B60 a sloupem B149

$$F_{e,d} = 25,62 \text{ kN}$$

$$f_{e,d} < f_{r,d}$$

$$25,62 < 44,31$$

$$f_{e,d} < R_{d, \text{připoje}}$$

$$25,62 < 45,2$$

## Posudek čepu na sloupu

Nejvíce namáhaný čep na sloupu B41

Návrhové pevnosti ve smyku a v tahu kolmo k vláknům

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ Mpa}$$

$$f_{v,k} = 2,5 \text{ Mpa}$$

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

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{v,d} = 1,54 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{c,90,d} = 1,54 \text{ Mpa}$$

Součinitel koncentrace smykového napětí

$$k_v = \frac{k_n \left[ 1 + \frac{1,1i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right]}{\sqrt{h} \left[ \sqrt{\alpha(1-\alpha) + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2}} \right]}$$

$$k_v = 0,54$$

Posouzení čepu sloupu na smyk a otláčení

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

$$\tau_d = 0,82 \text{ Mpa}$$

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

$$K_{c,90} = 1$$

$$\sigma_{c,90,k} = 1,54 \text{ Mpa}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_d}{bh_e}$$

$$\tau_d = 0,33 \text{ Mpa}$$

$$0,33 <$$

$$0,82 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_d}{bl}$$

$$\sigma_{c,90,k} = 0,22 \text{ Mpa}$$

$$0,22 <$$

$$1,54 \text{ Mpa}$$

## Posudek otláčení dosedací plochy pod vaznicí

Nejvíce namáhaný čep na sloupu B34 N=15,77 kN

Návrhové pevnosti ve smyku a v tahu kolmo k vláknům

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ Mpa}$$

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

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{c,90,d} = 1,54 \text{ Mpa}$$

Posouzení otláčení sloupu v místě zmenšené plochy čepem

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

$$K_{c,90} = 1$$

$$\sigma_{c,90,k} = 1,54 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_d}{A}$$

$$A = bd - (b_c d_c)$$

$$A = 22000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,k} = 0,72 \text{ Mpa}$$

$$0,72 < 1,54 \text{ Mpa}$$