

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební



Bakalářská práce



České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Analýza konstrukce dřevěné zvonice ve Vlastibořicích

Analysis of the timber construction of belfry in Vlastibořice

Bakalářská práce

Vypracoval:	Daniel Švaříček
Vedoucí práce:	Ing. Karel Mikeš, Ph.D.
Akademický rok:	2017/2018
Studijní program:	Stavební inženýrství
Studijní obor:	Konstrukce pozemních staveb



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: ŠVARIČEK	Jméno: DANIEL	Osobní číslo: 438399
Zadávací katedra: KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ		
Studijní program: STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ		
Studijní obor: KONSTRUKCE POŽEHNÍCH STAVB		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: ANALÝZA KONSTRUKCE DŘEVĚNÉ ZVONICE VE VLASTIBOŘICÍCH	
Název bakalářské práce anglicky: ANALYSIS OF THE TIMBER CONSTRUCTION OF Belfry IN VLASTIBOŘICE	
Pokyny pro vypracování: POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE ZVONICE POMOCÍ VÝPOČTOVÉHO MODELU, KTERÝ BUDE ZAHRNOVAT JEDNOTLIVÉ ZATĚŽOVACÍ STAVY A JEJICH KOMBINACE A POSKYTNE RELEVANTNÍ SILOVÉ ÚČINKY PRO POSOUZENÍ STAV. PRVKŮ.	
Seznam doporučené literatury: VEŠE KOSTELŮ A ZVONIC - GRADA ČÍSLEK 1995-1997: KAVRHOVÁNÍ DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. KAREL MIKES, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 19.2.2018	Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2018
Udaj uvedte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ok. roku	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

19.2.2018	Podpis studenta(ky)
Datum převzetí zadání	

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a vypracoval jsem ji samostatně, s přispěním citované literatury a odborných konzultací.

V Praze dne 17.5.2018

.....

Daniel Švaříček

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří mi pomohli se získáním informací, podkladových materiálů a poskytli mi rady při psaní této bakalářské práce.

Také chci poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Karlovi Mikešovi, Ph.D. za vstřícné a odborné vedení při zpracování bakalářské práce.

Zvláštní poděkování patří mé rodině za podporu během celého studia.

Abstrakt

Obsahem této bakalářské práce je statická analýza a popis konstrukčního a technického řešení konstrukce historické dřevěné zvonice v obci Vlastibořice.

V teoretické části je popsán průzkum a dokumentace objektu a jednotlivé konstrukční prvky zvonice.

V praktické části je ověřeno konstrukční řešení pomocí prostorového modelu konstrukce. Model je vytvořen pomocí výpočetního softwaru Scia Engineer. Hlavní nosné prvky jsou ověřeny z hlediska spolehlivosti.

Klíčová slova

Dřevěná zvonice, historická stavba, zvon

Abstract

The content of this bachelor thesis is a description of the structural and the technical solution of a historic timber belfry in the village Vlastibořice.

In the theoretical part is described survey and documentation of the object and the individual structural elements of the belfry.

In the practical part is introduced a 3D model of a structure, that is created in the software Scia Engineer. There is also calculation of load capacity of individual elements.

Keywords

Timber belfry, historic building, bell

Obsah

Úvod.....	7
1 Základní informace o objektu.....	8
1.1 Umístění objektu.....	8
1.2 Historie areálu.....	9
1.3 Památková ochrana.....	10
2 Průzkum a dokumentace objektu.....	11
3 Popis objektu.....	14
3.1 Charakteristika stavby.....	14
3.2 Základové konstrukce.....	14
3.3 Svislé konstrukce.....	15
3.3.1 Konstrukční uspořádání prvků.....	15
3.3.2 Spoje.....	20
3.4 Vodorovné konstrukce.....	24
3.4.1 Konstrukční uspořádání prvků.....	24
3.4.2 Spoje.....	30
3.5 Střešní konstrukce a plášť.....	31
3.6 Schodiště.....	34
3.7 Okenní a dveřní otvory.....	35
3.8 Zvon.....	36
3.8.1 Hmotnost zvonu.....	38
3.8.2 Srdce zvonu.....	38
3.8.3 Hlava zvonu.....	39
4 Stálé zatížení.....	41
4.1 Vlastní tíha.....	41
4.2 Obvodový plášť 1.NP a věže zvonice.....	41

4.3	Podlaha 2.NP	42
4.4	Schodiště.....	42
4.5	Obvodový plášť 2.NP	43
5	Proměnná zatížení.....	44
5.1	Užitné zatížení	44
5.2	Zatížení sněhem.....	45
5.3	Zatížení větrem.....	46
5.3.1	Vítr podélný.....	47
5.3.2	Vítr diagonální.....	57
5.4	Zatížení od zvonu	58
6	Zatěžovací stavy a kombinace zatížení.....	62
6.1	Zatěžovací stavy	62
6.2	Kombinace zatížení	62
7	Výpočetní model.....	64
7.1	Rozdíl mezi modelem a skutečností	64
7.2	Posouzení vybraných prvků	65
7.2.1	Trám č. 2.....	66
7.2.2	Krokev „Kr1“	69
7.2.3	Sloup „H4“	72
7.2.4	Vzpěra „S29“	76
7.2.5	Trám „TR3“.....	80
7.2.6	Krokev „Kr27“	92
7.2.7	Námětek „N3“	95
7.2.8	Tesařský spoj - osedlání vzpěry „S10“ na trám č. 2.....	99
7.2.9	Tesařský spoj - čepování vzpěry „S29“ na trám č. 7.....	102
8	Závěr	105
	Seznam použité literatury a zdrojů.....	106

Seznam obrázků, tabulek a grafů	108
Seznam použitých zkratk a symbolů	112
Seznam příloh.....	116

Úvod

Nedílnou součástí údržby historických konstrukcí jsou jejich opravy. Proto je nezbytné znát před jejich započítím stav konstrukce stavby a mít potřebné podklady, jako například výkresovou dokumentaci, k realizaci sanace. V případě zvonice v obci Vlastibořice se žádná výkresová ani textová dokumentace nedochovala a pro její vytvoření bylo nutné zaměřit umístění a průřezy jednotlivých prvků konstrukce a dále provést detailní fotodokumentaci.

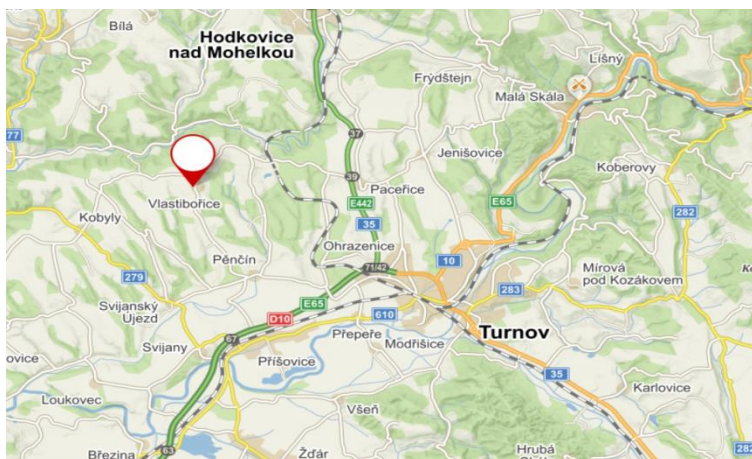
V první části bakalářské práce je popsána konstrukce stavby a její technické řešení. Ve druhé části je představení prostorového modelu celého objektu a zatížení, které na něj působí. Dále je v této části výpočet spolehlivosti vybraných prvků konstrukce.

Hlavním cílem bakalářské práce je detailní popis konstrukce zvonice a ukázka posouzení několika prvků za pomoci výpočetního modelu.

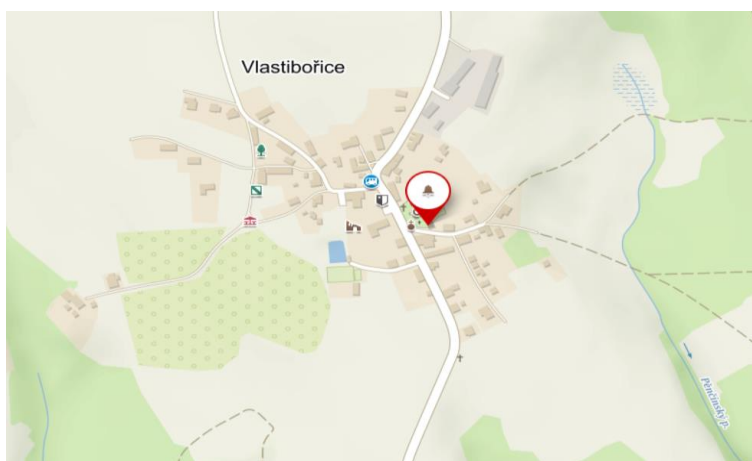
1 Základní informace o objektu

1.1 Umístění objektu

Zvonice je situována v obci Vlastibořice, která se nachází na jihovýchodě okresu Liberec, asi 10 km od města Turnov v Libereckém kraji. Objekt je umístěn v centru obce, v areálu kostela sv. Kateřiny Alexandrijské.



Obrázek 1 - Mapa umístění Vlastibořic [1]



Obrázek 2 - Umístění zvonice ve Vlastibořicích [1]

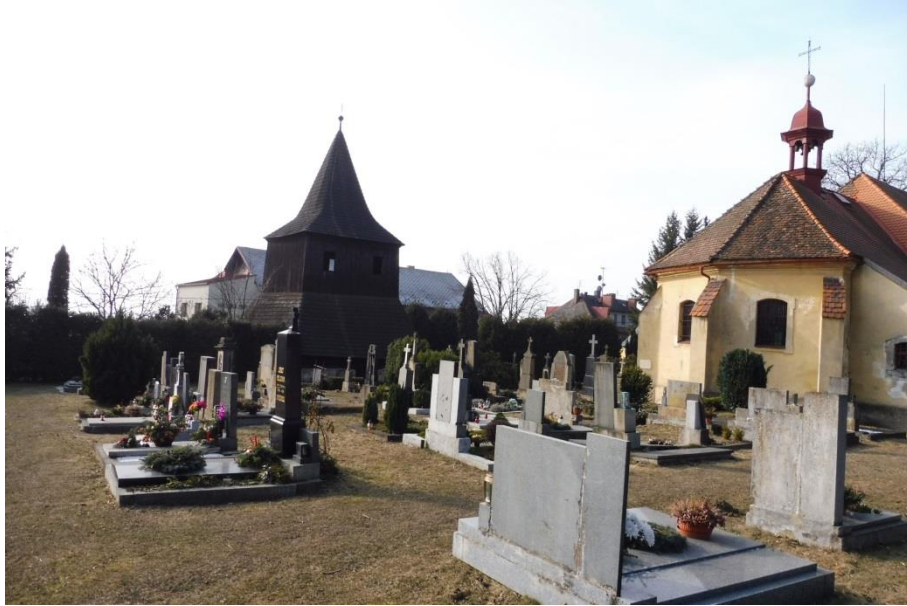
1.2 Historie areálu

Podle archeologických nálezů jsou Vlastibořice jedno z nejstarších sídlišť kraje. Z nálezů úlomků prehistorické keramiky vyplývá, že okolí obce bylo osídleno již ve druhém tisíciletí př.n.l. [2]

Vlastibořice byly zemanským sídlem s tvrzí doloženou poprvé r. 1357. Místní zeman byl zřejmě i stavebníkem zdejšího původně románského kostela sv. Kateřiny Alexandrijské. Jeho dnešní vzhled je výsledkem barokní přestavby v polovině 18. století, ze kdy pochází i část vnitřního vybavení. Kostel je obklopen hřbitovem a v jeho jižní části dominuje celému areálu rozložitá dřevěná zvonice, o níž je zmínka již v r. 1632. V rohu hřbitovní zdi stojí zděná barokní kostnice, která ukrývá ostatky asi 140 lidí po morové epidemii v r. 1771. Naproti kostelu stojí bývalá fara, která od rekonstrukce v r. 2008 plní funkci obecního úřadu. [2]



Obrázek 3 - Historická pohlednice – pohled na zvonici (vlevo) a kostel sv. Kateřiny Alexandrijské (vpravo) [2]



Obrázek 4 - Současný pohled na zvonici a kostel

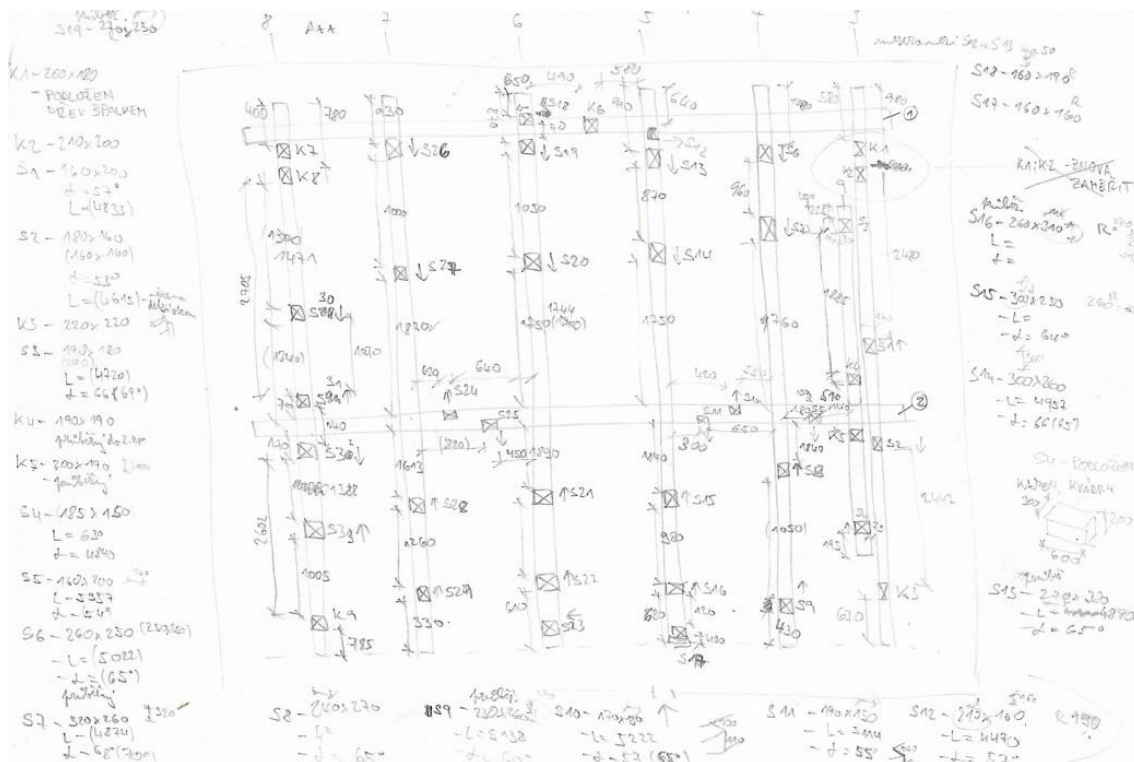
1.3 Památková ochrana

Celý areál kostela sv. Kateřiny Alexandrijské, který tvoří kostel, márnice, dřevěná zvonice a roubená ohrada, je zapsán jako kulturní památka v Ústředním seznamu kulturních památek ČR. Areál je zapsán pod katalogovým číslem 1000144298 a je památkově chráněn od 3. 5. 1958. [3]

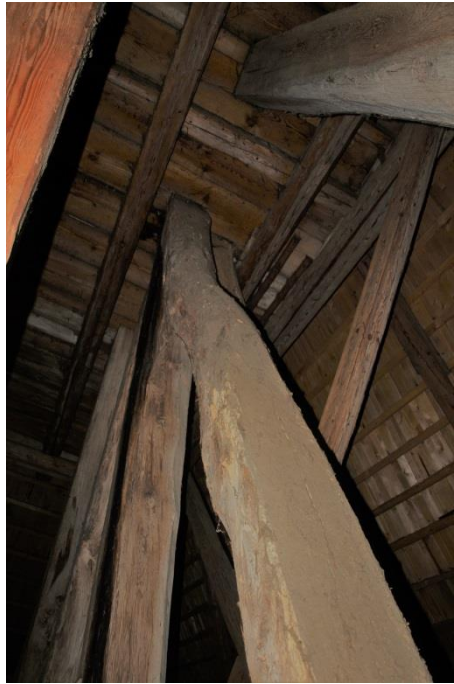
2 Průzkum a dokumentace objektu

Ke zvonici se nedochovala, a pravděpodobně ani nikdy neexistovala, žádná výkresová ani textová dokumentace. Bylo proto nutné zajistit před započítím tvorby výpočetního modelu a výkresové dokumentace průzkum stavby. Nejprve jsem si naskicoval rozmístění jednotlivých prvků (obr. 5), abych porozuměl jejich funkci a celkovému složení konstrukce. Dále jsem s pomocí geodeta určil výškový bod $\pm 0,000$. Poté jsem začal zaměřovat umístění a rozměry jednotlivých prvků. Začal jsem od vodorovných trámů v 1.NP, které jsem označil číslem 1 až 9 a pokračoval dále přes šikmé vzpěry a sloupy až do vrcholu věže.

Při měření jsem se potýkal s otázkou jak přesně měřit. Po uvážení jsem se rozhodl, že rozměry průřezů budu měřit s tolerancí ± 10 mm. Délky trámů a vzdálenosti jednotlivých spojů s přesností na desítky až stovky milimetrů. U naměřených hodnot takto starých dřevěných konstrukcí není možné počítat s přesností na milimetry a někdy ani na centimetry. Je to především z důvodů nepřesného opracování dřevěných prvků, zakřivení prvků (obr. 6), nebo výsušných trhlin (obr. 7).



Obrázek 5 – Ukázka vlastní skici z průběhu dokumentace zvonice



Obrázek 6 - Zakřivená vzpěra



Obrázek 7 - Výsušné trhliny

Při zakreslování a měření bylo nutné označit každý prvek v konstrukci, proto jsem každý trám opatřil vlastní značkou. Veškeré použité označení jsem volil tak, aby bylo jednoduché a přehledné.

Další nezbytnou součástí průzkumu bylo provedení fotografické dokumentace a to jak celých prvků, tak i jejich detailů a spojů.

Součástí této práce je i vytvořená výkresová dokumentace a seznam všech změřených prvků, ve které uvádím jejich označení, přibližný průřez, délku a jejich sklon v případě, že se jedná o šikmé prvky. Lze tedy podle popisu konstrukcí v této práci dohledat jednotlivé prvky ve výkresech.

3 Popis objektu

3.1 Charakteristika stavby

Jedná se o dřevěnou stupňovitou zvonici se zděným přízemkem o rozměrech přibližně 10x10 m. Střecha stavby je stanová s krytinou z dřevěných šindelů.

Stavba je rozčleněna do tří výškových úrovní. Na úrovni 1.NP se nachází vstup do objektu a schodiště vedoucí do 2.NP. Z 2.NP, ve kterém je umístěn zvon, lze po dřevěném žebříku vystoupat do krovu věže.



Obrázek 8 - Pohled na zvonici

3.2 Základové konstrukce

Lze předpokládat, že zděný přízemek, který tvoří vnější plášť stavby, je uložen na základových pasech z kamenného zdiva na vápennou maltu. [4] Pro zjištění přesných rozměrů základové konstrukce by bylo nutné provést sondu k základové spáře. Dále předpokládám, že pasy mají stejnou šířku jako stěny přízemku.

Hlavní nosnou konstrukci zvonice tvoří vodorovné trámy, jež jsou uloženy na zhutněné zemině uvnitř zděného přízemku a na několika místech jsou podepřeny

kamennými bloky (obr. 9). Do těchto trámů jsou vetknuty všechny nosné sloupy i šikmé trámy.



Obrázek 9 - Kamenná podpěra vodorovného trámu

3.3 Svislé konstrukce

3.3.1 Konstrukční uspořádání prvků

Na zděném přízemku tloušťky přibližně 500 mm, který tvoří kamenné zdivo spojené na vápennou maltu, jsou umístěny čtyři vodorovné dřevěné trámy, tvořící roubenou stěnu.



Obrázek 10 – Zděný přízemek s roubenými trámy

V přízemí uprostřed objektu se nachází čtyři hlavní sloupy „H1“ až „H4“, které jsou průběžné do 2.NP. V rozích se nacházejí menší sloupy „K1“, „K2“, „K3“, „K7“, „K8“ a „K9“, které jsou taktéž průběžné do 2.NP a zároveň tvoří podpěry pro konstrukci stropu 1.NP. Hlavní a rohové sloupy tvoří opěrné body šikmým vzpěrám „S“. Mezi hlavními sloupy „H“ a šikmými vzpěrami „S“ opřenými do těchto sloupů jsou také umístěny zavětrovací kříže I až VIII (obr. 13). Sloupy „H“ a „K“ a vzpěry „S“ 1.NP jsou umístěny na vodorovných trámech č. 1 až 9 (obr. 14).



Obrázek 11 - Pohled od vchodu do zvonice



Obrázek 12 - Pohled na konstrukci 1.NP z jižní strany objektu

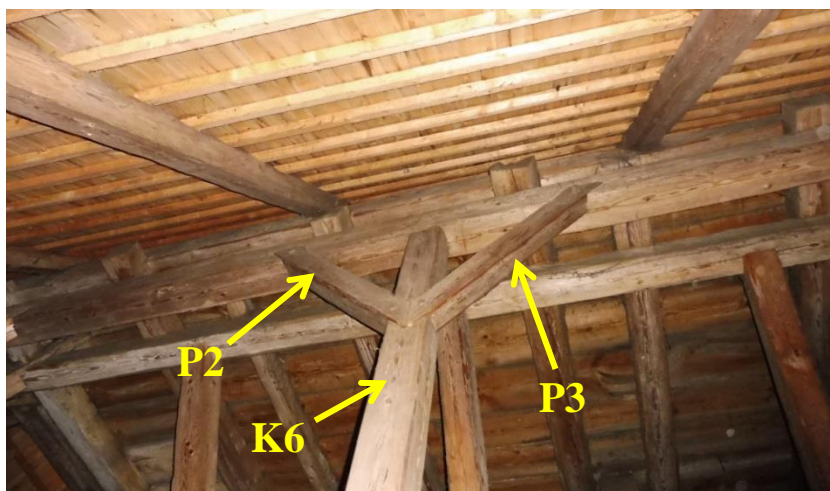


Obrázek 13 - Zavětrovací kříž II mezi hlavními svislými sloupy „H2“ a „H3“



Obrázek 14 - Umístění šikmých vzpěr „S“ na vodorovných trámech č. 1 až 9

V 1.NP se dále nacházejí sloupy „K4“ a „K5“, které jsou také průběžné do 2.NP, a sloup „K6“, který podpírá trám „T1“ a je doplněn pásky „P2“ a „P3“ (obr. 15). Pásky je také doplněn sloup „K1“ a „K7“ a to pásky „P1“ a „P4“.



Obrázek 15 - Sloup „K6“ s pásky „P2“ a „P3“

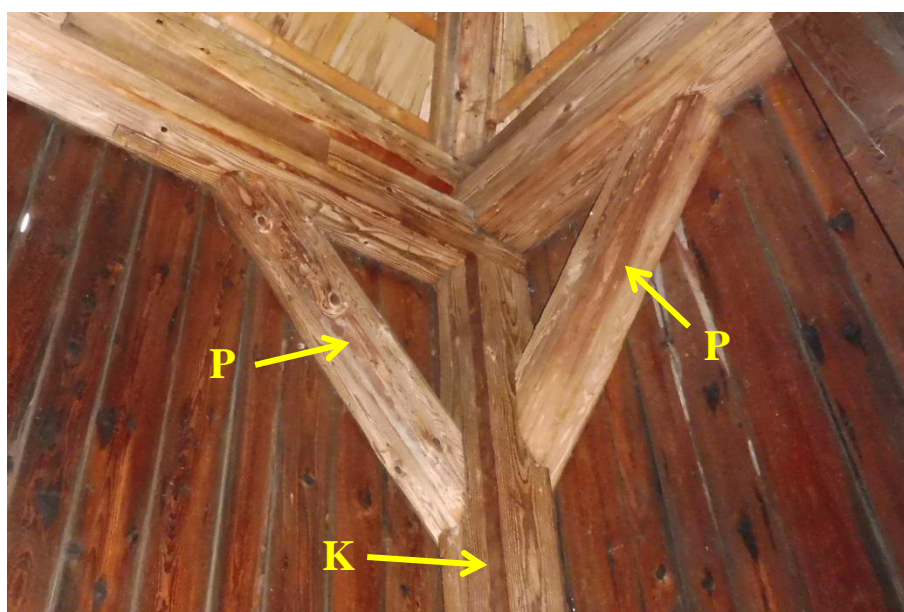
Ve 2.NP je objekt prostornější a uprostřed se nachází pouze průběžné hlavní sloupy „H1“ až „H4“ a do nich opřené průběžné šikmé vzpěry „S6“, „S9“, „S13“, „S16“, „S19“, „S22“, „S26“, „S29“ z 1.NP. Obvodový plášť 2.NP tvoří prkna upevněná k vodorovným rozpěrám „V4“, „V5“, „V6“ a „V8“ až „V12“, umístěným mezi rohové sloupy „K2“, „K3“, „K8“, „K9“ probíhajícím z přízemí, a k obvodové vodorovné konstrukci nad podlahou 2.NP (která je podrobněji popsána v kapitole 3.4 Vodorovné konstrukce). Dále jsou na každé stěně vždy dva šikmé prvky „ZP“. Rohové sloupy „K“ jsou vždy doplněny pásky „P“ (obr. 18).



Obrázek 16 - Pohled na 2.NP zvonice



Obrázek 17 - Pohled na východní stěnu zvonice



Obrázek 18 - Sloup „K“ s pásky „P“

Ve věži zvonice se nachází vřeteno „K11“, které je v patě doplněno vzpěrami (obr. 19). Do vrcholu vřetene se sbíhají krokve „Kr21“ až „Kr32“ (obr. 20). Celá věž je dále doplněna soustavou vodorovných („V18“ až „V22“) a šikmých („P13“ až „P20“) prvků, které jsou opřeny mezi vřeteno „K11“ a krokve.



Obrázek 19 – Vzpěry v patě vřetena „K11“



Obrázek 20 - Vrchol věže

3.3.2 Spoje

Spojení vodorovných trámů č. 3 až 9 se sloupy „K“ a „H“ a šikmými vzpěrami „S“ je provedeno pomocí čepového spoje doplněného klínem (obr. 21). Šikmé vzpěry „S5“, „S10“, „S11“, „S24“, „S25“, „S34“ a „S35“, které podpírají vodorovné trámy „T“ stropní konstrukce 1.NP, jsou spojeny s vodorovným trámem č. 2 pomocí sedlového spoje (obr. 22).

Prvky zavětrovacích křížů *I* až *VIII* jsou mezi sebou spojeny přeplátováním (obr. 23) a některé spoje jsou ještě doplněny dřevěným kolíkem (obr. 24). Šikmé prvky u zavětrovacích křížů *I*, *II* a *III* jsou ke sloupům „H“ lípnuty a s trámem č. 2 jsou spojeny pomocí částečného přeplátování. U zavětrování *IV* až *VIII* jsou šikmé prvky napojeny k šikmým vzpěrám „S“ taktéž částečným přeplátováním (obr. 25). Vodorovné prvky všech křížů jsou spojeny se sloupy „H“ nebo vzpěrami „S“ spojem čep a dlab.



Obrázek 21 - Čepový spoj doplněný klínem



Obrázek 22 - Sedlový spoj vzpěry „S24“

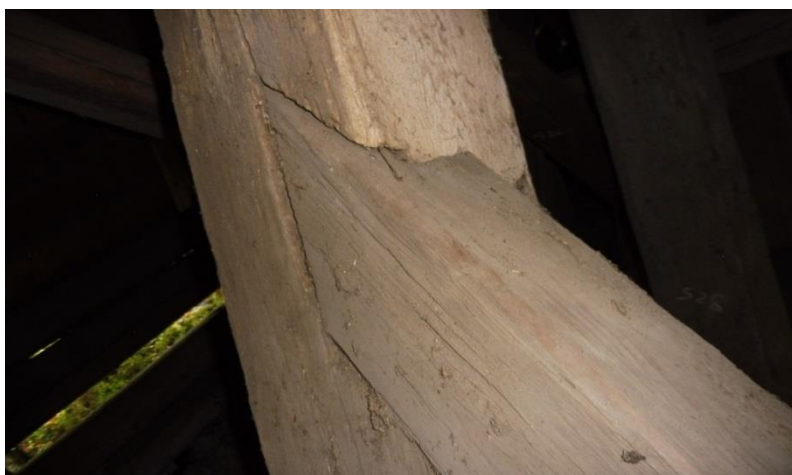


Obrázek 23 - Překlátování prvků zavětrovacích křížů

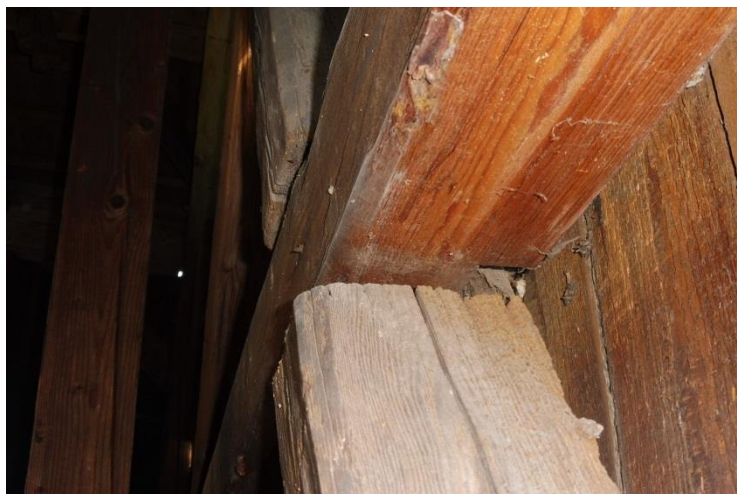


Obrázek 24 - Překlátování doplněné dřevěným kolíkem

Křížení šikmých a vodorovných prvků na stěnách ve 2.NP je provedeno jako kámpový spoj (obr. 26). Prvky ve věži jsou mezi sebou spojeny částečným překlátováním (obr. 27). [5]



Obrázek 25 - Částečné překlátování zavětrování se vzpěrou „S“



Obrázek 26 - Překlátování šikmého a vodorovného prvku na stěně 2.NP



Obrázek 27 – Částečné překlátování šikmého a vodorovného prvku věže

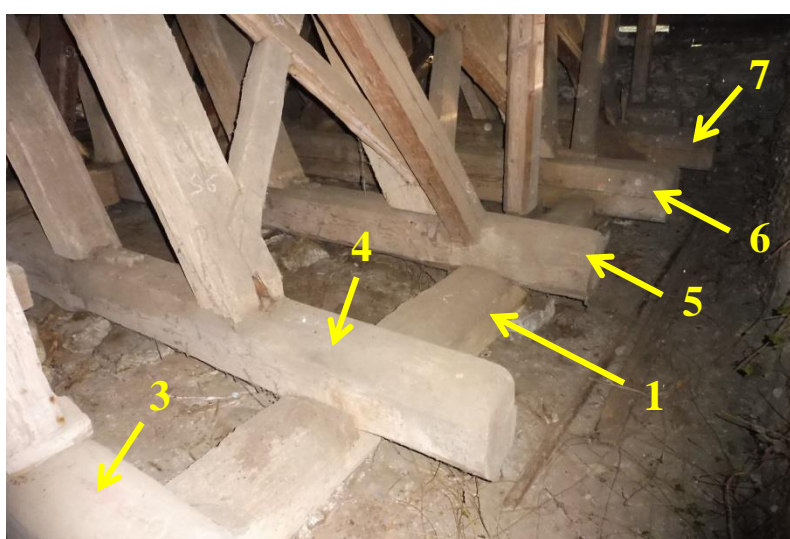
3.4 Vodorovné konstrukce

3.4.1 Konstrukční uspořádání prvků

Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.3.1 Svislé konstrukce – situování prvků, nosný podklad konstrukce tvoří vodorovné trámy č. 1 až 9 uložené na zemině a kamenných podkladech. Trámy č. 1 a 2 tvoří rovinu mírně se svahujícího terénu a dalších sedm trámů č. 3 až 9 je položeno kolmo na ně. Lze předpokládat, že trámy č. 4 až 7 byly v minulosti sanovány z důvodu shnilého zhlaví. Je možné tak usuzovat podle plátového spoje (obr. 28), který se často používá u metody protézování.

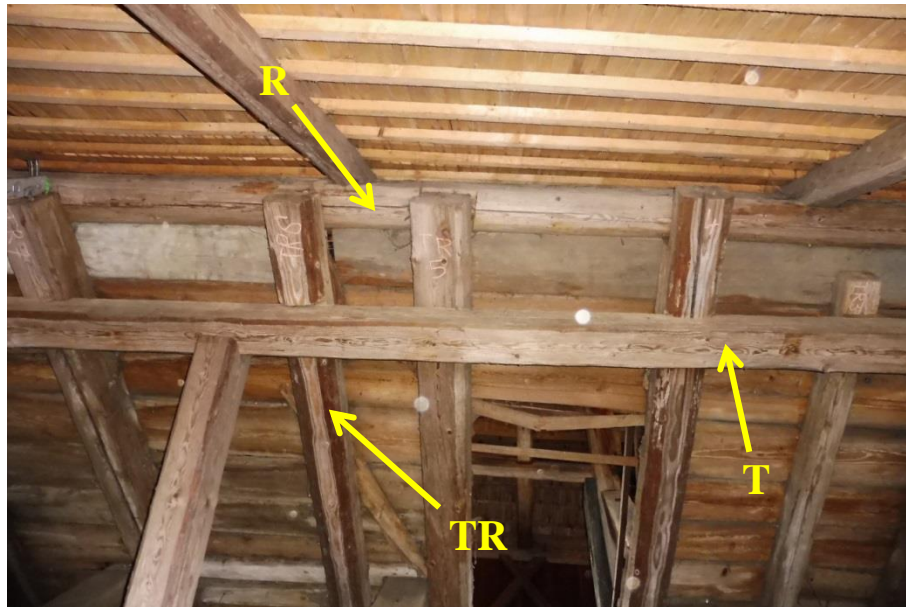


Obrázek 28 - Plátový spoj s ozubem na trámu č. 4 s využitím tesařské skoby

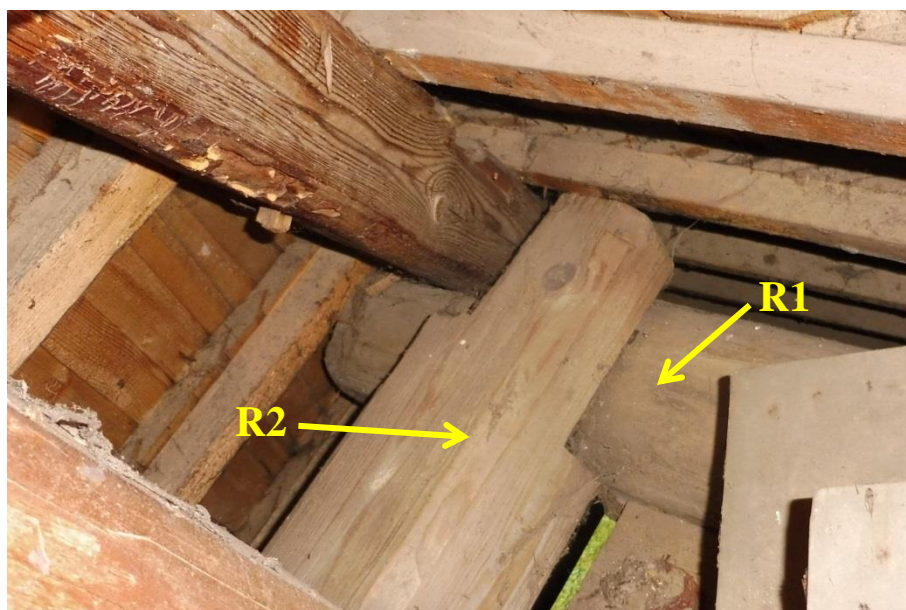


Obrázek 29 – Trámy č. 3 až 7 uložené na trámu č. 1

Stropní konstrukce 1.NP je tvořena tak, že rohové sloupy „K“ podpírají trámy „T1“, „T2“ a „T3“, které nesou kolmo na ně položené stropní trámy „TR1“ až „TR8“. Na trámech „TR“ jsou položena prkna různých šířek, která tvoří podlahu 2.NP. Na zhlaví trámů „TR“ jsou u obvodového pláště uloženy trámy „R1“ až „R4“ (obr. 30), když „R1“ a „R4“ nesou prvky „R2“ a „R3“. Tato soustava trámů „R1“ až „R4“ tvoří po obvodu stropní konstrukce rám, sloužící jako podpora pro krokve, nesoucí střešní plášť 1.NP zvonice.

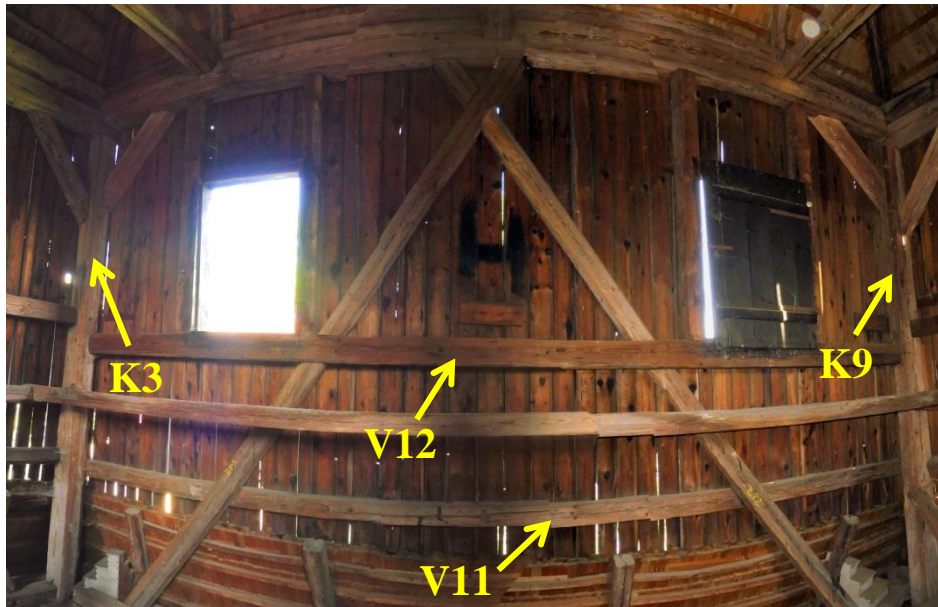


Obrázek 30 - Pohled na stropní konstrukci 1.NP



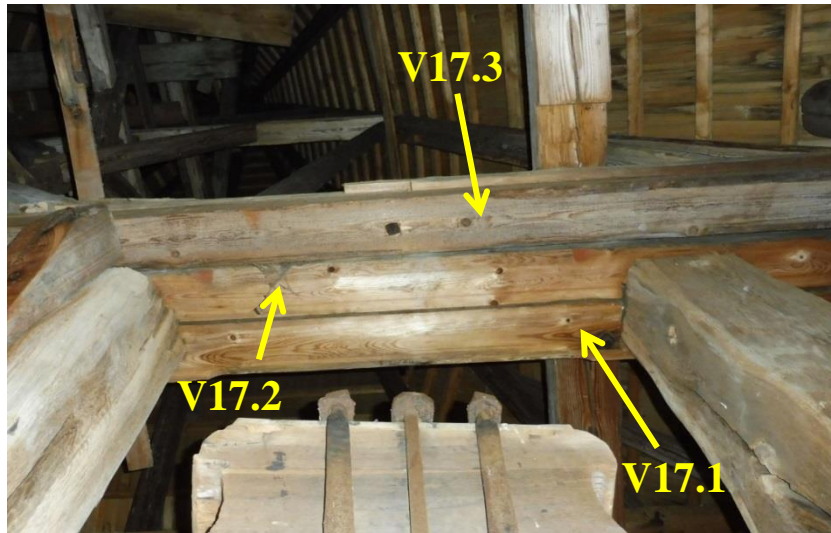
Obrázek 31 - Spojení vodorovných trámů „R1“ a „R2“

Ve 2.NP jsou vodorovné prvky „V“ umístěny na stěnách zvonice a rozepryeny mezi rohové sloupy „K2“, „K3“, „K8“ a „K9“. Na obrázku 32 je pohled na severní stěnu 2.NP zvonice, kde jsou umístěny vodorovné trámy „V11“ a „V12“ mezi sloupy „K3“ a „K9“.

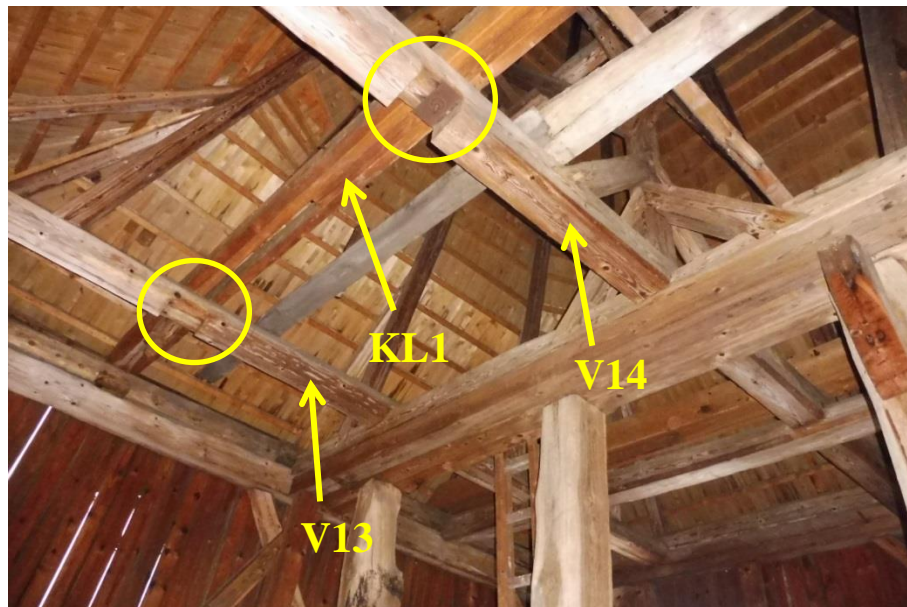


Obrázek 32 - Pohled na severní stěnu 2.NP

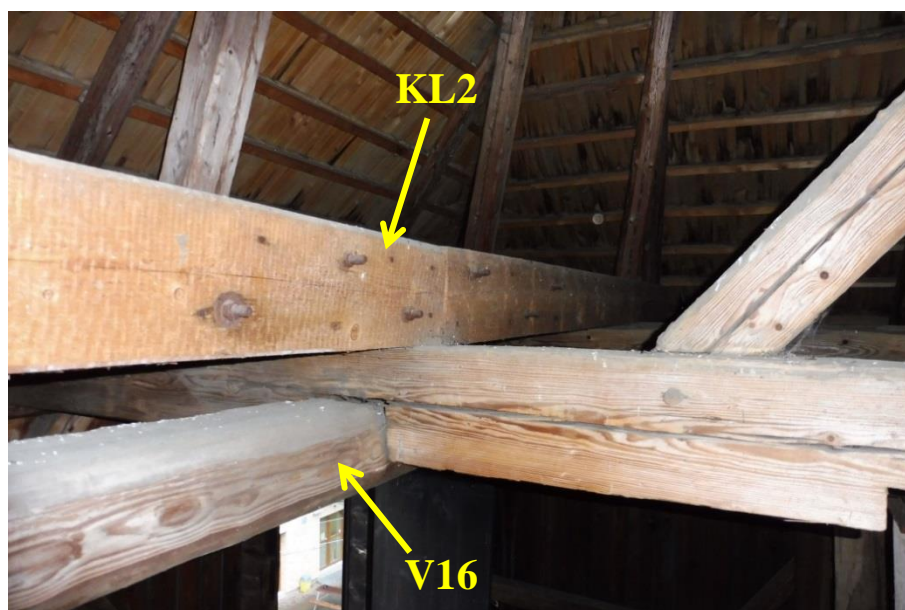
Vodorovná konstrukce nad podlahou 2.NP je ve výšce přibližně 4,60 metrů a je zároveň podpěrnou konstrukcí krokví věže. Hlavním prvkem této konstrukce je prvek „V17“, který je složen z několika trámů („V17.1“, „V17.2“, „V17.3“, „V17.4“) (obr. 33). Tento prvek je položený na hlavních sloupech „H1“ až „H4“ a kolmo na něj jsou položeny trámy „V13“, „V14“ a „V15“. Na této konstrukci je opět patrná sanace a to pomocí prvků „KL1“ a „KL2“. Pod prvkem „KL2“ je osazen trám „V16“, na druhé straně pod prvkem „KL1“ však trám chybí. Na obrázku 34 jsou vidět zeslabená místa trámů „V13“ a „V14“ ve kterých byly trámy spojeny s odstraněným prvkem, který byl nahrazen prvkem „KL1“.



Obrázek 33 – Pohled zdola na prvek „V17“

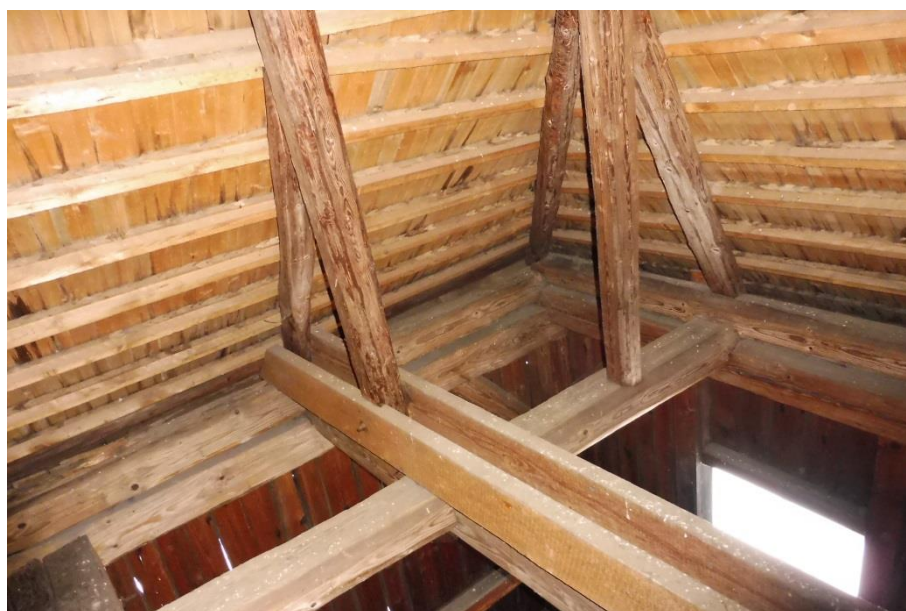


Obrázek 34 – Místa zeslabení na trámech „V13“ a „V14“



Obrázek 35 - Pohled na prvky „KL2“ a „V16“

Obvod vodorovné konstrukce nad podlahou 2.NP je složen vždy ze dvou trámů uložených na sobě („Se1“+„Se2“, „Vy1“+„Vy2“, „J1“+„J2“, „Z1“+„Z2“). Do těchto složených prvků jsou vetknuty vodorovné prvky „V13“ až „V17“ a „KL1“ a „KL2“ a do horního trámu jsou uloženy námětky „N1“ až „N16“, které jsou pomocí lípnutí spojeny s krokviemi věže (obr. 37).



Obrázek 36 - Pohled na roh obvodu stropní konstrukce nad podlahou 2.NP



Obrázek 37 - Námětek ve věži

V samotné konstrukci věže jsou vodorovné prvky „V18“ až „V22“, které prochází přes vřeteno věže „K11“ a jsou rozepřeny mezi krokviemi věže.



Obrázek 38 - Pohled do věže

3.4.2 Spoje

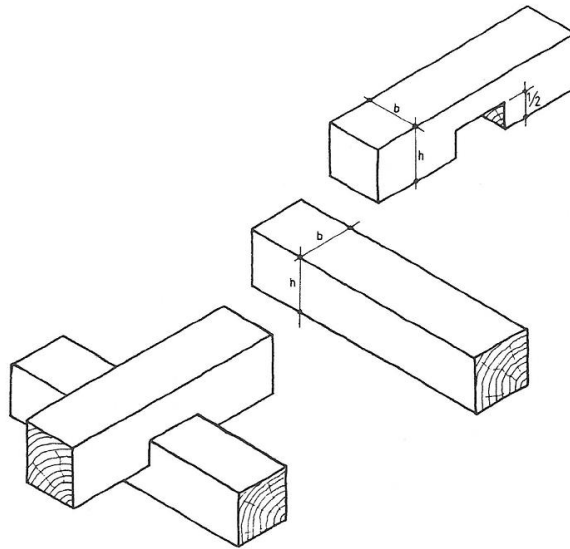
Spojení mezi trámy č. 3 až 9 a na ně kolmým trámem č. 2 je provedeno pomocí přeplátování (obr. 39). Spoje mezi prvky stropní konstrukce 1.NP a trámy „R1“ a „R4“ jsou provedeny pomocí kampového překříženého spoje proříznutím (obr. 40). Uložení vodorovného trámu „V17.4“ na obvodovou konstrukci se podobá oboustrannému karpování (obr. 42). [5]



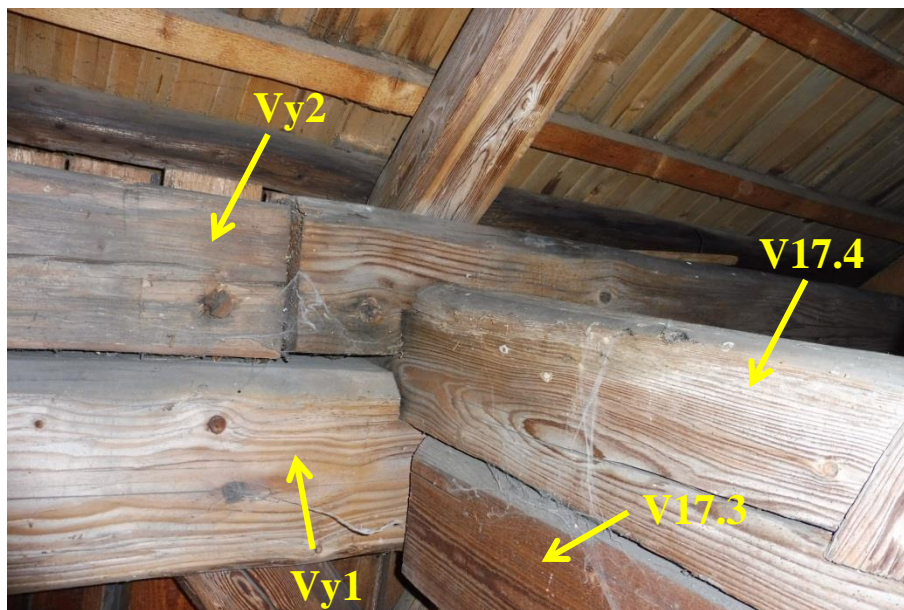
Obrázek 39 - Spoj přeplátováním mezi trámy č. 5 a č. 2



Obrázek 40 – spojení prvků stropu 1.NP



Obrázek 41 – Kamповý překřížený spoj proříznutím [5]

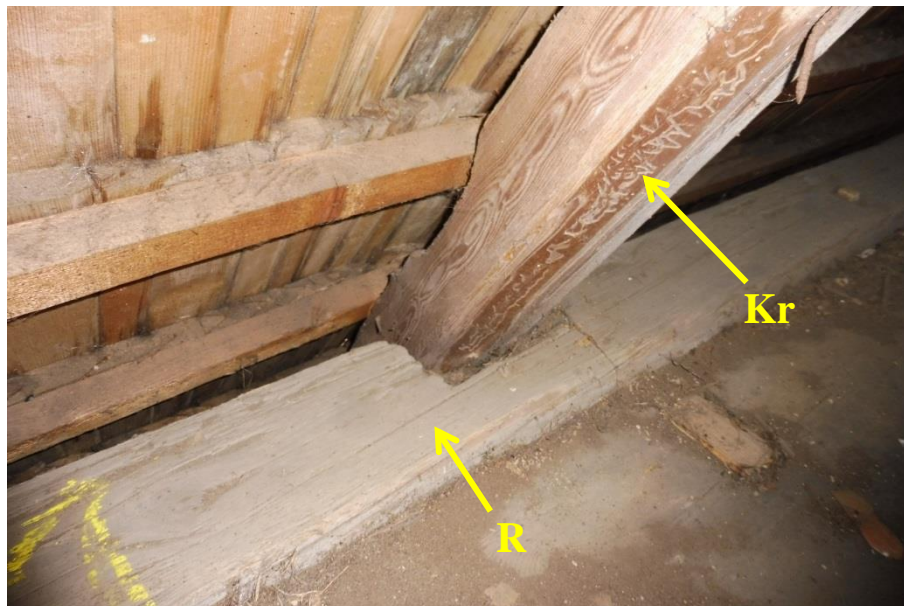


Obrázek 42 - Napojení vodorovných trámů na obvodovou konstrukci

3.5 Střešní konstrukce a plášť

Krokve „Kr1“ až „Kr20“, které nesou střešní plášť 1.NP zvonice jsou osedlané na roubené stěně a rámu stropní konstrukce 1.NP tvořené trámy „R1“ až „R4“. Krokve mají přesah přibližně 400 mm vně roubené stěny v 1.NP a 900 mm nad podlahou 2.NP. Krokve „Kr21“ až „Kr32“, které tvoří střešní konstrukci věže, jsou uloženy na

vodorovných trámech „V13“ až „V17“ a kleštinách „KL1“ a „KL2“, jež tvoří vodorovnou konstrukci ve výšce přibližně 4,60 metrů nad podlahou 2.NP. Krokve se sbíhají ve vrcholu věže a jsou na ně lípnuty námětky „N1“ až „N16“ (obr. 44), které vytvářejí lom střechy věže.



Obrázek 43 - Uložení krokvi „Kr“ na trám „R“



Obrázek 44 - Lípnutí námětku „N“ na krokev „Kr“

Střešní plášť je tvořen latěmi o rozměru 30x50 mm uložených po 300 mm na krokve a námětky. Na latě jsou přibité dřevěné šindele. Střešní plášť 1.NP přesahuje až do 2.NP (obr. 47).



Obrázek 45 - Pohled zespodu na latování



Obrázek 46 - Detail šindelů



Obrázek 47 - Přesah střešního pláště do 2.NP

3.6 Schodiště

V objektu se nachází jedno žebříkové schodiště, které je umístěno naproti dveřím, a spojuje 1.NP a 2.NP. Schodiště je jednoramenné, přímé se sklonem přibližně 60°. Schodiště je tvořeno dvěma schodnicemi a 21 stupni, které jsou široké 290 mm a vysoké 220 mm a nemají podstupnice. Stupně jsou předsazeny přibližně o 70 mm. Na levé straně je schodiště osazeno dřevěným zábradlím.



Obrázek 48 – Schodiště



Obrázek 49 - Schodišťové stupně

3.7 Okenní a dveřní otvory

Na severní straně zvonice jsou situovány dvoukřídlé dveře o rozměrech přibližně 1 150x1 700 mm (obr. 50). Ve 2.NP jsou umístěny celkem čtyři okenní otvory o rozměrech přibližně 810x1 200 mm. Dva otvory jsou na severní a dva na jižní stěně. Okna nemají výplň a jsou uzavíratelná pouze dřevěnými okenicemi (obr. 51).



Obrázek 50 - Dveře do zvonice



Obrázek 51 - Okno s okenicí

3.8 Zvon

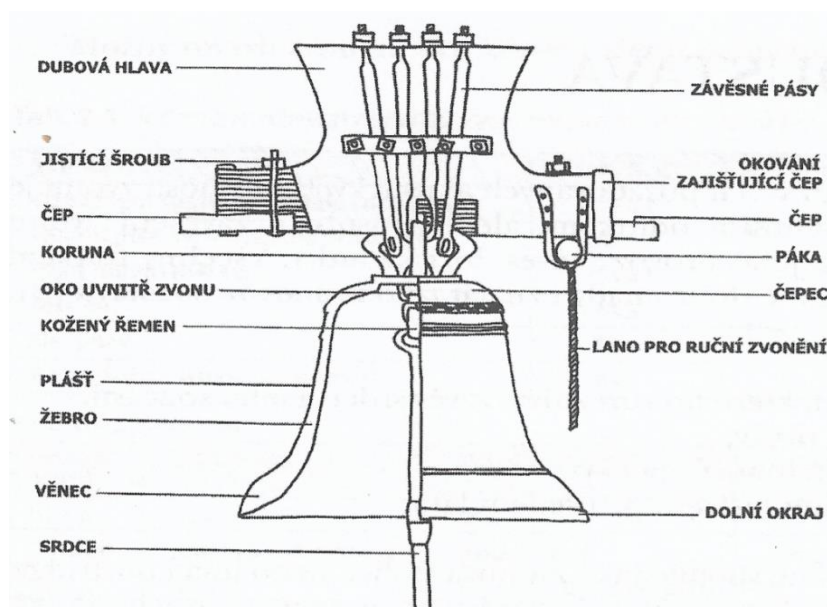
V objektu se nachází jeden zvon umístěný ve 2.NP mezi sloupy „H1“ a „H2“. Všechny jeho pohyblivé i nepohyblivé části lze dohromady označit jako zvonovou soustavu. [6]

Zvonová soustava zahrnuje:

- zvon;
- srdce zavěšené do zvonu, které ho rozeznívá, závěs srdce a jeho součásti;
- hlavu (závěs) zvonu, spojovací prvky;
- ložiska nebo jiné uložení zvonu umožňující kyv;
- páku, dřevěné rameno nebo jiné zařízení pro vedení lana. [7]



Obrázek 52 – Zvon ve zvonici



Obrázek 53 - Popis jednotlivých částí zvonové soustavy z počátku 20. stol. [7]

Z obrázku 52 je patrné, že konstrukce zvonové soustavy se velice podobá těm, které se dělaly do počátku 20. století.

3.8.1 Hmotnost zvonu

Hmotnost zvonu je jedna ze základních veličin, potřebná pro výpočet dynamických účinků zvonu. Jako hmotnost zvonu se zpravidla udává pouze hmotnost bronzového odlitku zvonu, bez vybavení (srdce, hlava). [7]

Ke zvonu se nedochovala žádná dokumentace a nelze o něm ani dohledat zmínku v pamětech nebo kronice obce. Výpočet hmotnosti lze ale provést orientačně podle vzorce:

$$m = d^3 * k \quad (3.1)$$

kde: m [kg] = hmotnost odlitku, d [m] = dolní průměr zvonu, k [-] = konstanta.

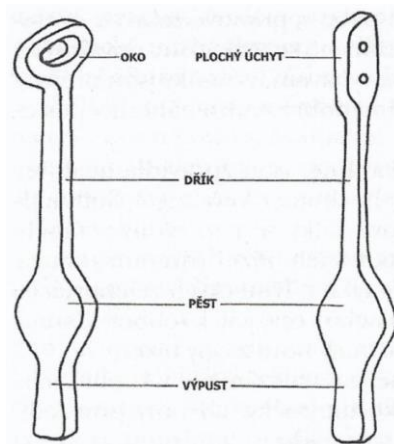
Pro bronzové zvony je konstanta $k = 590 - 600$. V Čechách se tradičně používá hodnota 598. [7]

Pokud tedy dosadíme naměřený průměr zvonu, který je přibližně 810 mm, do vztahu (3.1), pak je výsledná hmotnost zvonu 317,8 kg.

3.8.2 Srdce zvonu

Srdcem zvonu se označuje uvnitř zvonu zavěšené ocelové (železné) kyvadlo, které zvon rozeznívá údery do vnitřní části věnce. [7]

Srdce se skládá z úchytu, dříku, pěsti a výpustky. U starších zvonů mělo srdce úchyt ve formě oka, kterým se provlékl kožený řemen. Srdce novějšího typu nemá nahoře oko, ale je zakončeno naplocho. Z prohlídky závěsu srdce vyplývá, že srdce zvonu je novějšího typu (obr. 55). [7]



Obrázek 54 – Srdce staršího typu zvonu (vlevo) a novějšího typu (vpravo) [7]



Obrázek 55 - Detail úchytu srdce



Obrázek 56 - Srdce zvonu

3.8.3 Hlava zvonu

Hlavou zvonu se nazývá pohyblivý závěs, k němuž je zvon připevněn. Je součástí zvonové soustavy a jeho funkcí je vyvažovat zvon a umožňovat jeho plynulý pohyb. [7]

Hlavu zvonu je možné rozdělit podle druhu závěsu a materiálu. Závěs rozlišujeme rovný a nízko nebo vysoko zalomený. Z hlediska materiálu se hlavy provádějí ze dřeva (zpravidla dubového), oceli nebo litiny. [7]

Hlava by měla být složena ze dvou částí, spodního základového břevna a vrchního nástavce (protizávaží) (obr. 57). [7]



Obrázek 57 - Rovný dřevěný závěs zvonu

4 Stálé zatížení

4.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha konstrukce je automaticky generována ve výpočetním programu. Program počítá s přednastavenými daty, jako je např. rozměr nebo materiál prvku.

4.2 Obvodový plášť 1.NP a věže zvonice

Skladba pláště:

- Latě 30x50 mm po 300 mm ($b = 0,03$ m, $h = 0,05$ m, počet latí do metru:
 $n = \frac{1000}{300} = 3,3$)
- Dřevěný šindel, předpokládaná hmotnost 20 kg/m^2 (plošná tíha:
 $g_{\text{š}} = 0,20 \text{ kN/m}^2$)

Použité dřevo:

Smrk, objemová hmotnost: $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ (objemová tíha: $\gamma = 5 \text{ kN/m}^3$)
Objemová hmotnost je uvažována včetně spojovacích prostředků.

Liniové zatížení na krokve „Kr1“ až „Kr20“:

Zatěžovací šířka krokví: $Z\check{S}_1 = 2,2$ m

$$g_{k1} = b * h * \gamma * Z\check{S}_1 * n + g_{\text{š}} * Z\check{S}_1$$
$$g_{k1} = 0,03 * 0,05 * 5 * 2,2 * 3,3 + 0,20 * 2,25$$
$$g_{k1} = 0,50 \text{ kN/m}$$

Liniové zatížení na krokve „Kr21“ až „Kr32“ ($g_{k2.1}$) a námětky „N1“ až „N16“ ($g_{k2.2}$):

Zatěžovací šířka krokví: $Z\check{S}_{2.1} = 1,0$ m

Zatěžovací šířka námětků: $Z\check{S}_{2.2} = 2,0$ m

$$g_{k2.1} = b * h * \gamma * Z\check{S}_{2.1} * n + g_{\text{š}} * Z\check{S}_{2.1}$$
$$g_{k2.1} = 0,03 * 0,05 * 5 * 1,0 * 3,3 + 0,20 * 1,0$$
$$g_{k2.1} = 0,23 \text{ kN/m}$$

$$g_{k2.2} = b * h * \gamma * Z\check{S}_{2.2} * n + g_{\text{š}} * Z\check{S}_{2.2}$$
$$g_{k2.2} = 0,03 * 0,05 * 5 * 2,0 * 3,3 + 0,20 * 2,0$$
$$g_{k2.2} = 0,45 \text{ kN/m}$$

Krokve „Kr21“ až „Kr32“ přenášejí zatížení od pláště až od míst kde jsou na ně napojeny námětky „N1“ až „N16“.

4.3 Podlaha 2.NP

Podlaha je tvořena prkny tl. = 40 mm ($t_l = 0,04$ m)

Použité dřevo:

Smrk, objemová hmotnost: $\rho = 500$ kg/m³ (objemová tíha: $\gamma = 5$ kN/m³)
Objemová hmotnost je uvažována včetně spojovacích prostředků.

Liniové zatížení stropních trámů „TR1“ až „TR8“:

Zatěžovací šířka trámů TR: $Z\check{S}_3 = 1,0$ m

$$g_{k3} = t_1 * \gamma * Z\check{S}_3 = 0,04 * 5 * 1,0 = 0,20 \text{ kN/m}$$

4.4 Schodiště

Použité dřevo:

Smrk, objemová hmotnost: $\rho = 500$ kg/m³ (objemová tíha: $\gamma = 5$ kN/m³)
Objemová hmotnost je uvažována včetně spojovacích prostředků.

Schodišťové stupně:

Počet: $n_{S1} = 21$

Rozměry stupně: tloušťka: $t_{S1} = 40$ mm = 0,04 m

šířka: $b_{S1} = 290$ mm = 0,29 m

délka: $l_{S1} = 700$ mm = 0,7 m

Plocha všech stupňů:

$$A_s = n_{S1} * b_{S1} * l_{S1} = 21 * 0,29 * 0,7 = 4,26 \text{ m}^2$$

Tíha stupňů:

$$G_{kS1} = A_s * \gamma * t_{S1} = 4,26 * 5 * 0,04 = 0,85 \text{ kN}$$

Schodnice:

Počet: $n_{S2} = 2$

Rozměry schodnice: tloušťka: $t_{S2} = 100$ mm = 0,1 m

šířka: $b_{S2} = 200$ mm = 0,2 m

délka: $l_{S2} = 5\,910$ mm = 5,91 m

Tíha schodnic:

$$G_{kS2} = n_{S2} * t_{S2} * b_{S2} * l_{S2} * \gamma = 2 * 0,1 * 0,2 * 5,91 * 5 = 1,18 \text{ kN}$$

Celková tíha schodiště:

$$G_{kS3} = G_{kS1} + G_{kS2} = 0,85 + 1,18 = 2,03 \text{ kN}$$

Tíha schodiště je přenášena v opěrných bodech schodiště. Síla v každém bodě dotyku tedy je:

$$G_{kS4} = \frac{G_{kS3}}{4} = \frac{2,03}{4} = 0,51 \text{ kN}$$

4.5 Obvodový plášť 2.NP

Obvodový plášť je tvořen vodorovnými prkny tl. 25 mm, která jsou přibírá k vodorovným trámům 2.NP a lze tedy převést plošné zatížení pláště na liniové zatížení vodorovných trámů 2.NP – „V4“, „V5“, „Vy1“, „V6“, „V8“, „J1“, „V9“, „V10“, „Z1“, „V11“, „V12“ a „Se1“.

Použité dřevo:

Smrk, objemová hmotnost: $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ (objemová tíha: $\gamma = 5 \text{ kN/m}^3$)

Objemová hmotnost je uvažována včetně spojovacích prostředků.

Prkna tloušťky: $t_2 = 0,025 \text{ m}$

Liniové zatížení trámů „V4“, „V6“, „V9“ a „V11“:

Zatěžovací šířka trámů „V4“, „V6“, „V9“ a „V11“: $Z\check{S}_{4.1} = 1,2 \text{ m}$

$$g_{k4.1} = t_2 * \gamma * Z\check{S}_{4.1} = 0,025 * 5 * 1,2 = 0,15 \text{ kN/m}$$

Liniové zatížení trámů „V5“, „V8“, „V10“ a „V12“:

Zatěžovací šířka trámů „V5“, „V8“, „V10“ a „V12“: $Z\check{S}_{4.2} = 1,4 \text{ m}$

$$g_{k4.2} = t_2 * \gamma * Z\check{S}_{4.2} = 0,025 * 5 * 1,4 = 0,18 \text{ kN/m}$$

Liniové zatížení trámů „Vy1“, „J1“, „Z1“ a „Se1“:

Zatěžovací šířka trámů „Vy1“, „J1“, „Z1“ a „Se1“: $Z\check{S}_{4.3} = 0,9 \text{ m}$

$$g_{k4.3} = t_2 * \gamma * Z\check{S}_{4.3} = 0,025 * 5 * 0,9 = 0,13 \text{ kN/m}$$

5 Proměnná zatížení

5.1 Užité zatížení

Zatížení na střešní plášť:

Uvažována kategorie H – nepřístupné střechy s výjimkou běžné údržby nebo oprav

$$q_k' = 0,40 \text{ kN/m}^2$$

Liniové zatížení na krokve „Kr1“ až „Kr20“:

$$q_{k1}' = q_{k1} * Z\check{S}_1 = 0,40 * 2,2 = 0,88 \text{ kN/m}$$

Liniové zatížení na krokve „Kr21“ až „Kr32“:

$$q_{k2.1}' = q_{k1} * Z\check{S}_{2.1} = 0,40 * 1,0 = 0,40 \text{ kN/m}$$

Liniové zatížení na námětky „N1“ až „N16“:

$$q_{k2.2}' = q_{k1} * Z\check{S}_{2.2} = 0,40 * 2,0 = 0,80 \text{ kN/m}$$

Zatížení na podlahu 2.NP

Odhad – 1,5 kN/m²

$$q_{k3} = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

Liniové zatížení stropních trámů „TR1“ až „TR8“:

$$q_{k3}' = q_{k3} * Z\check{S}_3 = 1,5 * 1,0 = 1,5 \text{ kN/m}$$

Zatížení na schodiště

Uvažována kategorie A – schodiště

$$q_{kS} = 3 \text{ kN/m}^2$$

Celková tíha od schodiště:

$$Q_{kS} = q_{kS} * S = 3 * 4,26 = 12,79 \text{ kN}$$

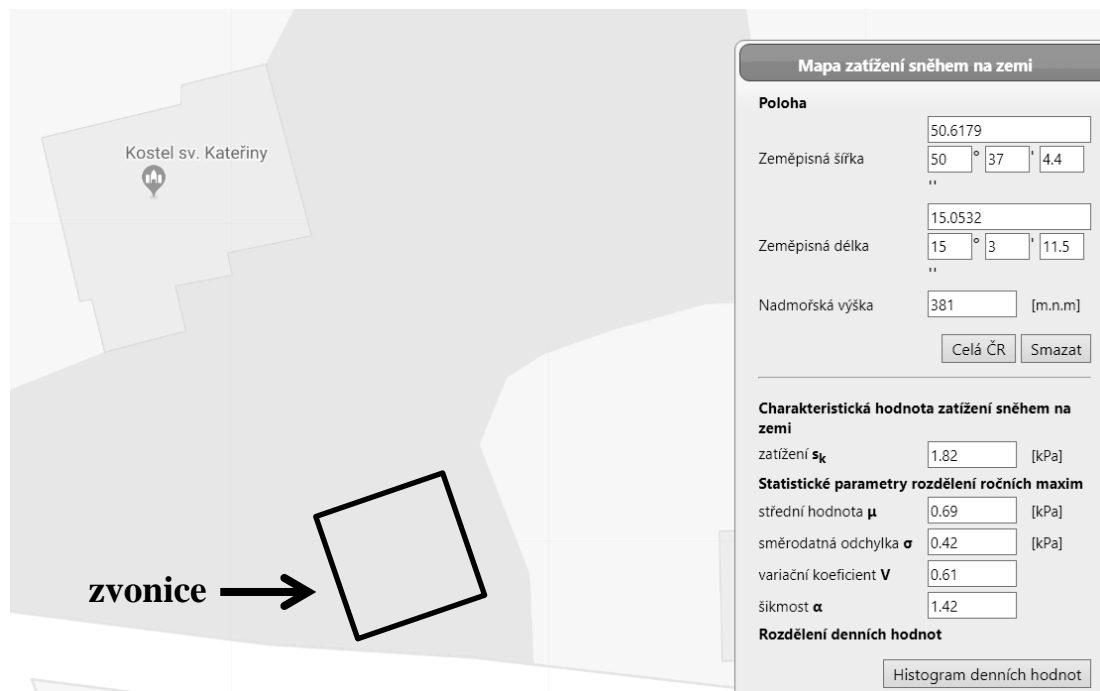
Tíha schodiště je přenášena v opěrných bodech schodiště. Síla v každém bodě dotyku tedy je:

$$Q_{kS4}' = \frac{Q_{kS}}{4} = \frac{12,79}{4} = 3,19 \text{ kN}$$

5.2 Zatížení sněhem

Sněhová oblast: IV

Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi: $s_k = 1,82 \text{ kN/m}^2$ [8]



Obrázek 58 - Mapa zatížení sněhem na zemi [8]

Sklon střechy: $\alpha = 45^\circ - 50^\circ$

Tvarový součinitel zatížení sněhem: $\mu_l = 0,4$ – pro sklon 45°

Součinitel expozice: $C_e = 1,0$ – uvažováno pro normální typ krajiny

Tepelný součinitel: $C_t = 1,0$ – doporučená bezpečná hodnota

Charakteristická hodnota zatížení sněhem na střeše:

$$s = \mu_l * C_e * C_t * s_k = 0,4 * 1,0 * 1,0 * 1,82 = 0,72 \text{ kN/m}^2$$

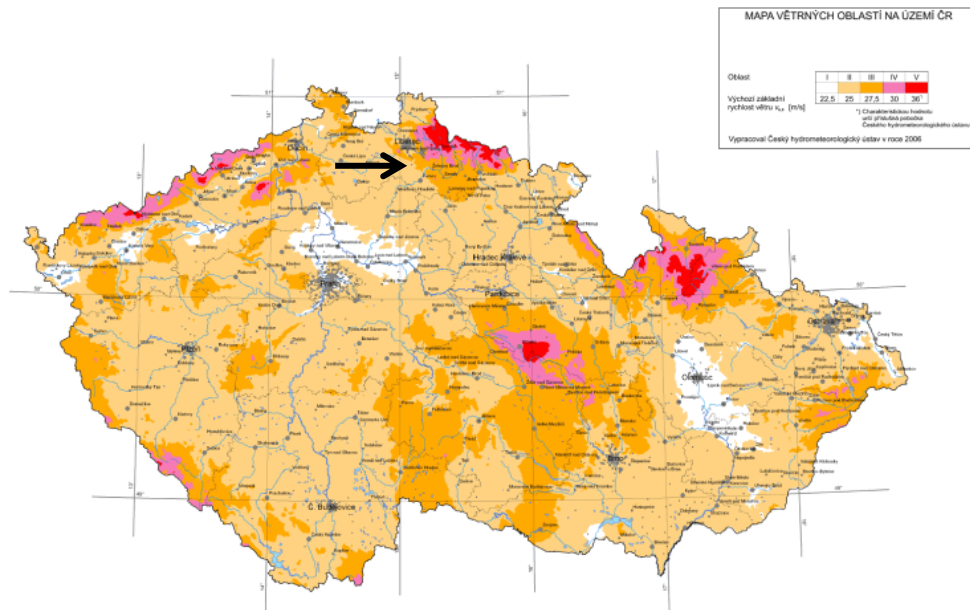
Vzhledem k tomu, že krokve mají sklon 60° a více, počítal jsem zatížení sněhem pouze na námětky „N1“ až „N16“.

Liniové zatížení námětků „N1“ až „N16“:

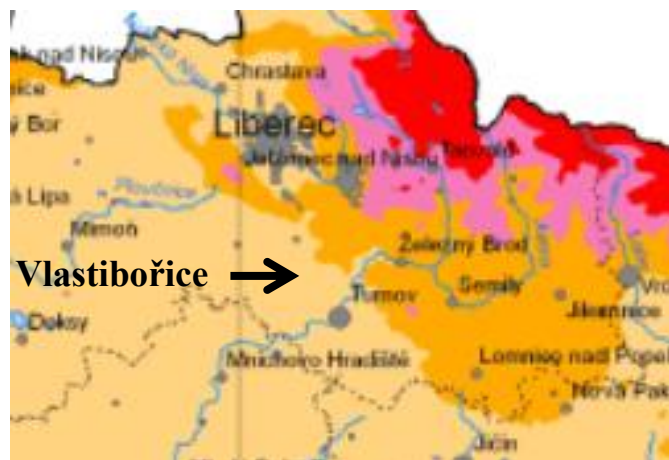
$$q_{k2.2} = s * Z\check{S}_2 = 0,72 * 2,0 = 1,44 \text{ kN/m}$$

5.3 Zatížení větrem

Větrná oblast: II $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$



Obrázek 59 - Umístění Vlastibořic na větrné mapě



Obrázek 60 – Detail větrné mapy

Výška zvonice: $h = 17 \text{ m}$

Šířka zvonice: $b = 10 \text{ m}$

Hustota vzduchu: $\rho_v = 1,25 \text{ kg/m}^3$

Kategorie terénu: III – oblast pravidelně pokrytá vegetací, budovami nebo překážkami

Součinitel směru větru: $c_{dir} = 1,0$

Součinitel ročního období: $c_{season} = 1,0$

Základní rychlost větru:

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

Základní tlak větru:

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho_v * v_b^2 = \frac{1}{2} * 1,25 * 25^2 = 390,63 \text{ Pa} \cong 0,39 \text{ kPa}$$

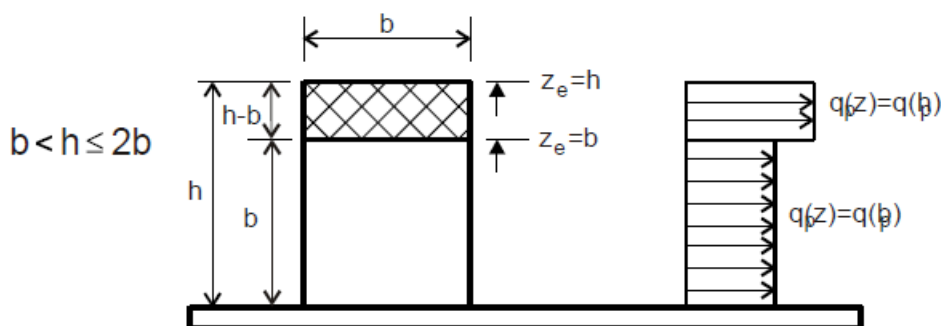
Charakteristický maximální dynamický tlak:

$$q_p(z) = q_b * c_e(z)$$

kde: q_b je základní tlak větru;

$c_e(z)$ je součinitel expozice

U zvonice, jejíž výška h je větší než šířka b kolmá na směr větru, ale menší než dvojnásobek šířky $2b$, je nutné ji rozdělit na dvě části jako na obrázku 61.



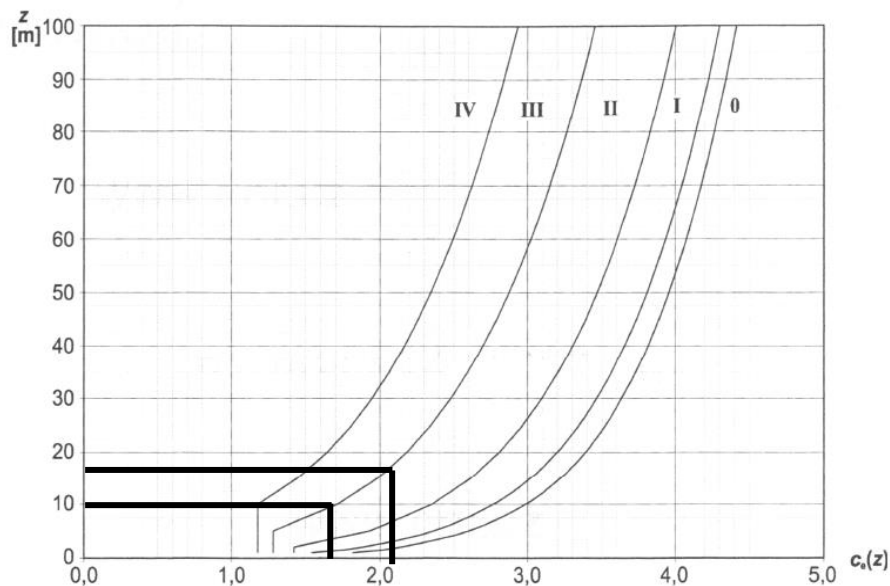
Obrázek 61 - Rozdělení tlaku větru po výšce konstrukce

5.3.1 Vítr podélný

Objekt je tedy rozdělen na dvě části kde do první části spadají krokve „Kr1“ až „Kr20“ a stěny 2.NP a do druhé části věž zvonice zahrnující krokve „Kr21“ až „Kr32“ a námětky „N1“ až „N16“.

Pro první část tedy podle obrázku 61 platí že: $z_{e1} = 10\text{m}$ a pro druhou část: $z_{e2} = 17\text{m}$.

Podle daných výšek z_e je tedy už možné určit součinitel expozice $c_e(z)$ tak jak je vyznačené v grafu 1.



Graf 1 - Graf pro přibližné určení součinitele expozice $c_e(z)$

Z grafu tedy vyplývá že: $c_e(z = 10 \text{ m}) = 1,7$
 $c_e(z = 17 \text{ m}) = 2,1$

Výpočet charakteristického maximálního dynamického tlaku:

$$q_{p1}(z_1 = 10\text{m}) = q_b * c_e(z = 10\text{m}) = 0,39 * 1,7 = 0,66 \text{ kPa}$$

$$q_{p2}(z_2 = 17\text{m}) = q_b * c_e(z = 17\text{m}) = 0,39 * 2,1 = 0,82 \text{ kPa}$$

Tlak větru na povrchy objektu

$$w_e = q_p(z) * c_{pe}$$

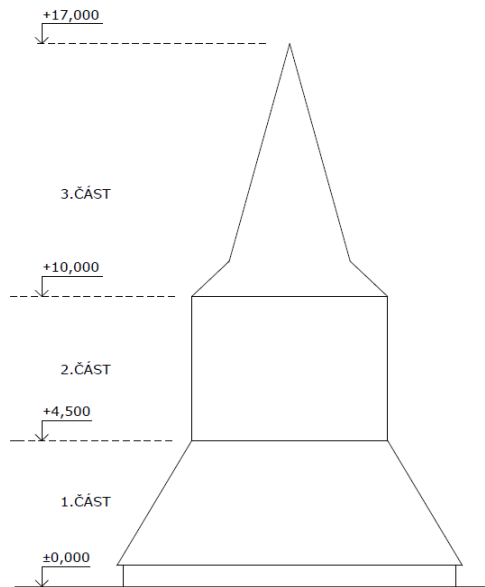
kde: q_p je maximální dynamický tlak;

c_{pe} je součinitel vnějšího tlaku

Určení hodnot součinitel vnějšího tlaku c_{pe}

Objekt jsem rozdělil na tři části, pro které jsem samostatně řešil zatížení větrem. Každou část jsem dále rozdělil na jednotlivé oblasti a každé jsem přiřadil součinitel c_{pe} .

Hodnota součinitele může mít kladnou nebo zápornou hodnotu a to značí, že výsledné hodnota zatížení větrem bude působit směrem od konstrukce a tedy, že bude vznikat sání.



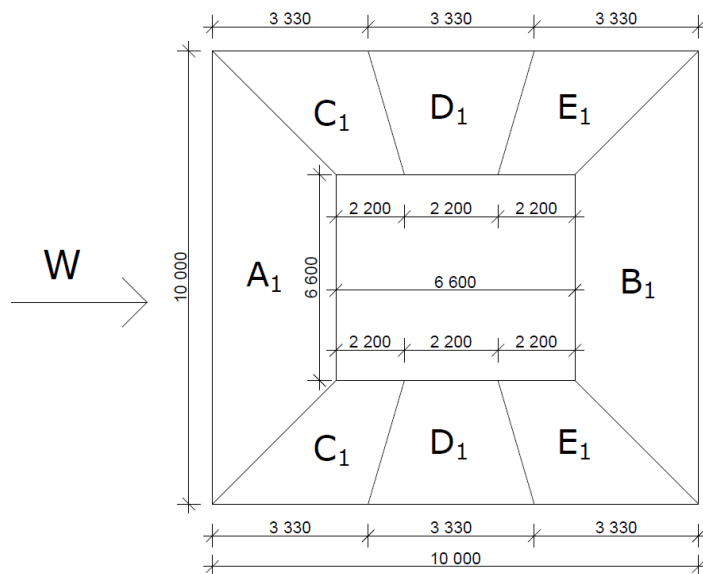
Obrázek 62 - Rozdělení objektu na jednotlivé části

1. ČÁST – střešní plášť 1.NP

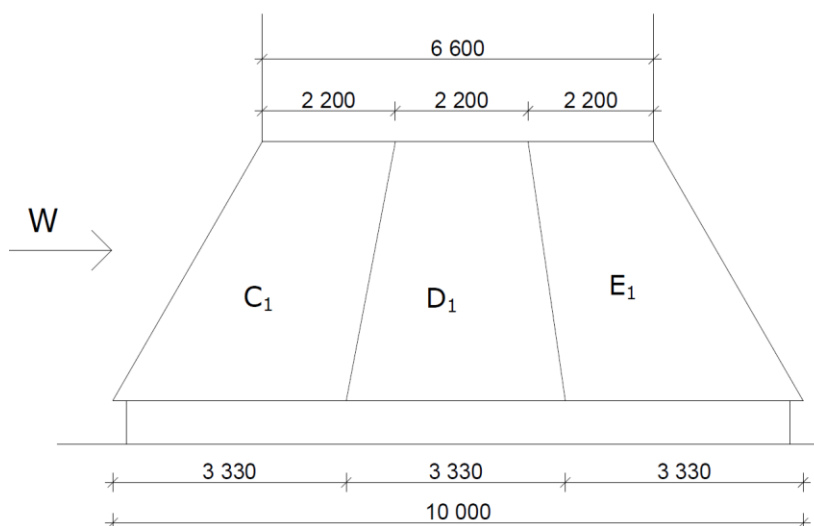
Součinitele c_{pe} pro plochy A_1 a B_1 jsem odvodil od součinitelů pro střechy sedlové a pro střechy se světlíkem, protože tvar oblastí A_1 a B_1 se podobá sedlové střeše a svislá stěna 2.NP zase připodobňuje stěnu střešního světlíku. Také jsem přihlížel k celkovému tvaru zvonice a velikosti jednotlivých oblastí.

Pro plochy rovnoběžné se směrem větru (C_1 , D_1 , E_1) jsem hodnoty jejich součinitelů odvodil z velikostí součinitelů ploch A_1 a B_1 . Jejich velikosti a tím pádem i velikost sání větru na plášť se snižuje směrem od návětrné strany.

Účinky větru na zděný přízemek jsem vzhledem k jeho malé výšce a přesahu krokví zanedbal.



Obrázek 63 – Půdorys 1. části



Obrázek 64 - Nárys 1. části

Tabulka 1 – Součinitel vnějšího tlaku c_{pe} pro 1. část objektu

Oblast	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁
c_{pe} [-]	+1,0	-0,5	-0,9	-0,7	-0,6

Zatížení větrem na plášť 1. části:

$$w = q_{p1}(z_1) * c_{pe} = 0,66 * c_{pe} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Tabulka 2 - Tlak větru v oblastech 1. části objektu

Oblast	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁
Tlak větru w [kN/m ²]	0,66	-0,33	-0,60	-0,46	-0,40

Převod plošného zatížení větrem na liniové zatížení krokví „Kr1“ až „Kr20“:

Oblast A₁:

Zatěžovací šířka krokví: $Z\check{S}_1 = 2,2$ m

$$w_{A1} = 0,66 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{krA1} = w_{A1} * Z\check{S}_1 = 0,66 * 2,2 = 1,45 \text{ kN/m}$$

Oblast B₁:

Zatěžovací šířka krokví: $Z\check{S}_1 = 2,2$ m

$$w_{B1} = -0,33 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{krB1} = w_{B1} * Z\check{S}_1 = -0,33 * 2,2 = -0,73 \text{ kN/m}$$

Oblast C₁:

Zatěžovací šířka krokví: $Z\check{S}_1 = 2,2$ m

$$w_{C1} = -0,60 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{krC1} = w_{A1} * Z\check{S}_1 = -0,6 * 2,2 = -1,31 \text{ kN/m}$$

Oblast D₁:

Zatěžovací šířka krokví: $Z\check{S}_1 = 2,2$ m

$$w_{D1} = -0,46 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{krD1} = w_{D1} * Z\check{S}_1 = -0,46 * 2,2 = -1,02 \text{ kN/m}$$

Oblast E₁:

Zatěžovací šířka krokví: $Z\check{S}_1 = 2,2$ m

$$w_{E1} = -0,40 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{krE1} = w_{E1} * Z\check{S}_1 = -0,40 * 2,2 = -0,88 \text{ kN/m}$$

Krokve v rozích střešní konstrukce 1.NP jsou současně zatíženy tlakem a sáním větru z oblastí A₁ a C₁.

Zatížení rohových krokví:

Zatěžovací šířka rohových krokví: $Z\check{S}_{IR} = 1,1$ m

Zatížení větrem v oblasti A₁:

$$w_{krA1R} = w_{A1} * Z\check{S}_{1R} = 0,66 * 1,1 = 0,73 \text{ kN/m}$$

Zatížení větrem v oblasti C₁:

$$w_{krC1R} = w_{C1} * Z\check{S}_{1R} = -0,6 * 1,1 = -0,66 \text{ kN/m}$$

2. ČÁST – obvodový plášť 2.NP

U druhé části, která je 2.NP zvonice, jsou svislé stěny a hodnoty součinitelů lze určit podle normy.

Rozměry oblastí 2. části:

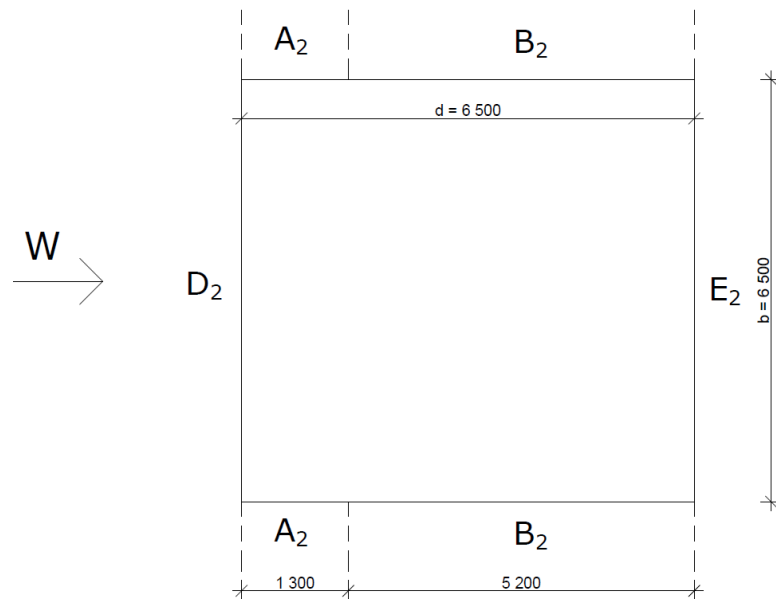
výška: $h = 4,5 \text{ m}$

šířka: $d = 6,5 \text{ m}$

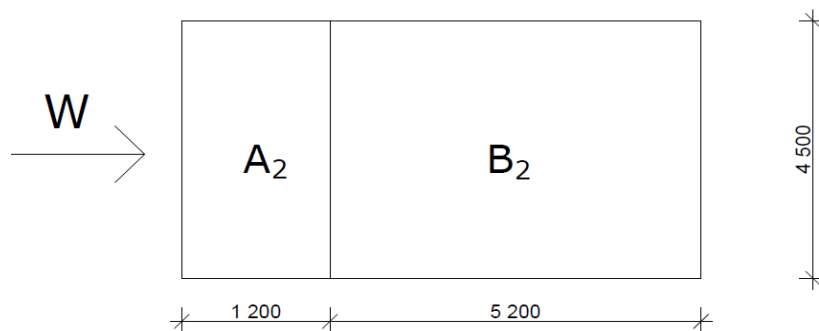
délka: $b = 6,5 \text{ m}$

rozměr e : $e = \min(b; 2h) = \min(6,5; 2*4,5) = (6,5; 9) = 6,5 \text{ m}$

poměr h/d : $h/d = 4,5/6,5 = 0,7$



Obrázek 65 - Půdorys 2. části



Obrázek 66 - Nárýs 2. Části

Tabulka 3 - Součinitel vnějšího tlaku c_{pe} pro 2. část objektu

Oblast	A ₂	B ₂	D ₂	E ₂
h/d				
1	-1,2	-0,8	+0,8	-0,5
0,7	-1,2	-0,8	+0,76	-0,42
≤0,25	-1,2	-0,8	+0,7	-0,3

Zatížení větrem na plášť 2. části

$$w = q_{p1}(z_1) * c_{pe} = 0,66 * c_{pe} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Tabulka 4 - Tlak větru v oblastech 2. části objektu

Oblast	A ₂	B ₂	D ₂	E ₂
Tlak větru w [kN/m ²]	-0,8	-0,53	+0,5	-0,28

Vzhledem ke složení pláště 2.NP, které je tvořeno svislými prvky přibitými k vodorovným prvkům 2.NP, lze převést plošné zatížení větru na liniové zatížení vodorovných trámů 2.NP – „V4“, „V5“, „Vy1“, „V6“, „V8“, „J1“, „V9“, „V10“, „Z1“, „V11“, „V12“ a „Se1“.

Zatěžovací šířka trámů „V4“, „V6“, „V9“ a „V11“: $Z\check{S}_{4,1} = 1,2$ m

Zatěžovací šířka trámů „V5“, „V8“, „V10“ a „V12“: $Z\check{S}_{4,2} = 1,4$ m

Zatěžovací šířka trámů „Vy1“, „J1“, „Z1“ a „Se1“: $Z\check{S}_{4,3} = 0,9$ m

Oblast A₂:

$$w_{A2} = -0,8 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení trámu „V4“ a „V9“:

$$w_{V4A} = w_{A2} * Z\check{S}_{4,1} = -0,8 * 1,2 = -0,96 \text{ kN/m}$$

Zatížení trámu „V5“ a „V10“:

$$w_{V5A} = w_{A2} * Z\check{S}_{4.2} = -0,8 * 1,4 = -1,12 \text{ kN/m}$$

Zatížení trámu „Vy1“ a „Z1“:

$$w_{Vy1A} = w_{A2} * Z\check{S}_{4.3} = -0,8 * 0,9 = -0,72 \text{ kN/m}$$

Oblast B₂:

$$w_{B2} = -0,53 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení trámů „V4“ a „V9“:

$$w_{V4B} = w_{B2} * Z\check{S}_{4.1} = -0,53 * 1,2 = -0,64 \text{ kN/m}$$

Zatížení trámů „V5“ a „V10“:

$$w_{V5B} = w_{B2} * Z\check{S}_{4.2} = -0,53 * 1,4 = -0,74 \text{ kN/m}$$

Zatížení trámů „Vy1“ a „Z1“:

$$w_{Vy1B} = w_{B2} * Z\check{S}_{4.3} = -0,53 * 0,9 = -0,48 \text{ kN/m}$$

Oblast D₂:

$$w_{D2} = +0,5 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení trámu „V11“:

$$w_{V4D} = w_{D2} * Z\check{S}_{4.1} = 0,5 * 1,2 = 0,6 \text{ kN/m}$$

Zatížení trámu „V12“:

$$w_{V5D} = w_{D2} * Z\check{S}_{4.2} = 0,5 * 1,4 = 0,7 \text{ kN/m}$$

Zatížení trámu „Se1“:

$$w_{Vy1D} = w_{D2} * Z\check{S}_{4.3} = 0,5 * 0,9 = 0,45 \text{ kN/m}$$

Oblast E₂:

$$w_{E2} = -0,28 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení trámu „V6“:

$$w_{V4E} = w_{E2} * Z\check{S}_{4.1} = -0,28 * 1,2 = -0,34 \text{ kN/m}$$

Zatížení trámu „V8“:

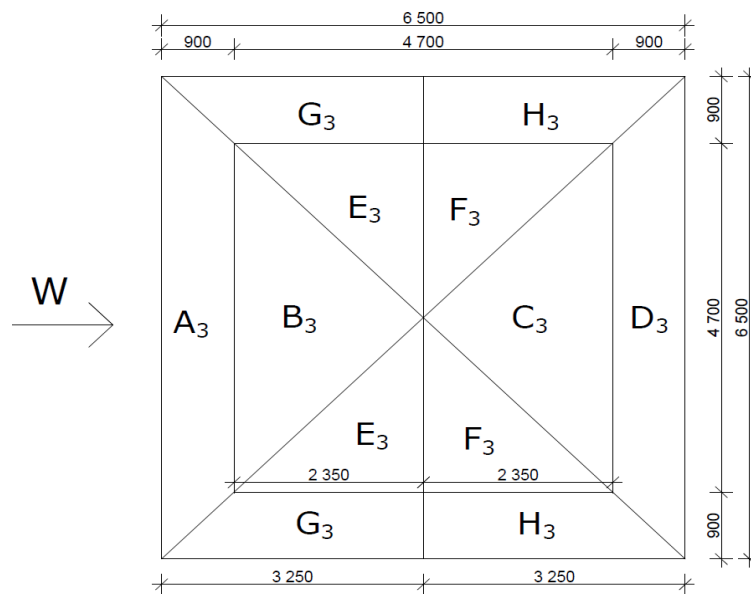
$$w_{V5E} = w_{E2} * Z\check{S}_{4.2} = -0,28 * 1,4 = -0,39 \text{ kN/m}$$

Zatížení trámu „J1“:

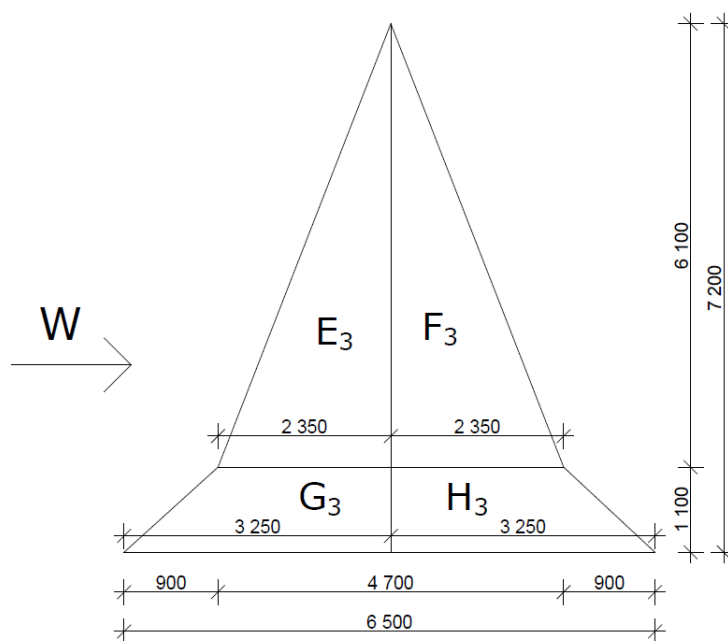
$$w_{Vy1E} = w_{E2} * Z\check{S}_{4.3} = -0,28 * 0,9 = 0,25 \text{ kN/m}$$

3. ČÁST – střešní plášť věže

U 3. části jsem pro určení součinitelů počítal s věží zvonice jako se sedlovou střechou, ale vzhledem k rozměrům a tvaru konstrukce jsem upravil velikost jednotlivých oblastí a součinitele v oblastech C₃, D₃, E₃, F₃, G₃ a H₃.



Obrázek 67 - Půdorys 3. části



Obrázek 68 - Narys 3. části

Tabulka 5 - Součinitel vnějšího tlaku c_{pe} pro 3. část objektu

Oblast	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃	E ₃	F ₃	G ₃	H ₃
c_{pe} [-]	+0,7	+0,8	-0,4	-0,3	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5

Zatížení větrem na plášť 3. části:

$$w = q_{p2}(z_2) * c_{pe} = 0,82 * c_{pe} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Tabulka 6 - Tlak větru v oblastech 2. části objektu

Oblast	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃	E ₃	F ₃	G ₃	H ₃
Tlak větru w [kN/m ²]	+0,57	+0,66	-0,33	-0,25	-0,57	-0,49	-0,49	-0,41

Převod plošného zatížení větrem na liniové zatížení námetků „N1“ až „N16“:

Oblast A₃:

Zatěžovací šířka námetků: $Z\check{S}_{2,2} = 2,0$ m

$$w_{A3} = 0,57 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{NA3} = w_{A3} * Z\check{S}_{2,2} = 0,57 * 2 = 1,14 \text{ kN/m}$$

Oblast D₃:

Zatěžovací šířka námetků: $Z\check{S}_{2,2} = 2,0$ m

$$w_{D3} = -0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{ND3} = w_{D3} * Z\check{S}_{2,2} = -0,25 * 2 = -0,50 \text{ kN/m}$$

Oblast G₃:

Zatěžovací šířka námetků: $Z\check{S}_{2,2} = 2,0$ m

$$w_{G3} = -0,49 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{NG3} = w_{G3} * Z\check{S}_{2,2} = -0,49 * 2 = -0,98 \text{ kN/m}$$

Oblast H₃:

Zatěžovací šířka námetků: $Z\check{S}_{2,2} = 2,0$ m

$$w_{H3} = -0,41 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{NH3} = w_{H3} * Z\check{S}_{2,2} = -0,41 * 2 = -0,82 \text{ kN/m}$$

Převod plošného zatížení větrem na liniové zatížení krokví „Kr21“ až „Kr32“:

Oblast B₃:

Zatěžovací šířka námetků: $Z\check{S}_{2,1} = 1,0$ m

$$w_{B3} = +0,66 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{krB3} = w_{B3} * Z\check{S}_{2,1} = 0,66 * 1 = 0,66 \text{ kN/m}$$

Oblast C₃:

Zatěžovací šířka námetků: $Z\check{S}_{2,1} = 1,0$ m

$$w_{C3} = -0,33 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{krC3} = w_{C3} * Z\check{S}_{2,1} = -0,33 * 1 = -0,33 \text{ kN/m}$$

Oblast E₃:

Zatěžovací šířka námetků: $Z\check{S}_{2,1} = 1,0 \text{ m}$

$$w_{E3} = -0,57 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{krE3} = w_{E3} * Z\check{S}_{2,1} = -0,57 * 1 = -0,57 \text{ kN/m}$$

Oblast F₃:

Zatěžovací šířka námetků: $Z\check{S}_{2,1} = 1,0 \text{ m}$

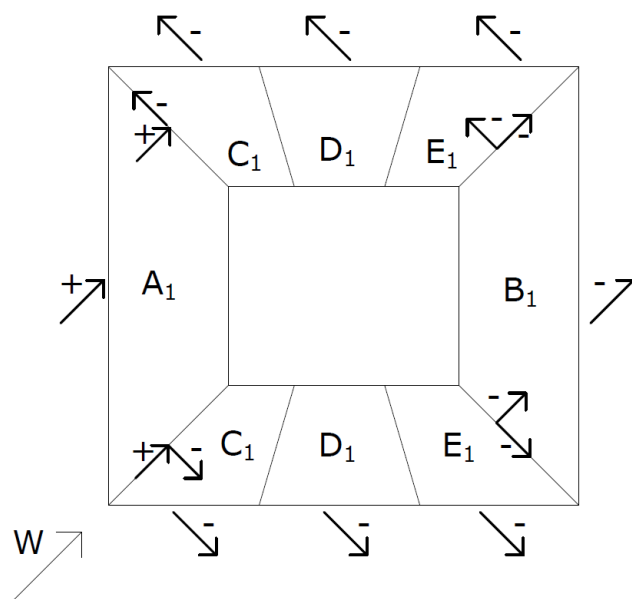
$$w_{F3} = -0,49 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{krF3} = w_{F3} * Z\check{S}_{2,1} = -0,49 * 1 = -0,49 \text{ kN/m}$$

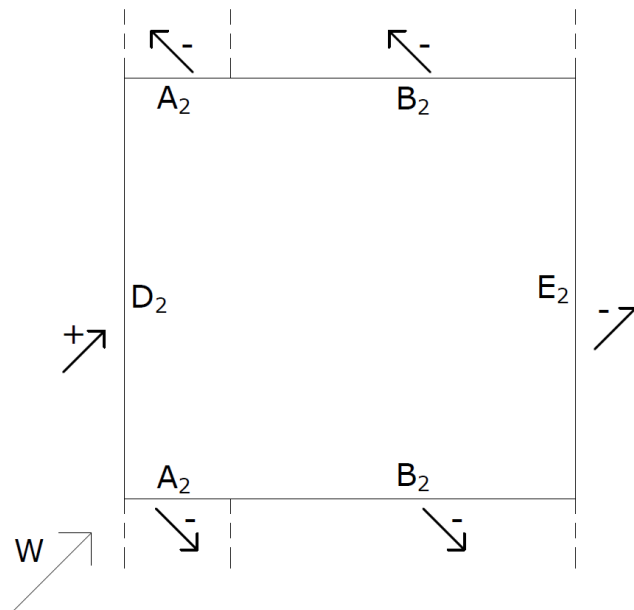
5.3.2 Vítr diagonální

Všechna zatížení od podélného větru se pootočí o 45°. Hodnoty zatížení zůstanou stejná, změní se pouze jejich znaménka, respektive to, jestli působí na prvek jako tlak nebo jako sání.

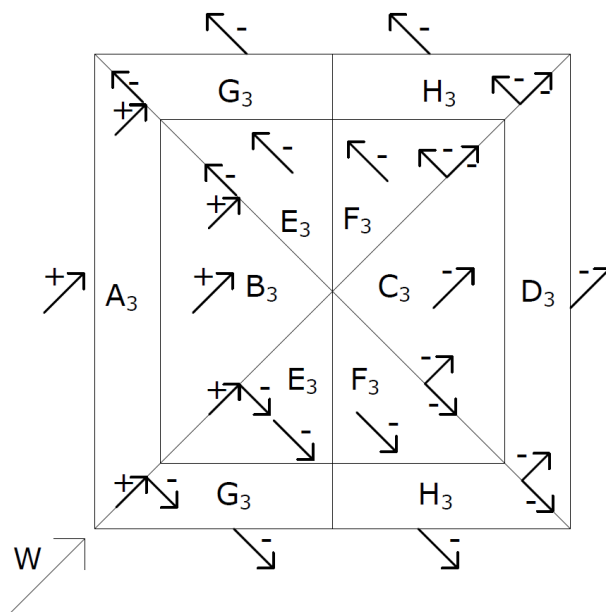
Na schématech je směr větru pro jednotlivé oblasti označen šipkou se znaménkem + (tlak) nebo - (sání).



Obrázek 69 - Působení větru na plášť 1.NP



Obrázek 70 - Působení větru na plášť 2.NP



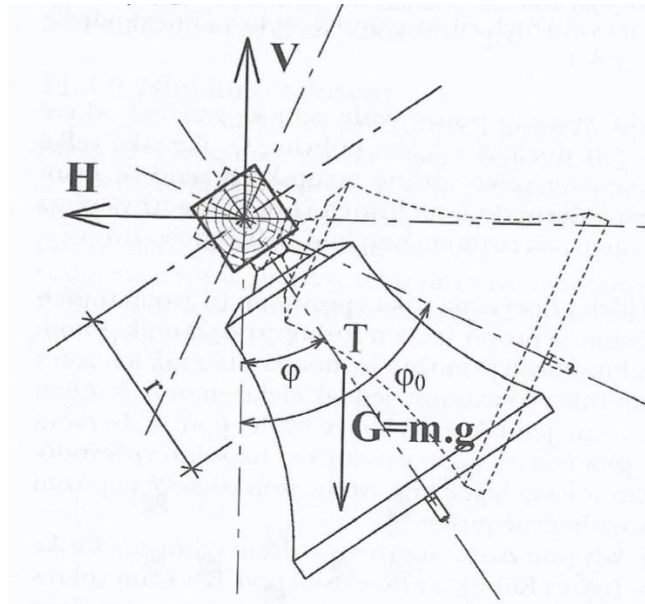
Obrázek 71 - Působení větru na věž

U rohových krokví, které jsou vystaveny pouze sání větru, jsem hodnotu určil jako průměr dvou hodnot sání vedlejších oblastí.

5.4 Zatížení od zvonu

Velikost zatěžovacích účinků při zvonění zvonu narůstá s jeho vlastní hmotností m [kg], se vzdáleností těžiště zvonu od osy otáčení r [m] a s velikostí úhlu jeho

maximálního rozkvyvu (výchylky) φ_0 [°]. Zatížení se projevuje svislými a vodorovnými silami V [N] a H [N] v závěsu zvonu, které se v průběhu zvonění mění v závislosti na velikosti úhlu okamžité výchylky zvonu φ [°]. Výše zmíněné parametry jsou zobrazeny na obrázku 72. [7]



Obrázek 72 – Schéma zatížení hlavy zvonu pohybem [7]

Hmotnost zvonu m [kg], vypočítaná v kapitole 3.8.2 *Hmotnost zvonu* je 317,8 kg.

Polohu těžiště zvonu (tedy vzdálenost r [m]) je potřeba odhadnout. U zvonů s nezalomeným závěsem je možné určit polohu těžiště asi ve vzdálenosti $(0,58 \div 0,64)$ průměru zvonu ($d = 0,81$ m) od jeho osy kývání, která prochází korunou zvonu. Vzdálenost těžiště od osy otáčení tedy je:

$$r = 0,6 * d = 0,6 * 0,81 = 0,49 \text{ m}$$

Hodnota maximální výchylky zvonu φ_0 [°] se určí podle tabulky 7, kde jsou tyto hodnoty tabelovány v závislosti na jeho hmotnosti. Pro hmotnost zvonu $m = 317,8$ kg jsem použil hodnotu maximální výchylky $\varphi_0 = 64$ °. [7]

Tabulka 7 - Tabulka závislosti hmotnosti zvonu na výkyvu [7]

Hmotnost zvonu m [kg]	Výkyv na jednu stranu φ_0 [°]
4 000	50
3 000	51
2 500	52
2 000	54
1 600	55
1 150	57
950	58
800	59
660	60
550	61
450	62
400	63
300	64
200	66
150	67
110	69
90	70
50	74

Svislá složka reakce v závěsu V [N] se vypočítá podle vztahu:

$$V = \frac{m * g}{1 + \kappa^2} * (\kappa^2 + 3\cos^2\varphi - 2\cos\varphi * \cos\varphi_0) \quad [N] \quad (5.1)$$

Vodorovná složka reakce v závěsu H [N] se vypočítá podle vztahu:

$$H = \frac{m * g}{1 + \kappa^2} * \left(2 \frac{\cos\varphi_0}{\cos\varphi} - 3 \right) * \cos\varphi * \sin\varphi_0 \quad [N] \quad (5.2)$$

Jednotlivé členy ve vztazích (5.1) a (5.2) značí:

- m [kg] – hmotnost zvonu;
- r [m] – vzdálenost těžiště zvonu od osy otáčení;
- φ_0 [°] – maximální výchylka (rozkyv) zvonu;
- φ [°] – okamžitá výchylka zvonu;
- T_0 [s] – doba kyvu zvonu
- g [m/s²] – tíhové zrychlení (9,81 m/s²)
- κ [–] – součinitel vyjadřující rozložení hmoty kolem těžiště zvonu

Pro součinitel κ [-] platí vztah:

$$\kappa = \sqrt{\left(\frac{T_0^2}{r} * \frac{g}{4\pi^2} - 1\right)} \quad [-]$$

U zvonů, jejichž doba kyvu T_0 [s] není známa, je možné volit jako bezpečnou hodnotu součinitele κ [-] velmi malé číslo, i nulu. Poté lze počítat dobu kyvu T_0 [s] následovně:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{r}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{0,49}{9,81}} = 1,4 \text{ s}$$

Nyní, když jsou známy všechny potřebné koeficienty, je možné dopočítat síly V [N] a H [N] podle vztahů (5.1) a (5.2).

Tabulka 8 - Výsledné hodnoty sil V a H při výchylce φ

φ [°]	0	8	16	24	32	40	48	56	64
V [kN]	6,62	6,46	6,01	5,31	4,41	3,39	2,36	1,40	0,60
H [kN]	0	0,91	1,72	2,36	2,75	2,85	2,62	2,07	1,23

Maximální hodnoty síly V [N] je dosaženo při $\varphi = 0^\circ$, tedy kdy zvon pouze visí a je v klidu, uvažují ho tedy jako stálé zatížení. Pokud je zvon v pohybu a je výchylka nenulová, potom je největší svislé síly při pohybu dosaženo při výchylce 8° a lze ji považovat za krátkodobé proměnné zatížení. Síla H [N] dosahuje svého maxima při výchylce $\varphi = 40^\circ$. Výchylkou $\varphi = 40^\circ$ projde zvon hned dvakrát při jednom kyvu (tam i zpět), takže maximální hodnota H [N] bude dosažena dvakrát, vždy ale bude směřovat na opačnou stranu.

6 Zatěžovací stavy a kombinace zatížení

6.1 Zatěžovací stavy

Tabulka 9 - Označení a popis zatěžovacích stavů

Označení	Popis	Poznámka
ZS1	Vlastní tíha	- Stálé, dlouhodobé - Automaticky generováno programem
ZS2	Ostatní stálé zatížení	- Stálé, dlouhodobé - Obvodový plášť a schodiště
ZS3	Užitné zatížení	Proměnné, střednědobé
ZS4	Sníh	Proměnné, střednědobé
ZS5	Vítr podélný	Proměnné, krátkodobé
ZS6	Vítr diagonální	Proměnné, krátkodobé
ZS7.1	Zatížení od zvonu	Proměnné, krátkodobé
ZS7.2	Zatížení od zvonu	Proměnné, krátkodobé
ZS8	Zatížení střechy při opravě	Proměnné, krátkodobé

Pro zatížení od zvonu jsem zvolil dva zatěžovací stavy – každý stav pro výchylku $\varphi = 40^\circ$, kterou projde zvon hned dvakrát při jednom kyvu.

6.2 Kombinace zatížení

Kombinace jsou volené podle základní kombinace zatížení (rovnice 6.10) uvedené v normě ČSN EN 1990.

Pro zatížení stálé v charakteristických hodnotách je pro určení návrhových hodnot použit součinitel spolehlivosti $\gamma_G = 1,35$.

Pro zatížení proměnné v charakteristických hodnotách je pro určení návrhových hodnot použit součinitel spolehlivosti $\gamma_Q = 1,5$.

Pokud je v kombinacích více proměnných zatížení, je vždy jedno bráno jako dominantní v plné hodnotě a ostatní jsou redukována kombinačním součinitelem ψ_0 .

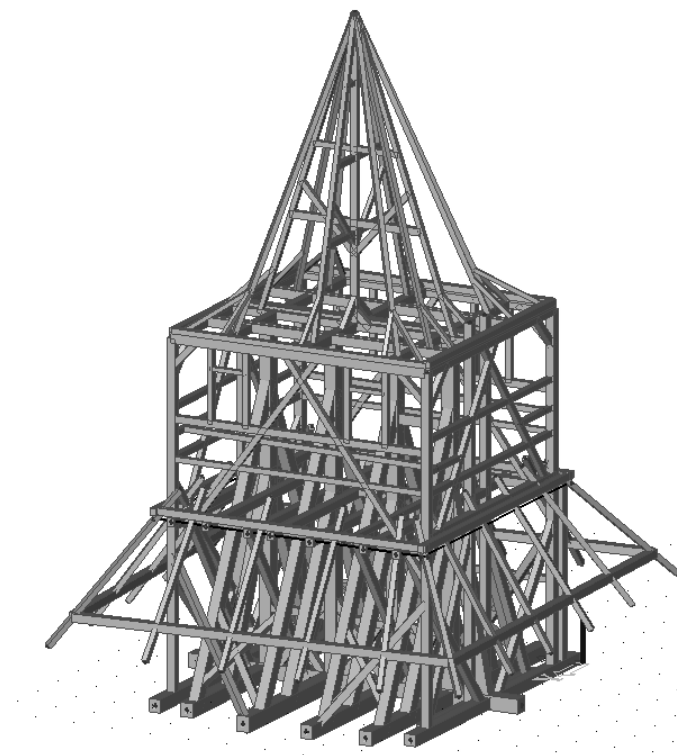
Kombinační součinitel ψ_0 :užitné zatížení: $\psi_0 = 0,7$ sníh: $\psi_0 = 0,5$ vítr: $\psi_0 = 0,6$

Tabulka 10 - Kombinace zatížení

Označení	Popis
C01	$1,0*(ZS1+ZS2)+1,5*ZS5$
C02	$1,0*(ZS1+ZS2)+1,5*ZS6$
C03	$1,35*(ZS1+ZS2)+1,5*ZS5$
C04	$1,35*(ZS1+ZS2)+1,5*ZS6$
C05	$1,35*(ZS1+ZS2)+1,5*ZS3$
C06	$1,35*(ZS1+ZS2)+1,5*ZS3+1,5*0,5*ZS4$
C07	$1,35*(ZS1+ZS2)+1,5*ZS3+1,5*0,5*ZS4+1,5*0,6*ZS5$
C08	$1,35*(ZS1+ZS2)+1,5*ZS3+1,5*0,5*ZS4+1,5*0,6*ZS6$
C09	$1,35*(ZS1+ZS2)+1,5*ZS3+1,5*0,6*ZS5$
C010	$1,35*(ZS1+ZS2)+1,5*ZS3+1,5*0,6*ZS6$
C011	$1,35*(ZS1+ZS2)+1,5*ZS5+1,5*0,5*ZS4$
C012	$1,35*(ZS1+ZS2)+1,5*ZS6+1,5*0,5*ZS4$
C013	$1,35*(ZS1+ZS2)+1,5*0,7*ZS3+1,5*(ZS7.1+ZS7.2)$
C014	$1,35*(ZS1+ZS2)+1,5*0,7*ZS3+1,5*(ZS7.1+ZS7.2)+1,5*0,6*ZS5$
C015	$1,35*(ZS1+ZS2)+1,5*0,7*ZS3+1,5*(ZS7.1+ZS7.2)+1,5*0,6*ZS6$
C016	$1,35*(ZS1+ZS2)+1,5*0,7*ZS3+1,5*(ZS7.1+ZS7.2)+1,5*0,5*ZS4$
C017	$1,35*(ZS1+ZS2)+1,5*ZS8$

7 Výpočetní model

Výpočetní model zvonice ve 3D jsem vytvořil v programu Scia Engineer. Díky výstupům z tohoto programu je možné určit průběh vnitřních sil na jednotlivých prvcích při daných kombinacích zatížení.



Obrázek 73 - 3D model zvonice

7.1 Rozdíl mezi modelem a skutečností

Vzhledem ke složitému určení druhu dřeva jednotlivých prvků konstrukce jsem pro pevnosti dřeva použil třídu C24, která odpovídá smrkovému dřevu. Třídu C24 jsem zvolil z důvodu konzervativního výpočtu a také proto, že se využívá jako běžné konstrukční řezivo.

I přes velký počet rozdílných průřezů prvků jsem se snažil dodržet skutečné rozměry, ale u některých skupin prvků (např. námětky nebo šikmé vzpěr „ZP“) jsem průřezy sjednotil na jeden rozměr.

Pro zjednodušení jsem zanedbal zděný přízemek 1.NP a roubenou stěnu, která je na něm uložena. Jako podporu krokví „Kr1“ až „Kr20“ v 1.NP jsem použil pouze

vrchní trám roubené stěny a nadefinoval u něj liniovou podporu. Dále jsem nahradil trám č. 1 kloubovými podporami v místě styku s trámy č. 3 až 8.

Podpory trámů č. 2 až 8 tvořené kamennými bloky jsem v modelu také neuvažoval, protože na většině míst nejsou v kontaktu s trámem a nedochází tedy k přenosu sil z trámu na podporu.

Jak bylo zmíněno v kapitole 2 Průzkum a dokumentace objektu, délky jednotlivých trámů jsou měřeny s určitou tolerancí. V modelu jsem se proto držel hodnot, které jsou uvedené v přílohách 1 a 2.

7.2 Posouzení vybraných prvků

Materiálové charakteristiky

Charakteristická pevnost v ohybu: $f_{m,k} = 24$ MPa

Charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny: $f_{c,0,k} = 21$ MPa

Charakteristická pevnost v tlaku kolmo na vlákna: $f_{c,90,k} = 2,5$ MPa

Charakteristická pevnost ve smyku: $f_{v,k} = 4$ MPa

Charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny: $f_{t,0,k} = 14$ MPa

5 % kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny: $E_{0,05} = 7\,400$ MPa

Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny: $E_{0,mean} = 11\,000$ MPa

Třída provozu: 2 – vlhkost materiálu odpovídá teplotě 20 °C a relativní vlhkosti okolního vzduchu přesahující 85 % pouze několik týdnů v roce

Dílčí součinitel vlastnosti materiálu: $\gamma_M = 1,3$ – pro rostlé dřevo

Modifikační součinitel: $k_{mod} = 0,9$ – pro krátkodobé zatížení

Návrhová pevnost:

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} * f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 * 24}{1,3} = 16,62 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 * 21}{1,3} = 14,54 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku kolmo na vlákna:

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 * 2,5}{1,3} = 1,73 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost ve smyku:

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} * f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 * 4}{1,3} = 2,77 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny:

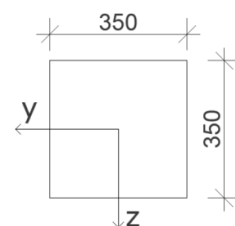
$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} * f_{t,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 * 14}{1,3} = 9,69 \text{ MPa}$$

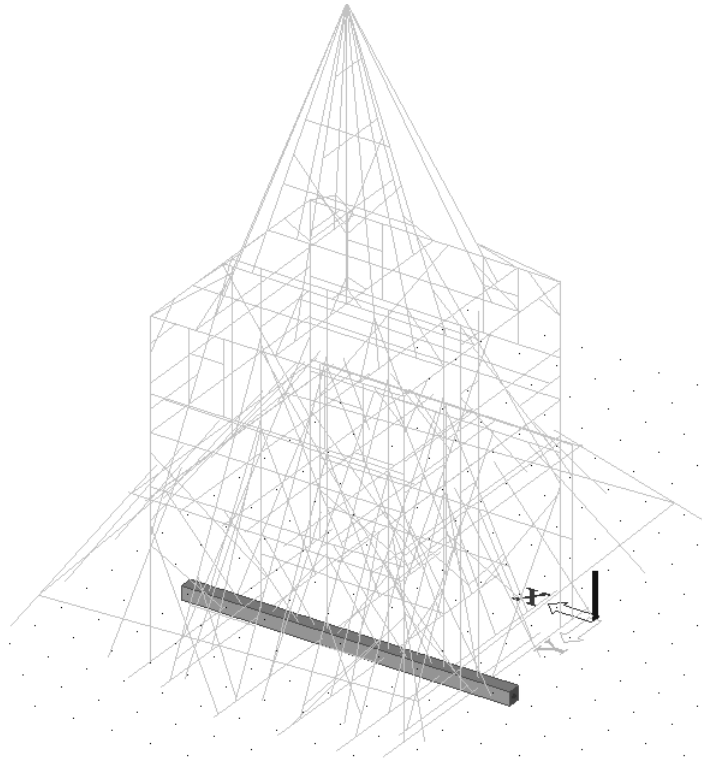
Pokud prvek nebo spoj nevyhoví a jeho využití nebude přesahovat více jak 110 %, rozhodl jsem se ho označit jako vyhovující. Toto opatření jsem navrhl, protože pro posouzení spolehlivosti konstrukce byla uvažována pevnost odpovídající současné běžné třídě řeziva C24, ale je třeba také zohlednit, že konstrukce odolává všem zatížením již dlouhou dobu a její spolehlivost je tím dostatečně prokázána. Tento přístup je také součástí normy na Hodnocení existujících konstrukcí [ČSN ISO 13822 (730038): Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí]. Pokud je využití posuzovaného prvku na základě vstupních dat z komplexního 3D modelu vyšší než 110 %, navrhuji určitá opatření (většinou vhodné zesílení přetíženého prvku), která sníží maximální namáhání na současnou běžně používanou mez.

7.2.1 Trám č. 2

Šířka: $b = 0,35 \text{ m}$

Výška: $h = 0,35 \text{ m}$





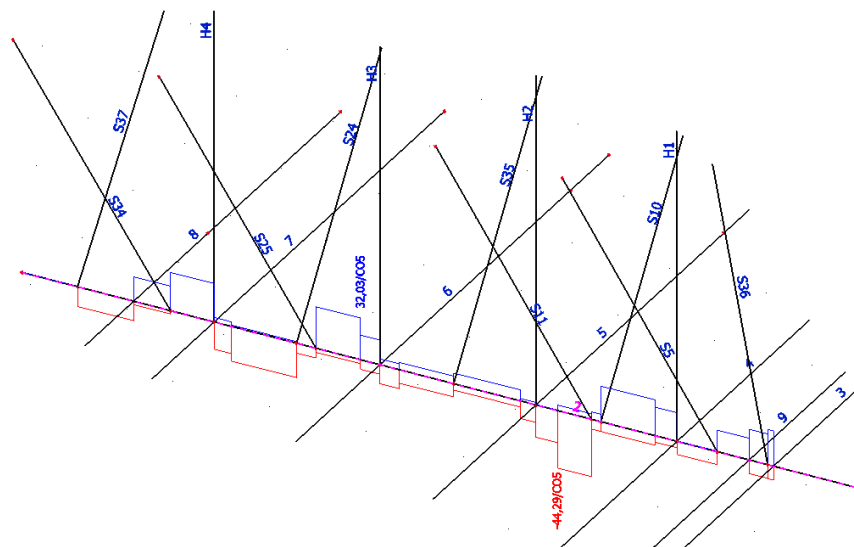
Obrázek 74 - Umístění trámu č. 2 v konstrukci zvonice

Modul průřezu:

$$W_y = W_z = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6} * 0,35 * 0,35^2 = 7,15 * 10^{-3} m^3$$

Posouzení ve smyku:

Vnitřní síly: $|V_z| = 44,29 \text{ kN}$



Obrázek 75 - Vnitřní síla V_z na trámu č. 2

Součinitel trhlin: $k_{cr} = 0,67$ – pro rostlé dřevo

Účinná šířka průřezu:

$$b_{ef} = k_{cr} * b = 0,67 * 0,35 = 0,235 \text{ m}$$

Efektivní plocha průřezu:

$$A_{ef} = b_{ef} * h = 0,235 * 0,35 = 0,0821 \text{ m}^2$$

Napětí ve smyku:

$$\tau_{v,d} = \frac{3V_z}{2A_{ef}} = \frac{3 * 44,29}{2 * 0,0821} = 809 \text{ kPa} \cong 0,81 \text{ MPa}$$

Posouzení:

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

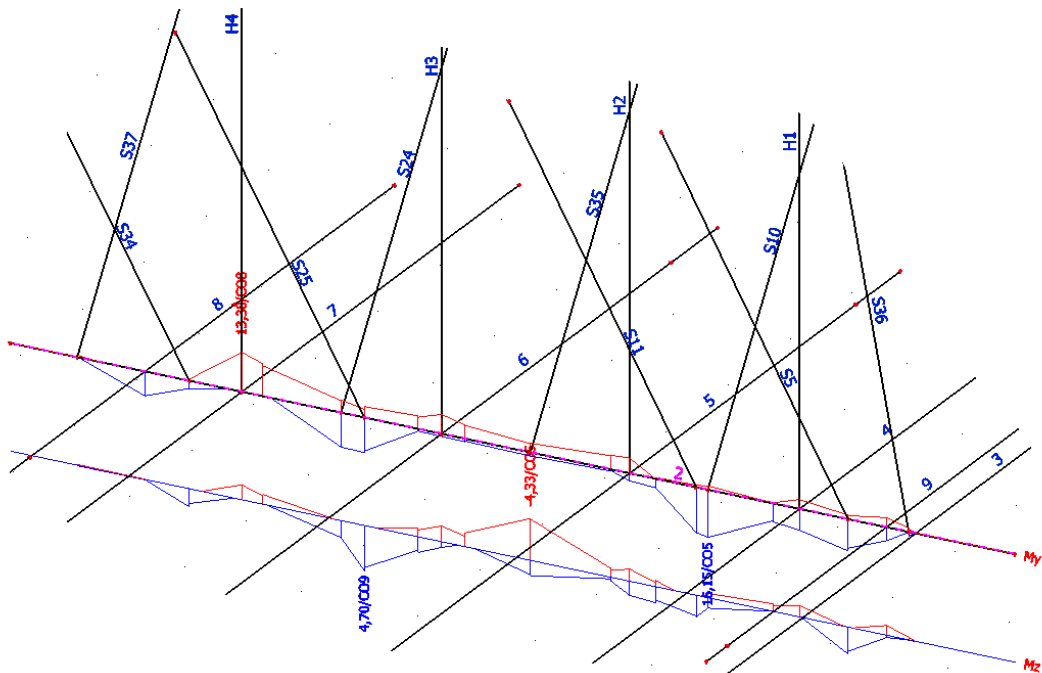
$$0,81 \text{ MPa} \leq 2,77 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Posouzení ve dvojosém ohybu

Vnitřní síly: $M_y = 16,15 \text{ kNm}$

$M_z = 4,70 \text{ kNm}$



Obrázek 76 - Vnitřní síly M_y a M_z na trámu č. 2

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{16,15}{7,15 * 10^{-3}} = 2261 \text{ kPa} \cong 2,26 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{4,70}{7,15 * 10^{-3}} = 657 \text{ kPa} \cong 0,66 \text{ MPa}$$

Posouzení:

Součinitel zohledňující redistribuci napětí: $k_m = 0,7$ – pro pravouhlé průřezy

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

$$\frac{2,26}{16,62} + 0,7 \frac{0,66}{16,62} \leq 1$$

$$0,16 \leq 1$$

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

$$0,7 \frac{2,26}{16,62} + \frac{0,66}{16,62} \leq 1$$

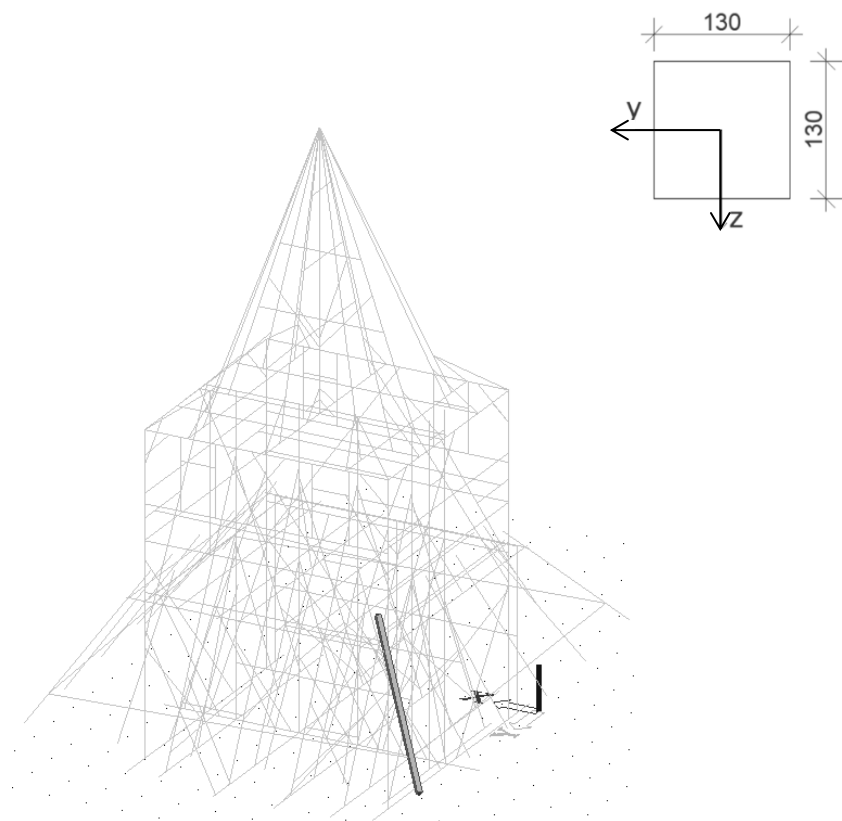
$$0,13 \leq 1$$

VYHOVUJE

7.2.2 Krokve „Kr1“

Šířka: $b = 0,13 \text{ m}$

Výška: $h = 0,13 \text{ m}$



Obrázek 77 - Umístění krokve „Kr1“ v konstrukci zvonice

Plocha průřezu:

$$A = b * h = 0,13 * 0,13 = 0,0169 \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti:

$$I = I_y = I_z = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 0,13 * 0,13^3 = 2,38 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

Modul průřezu:

$$W = W_y = W_z = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 0,13 * 0,13^2 = 3,66 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

Poloměr setrvačnosti:

$$i = i_y = i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{2,38 * 10^{-5}}{0,0169}} = 0,038 \text{ m}$$

Délka prutu: $L = 4,5 \text{ m}$

Efektivní délka prutu: $L_{cr} = 3,15 \text{ m}$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3,15}{0,038} = 83,9$$

Relativní štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{83,9}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,42$$

$\lambda_{rel} > 0,3$ – při posouzení je nutné počítat s účinkem vzpěru

Součinitel vzpěrnosti:

$$k = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2) = 0,5(1 + 0,2(1,42 - 0,3) + 1,42^2) = 1,63$$

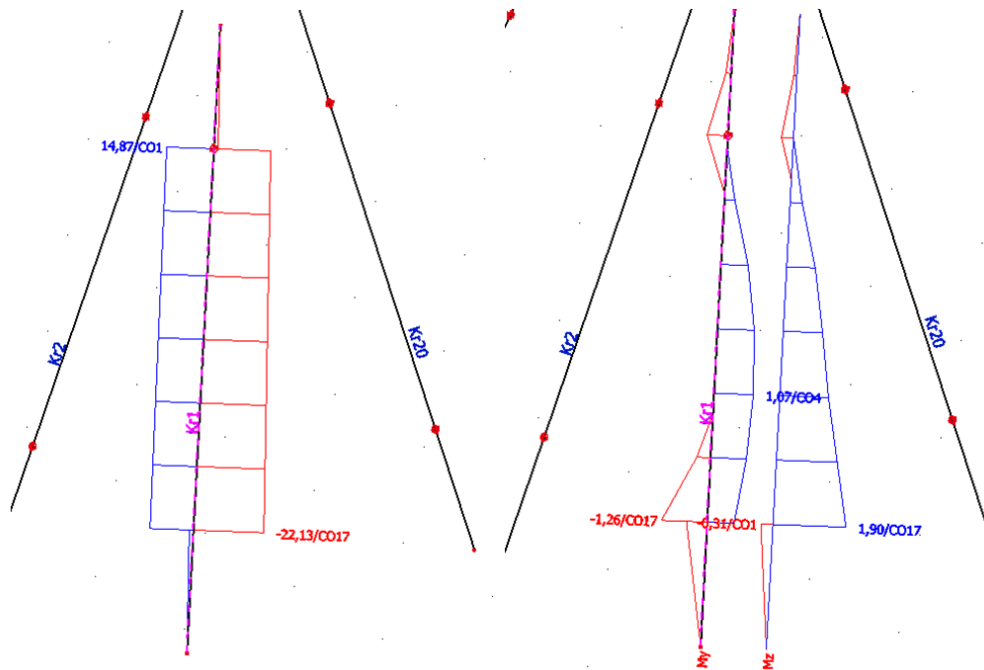
$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,63 + \sqrt{1,63^2 - 1,42^2}} = 0,41$$

Posouzení kombinace ohybu a tlaku

Vnitřní síly: $N = 22,13 \text{ kN}$

$M_y = 1,26 \text{ kNm}$

$M_z = 1,90 \text{ kNm}$



Obrázek 78 - Vnitřní síly N (vlevo) a M_y a M_z (vpravo) na krokvi „Kr1“

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{1,26}{3,66 * 10^{-4}} = 3\,441 \text{ kPa} \cong 3,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{1,90}{3,66 * 10^{-4}} = 5\,188 \text{ kPa} \cong 5,19 \text{ MPa}$$

Napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N^-}{A} = \frac{22,13}{0,0169} = 1\,309 \text{ kPa} \cong 1,31 \text{ MPa}$$

Posouzení:

Součinitel zohledňující redistribuci napětí: $k_m = 0,7$ – pro pravoúhlé průřezy

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

$$\frac{1,31}{0,41 * 14,54} + \frac{3,44}{16,62} + 0,7 \frac{5,19}{16,62} \leq 1$$

$$0,64 \leq 1$$

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

$$\frac{1,31}{0,41 * 14,54} + 0,7 \frac{3,44}{16,62} + \frac{5,19}{16,62} \leq 1$$

$$0,67 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení kombinace ohybu a tahu

Vnitřní síly: $N^+ = 14,87$ kN

$M_y = 1,26$ kNm

$M_z = 1,90$ kNm

Napětí v tahu:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N^+}{A} = \frac{14,87}{0,0169} = 879 \text{ kPa} \cong 0,88 \text{ MPa}$$

Posouzení:

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

$$\frac{0,88}{9,69} + \frac{3,44}{16,62} + 0,7 \frac{5,19}{16,62} \leq 1$$

$$0,52 \leq 1$$

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

$$\frac{0,88}{9,69} + 0,7 \frac{3,44}{16,62} + \frac{5,19}{16,62} \leq 1$$

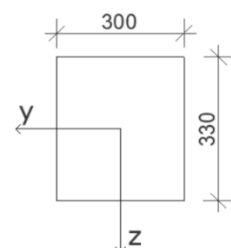
$$0,55 \leq 1$$

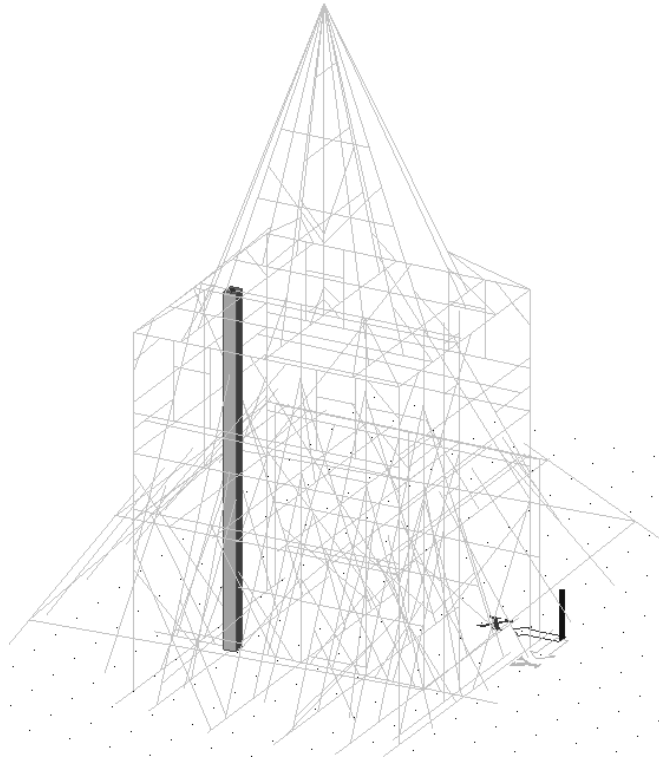
VYHOVUJE

7.2.3 Sloup „H4“

Šířka: $b = 0,30$ m

Výška: $h = 0,33$ m





Obrázek 79 - Umístění sloupu „H4“ v konstrukci zvonice

Plocha průřezu:

$$A = b * h = 0,30 * 0,33 = 0,099 \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti:

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 0,30 * 0,33^3 = 8,98 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} b^3 h = \frac{1}{12} * 0,30^3 * 0,33 = 7,43 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

Modul průřezu:

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 0,30 * 0,33^2 = 5,45 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} b^2 h = \frac{1}{6} * 0,30^2 * 0,33 = 4,95 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Poloměr setrvačnosti:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{8,98 * 10^{-4}}{0,0169}} = 0,095 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{7,43 * 10^{-4}}{0,0169}} = 0,087 \text{ m}$$

Pro posouzení je rozhodující menší hodnota poloměru setrvačnosti. Dále je tedy počítáno s $i_z = 0,087$ m.

Délka prutu: $L = 8,6$ m

Efektivní délka prutu: $L_{cr} = 8,6$ m

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} = \frac{8,6}{0,087} = 99,3$$

Relativní štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{99,3}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,68$$

$\lambda_{rel,z} > 0,3$ – při posouzení je nutné počítat s účinkem vzpěru

Součinitel vzpěrnosti:

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,5(1 + 0,2(1,68 - 0,3) + 1,68^2) = 2,06$$

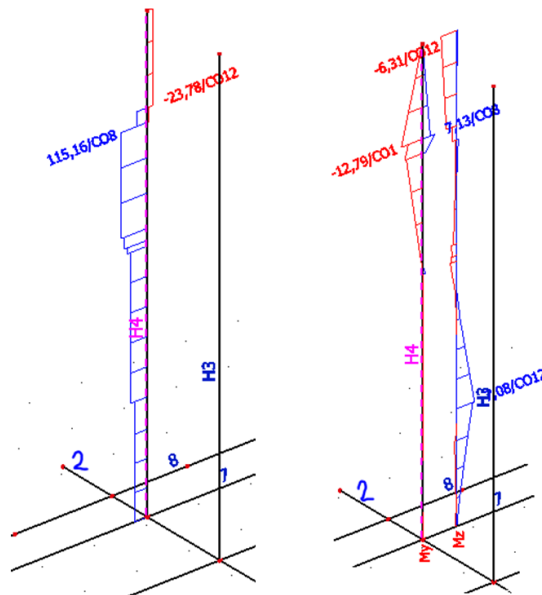
$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{2,06 + \sqrt{2,06^2 - 1,68^2}} = 0,31$$

Posouzení kombinace ohybu a tlaku

Vnitřní síly: $N = 23,78$ kN

$|M_y| = 12,79$ kNm

$|M_z| = 7,08$ kNm



Obrázek 80 - Vnitřní síly N (vlevo) a M_y a M_z (vpravo) na sloupu „H4“

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{12,79}{5,45 * 10^{-3}} = 2\,348 \text{ kPa} \cong 2,35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{7,08}{4,95 * 10^{-3}} = 1\,431 \text{ kPa} \cong 1,43 \text{ MPa}$$

Napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N^-}{A} = \frac{23,78}{0,099} = 241 \text{ kPa} \cong 0,24 \text{ MPa}$$

Posouzení:

Součinitel zohledňující redistribuci napětí: $k_m = 0,7$ – pro pravoúhlé průřezy

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$
$$\frac{0,24}{0,31 * 14,54} + \frac{2,35}{16,62} + 0,7 \frac{1,43}{16,62} \leq 1$$
$$\mathbf{0,26 \leq 1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$
$$\frac{0,24}{0,31 * 14,54} + 0,7 \frac{2,35}{16,62} + \frac{1,43}{16,62} \leq 1$$
$$\mathbf{0,24 \leq 1}$$

VYHOVUJE

Posouzení kombinace ohybu a tahu

Vnitřní síly: $N^+ = 115,16 \text{ kN}$
 $|M_y| = 12,79 \text{ kNm}$
 $|M_z| = 7,08 \text{ kNm}$

Napětí v tahu:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N^+}{A} = \frac{115,16}{0,099} = 1\,161 \text{ kPa} \cong 1,16 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$
$$\frac{1,16}{9,69} + \frac{2,35}{16,62} + 0,7 \frac{1,43}{16,62} \leq 1$$
$$\mathbf{0,32 \leq 1}$$

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

$$\frac{1,16}{9,69} + 0,7 \frac{2,35}{16,62} + \frac{1,43}{16,62} \leq 1$$

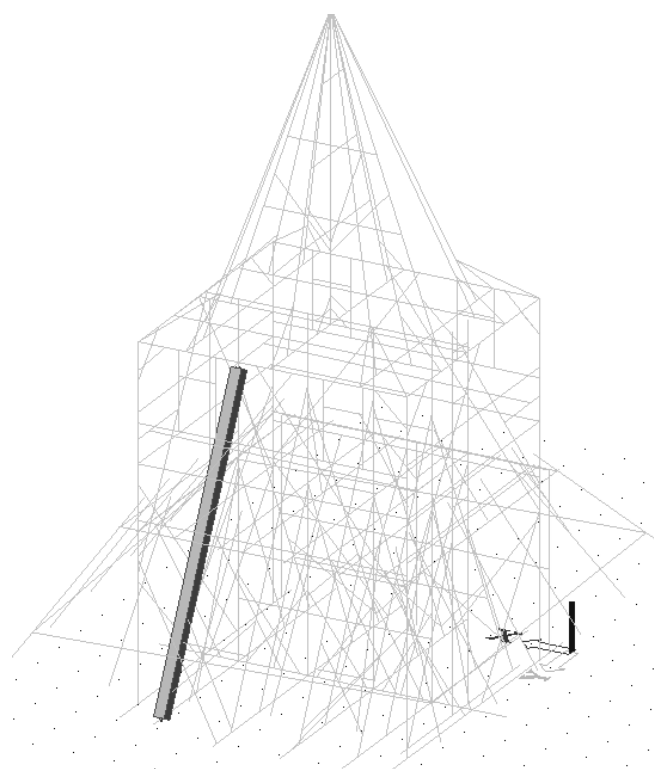
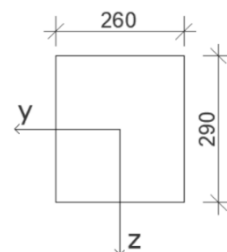
$$0,31 \leq 1$$

VYHOVUJE

7.2.4 Vzpěra „S29“

Šířka: $b = 0,26$ m

Výška: $h = 0,29$ m



Obrázek 81 - Umístění vzpěry „S29“ v konstrukci zvonice

Plocha průřezu:

$$A = b * h = 0,26 * 0,29 = 0,0754 \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti:

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 0,26 * 0,29^3 = 5,28 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} b^3 h = \frac{1}{12} * 0,26^3 * 0,29 = 4,25 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

Modul průřezu:

$$W_y = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6} * 0,26 * 0,29^2 = 3,64 * 10^{-3} m^3$$

$$W_z = \frac{1}{6}b^2h = \frac{1}{6} * 0,26^2 * 0,29 = 3,27 * 10^{-3} m^3$$

Poloměr setrvačnosti:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{5,28 * 10^{-4}}{0,0754}} = 0,084 m$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{4,25 * 10^{-4}}{0,0754}} = 0,075 m$$

Pro posouzení je rozhodující menší hodnota poloměru setrvačnosti. Dále je tedy počítáno s $i_z = 0,075 m$.

Délka prutu: $L = 7,8 m$

Efektivní délka prutu: $L_{cr} = 7,8 m$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} = \frac{7,8}{0,075} = 104,3$$

Relativní štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{104,3}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,77$$

$\lambda_{rel,z} > 0,3$ – při posouzení je nutné počítat s účinkem vzpěru

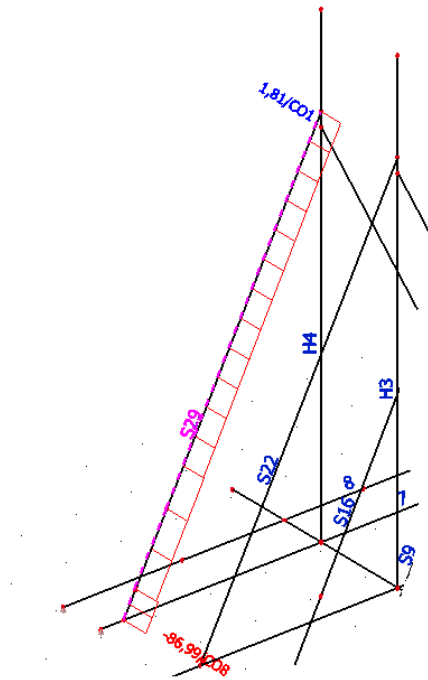
Součinitel vzpěrnosti:

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,5(1 + 0,2(1,77 - 0,3) + 1,77^2) = 2,21$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{2,21 + \sqrt{2,21^2 - 1,77^2}} = 0,28$$

Posouzení v tlaku s účinkem vzpěru

Vnitřní síly: $N = 86,99 kN$



Obrázek 82 - Vnitřní síly N vzpěře „S29“

Napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N^-}{A} = \frac{86,99}{0,0754} = 1\,153 \text{ kPa} \cong 1,15 \text{ MPa}$$

Posouzení:

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

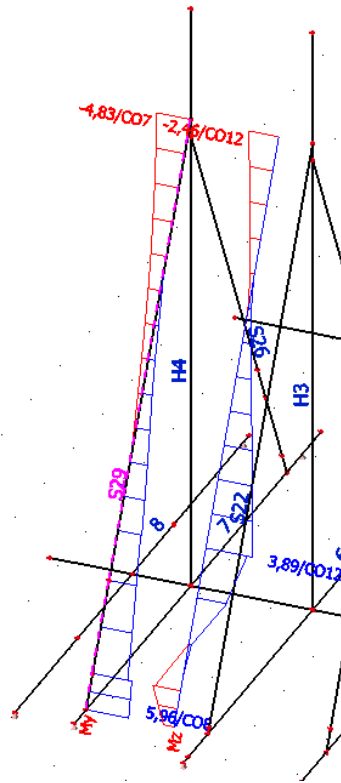
$$\frac{1,15}{0,28 * 14,54} \leq 1$$

$$0,28 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení kombinace ohybu a tlaku

Vnitřní síly: $N^- = 86,99 \text{ kN}$
 $M_y = 5,96 \text{ kNm}$
 $M_z = 3,89 \text{ kNm}$



Obrázek 83 - Vnitřní síly M_y a M_z na vzpěře „S29“

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{5,96}{3,64 * 10^{-3}} = 1\,642 \text{ kPa} \cong 1,64 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{3,89}{3,27 * 10^{-3}} = 1\,193 \text{ kPa} \cong 1,19 \text{ MPa}$$

Posouzení:

Součinitel zohledňující redistribuci napětí: $k_m = 0,7$ – pro pravouhlé průřezy

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

$$\frac{1,15}{0,28 * 14,54} + \frac{1,64}{16,62} + 0,7 \frac{1,19}{16,62} \leq 1$$

$$0,43 \leq 1$$

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

$$\frac{1,15}{0,28 * 14,54} + 0,7 \frac{1,64}{16,62} + \frac{1,19}{16,62} \leq 1$$

$$0,42 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení kombinace ohybu a tahu

Vnitřní síly: $N^+ = 1,81 \text{ kN}$
 $M_y = 5,96 \text{ kNm}$
 $M_z = 3,89 \text{ kNm}$

Napětí v tahu:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N^+}{A} = \frac{1,81}{0,099} = 0,02 \text{ MPa}$$

Posouzení:

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

$$\frac{0,02}{9,69} + \frac{1,64}{16,62} + 0,7 \frac{1,19}{16,62} \leq 1$$

$$0,15 \leq 1$$

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

$$\frac{0,02}{9,69} + 0,7 \frac{1,64}{16,62} + \frac{1,19}{16,62} \leq 1$$

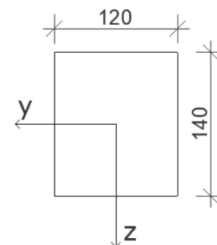
$$0,14 \leq 1$$

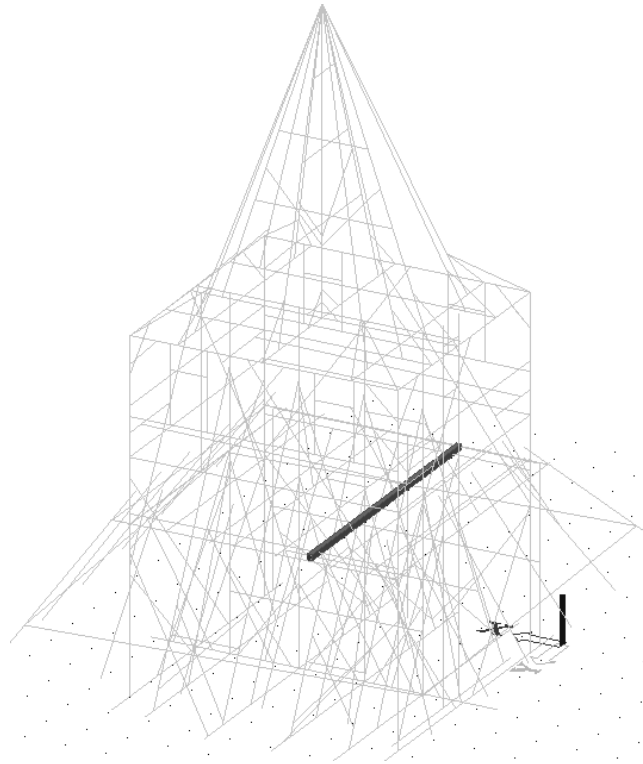
VYHOVUJE

7.2.5 Trám „TR3“

Šířka: $b = 0,12 \text{ m}$

Výška: $h = 0,14 \text{ m}$





Obrázek 84 - Umístění trámu „TR3“ v konstrukci zvonice

Plocha průřezu:

$$A = b * h = 0,12 * 0,14 = 0,0168 \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti:

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 0,12 * 0,14^3 = 2,74 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} b^3 h = \frac{1}{12} * 0,12^3 * 0,14 = 2,02 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

Modul průřezu:

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 0,12 * 0,14^2 = 3,92 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} b^2 h = \frac{1}{6} * 0,12^2 * 0,14 = 3,36 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

Poloměr setrvačnosti:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2,74 * 10^{-5}}{0,0168}} = 0,040 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{2,02 \cdot 10^{-5}}{0,0168}} = 0,035 \text{ m}$$

Pro posouzení je rozhodující menší hodnota poloměru setrvačnosti. Dále je tedy počítáno s $i_z = 0,035 \text{ m}$.

Délka prutu: $L = 7,2 \text{ m}$

Efektivní délka prutu: $L_{cr} = 6,2 \text{ m}$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} = \frac{6,2}{0,035} = 179,0$$

Relativní štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{179,0}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 3,03$$

$\lambda_{rel,z} > 0,3$ – při posouzení je nutné počítat s účinkem vzpěru

Součinitel vzpěrnosti:

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,5(1 + 0,2(3,03 - 0,3) + 3,03^2) = 5,38$$

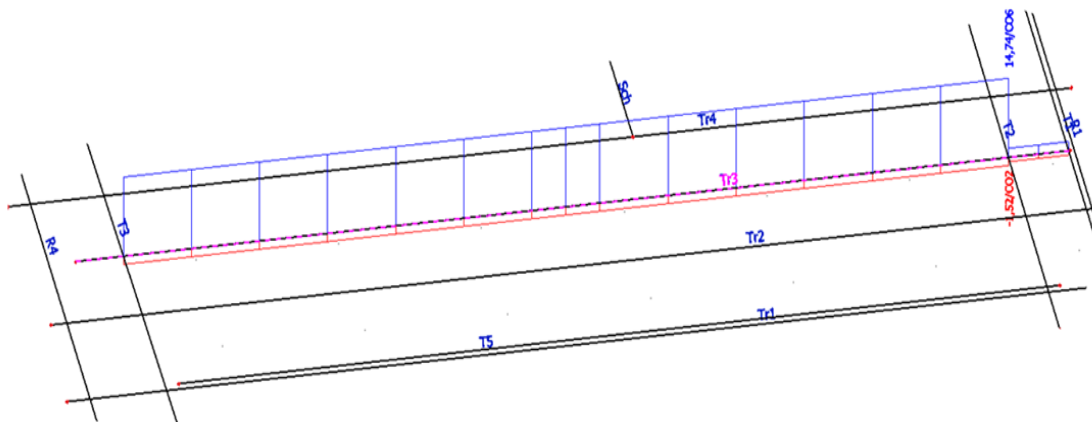
$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{5,38 + \sqrt{5,38^2 - 3,03^2}} = 0,10$$

Posouzení kombinace ohybu a tlaku

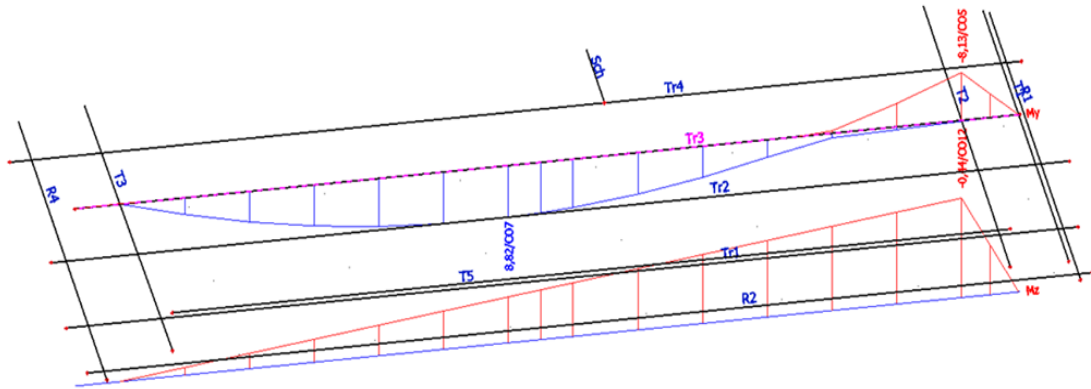
Vnitřní síly: $N = 1,52 \text{ kN}$

$M_y = 8,82 \text{ kNm}$

$M_z = 0,44 \text{ kNm}$



Obrázek 85 - Vnitřní síla N na trámu „TR3“



Obrázek 86 - vnitřní síly M_y a M_z na trámu „TR3“

Napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N^-}{A} = \frac{1,52}{0,0168} = 90,4 \text{ kPa} \cong 0,09 \text{ MPa}$$

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{8,82}{3,92 \cdot 10^{-4}} = 22\,504 \text{ kPa} \cong 22,50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{0,44}{3,36 \cdot 10^{-4}} = 1\,309 \text{ kPa} \cong 1,31 \text{ MPa}$$

Posouzení:

Součinitel zohledňující redistribuci napětí: $k_m = 0,7$ – pro pravoúhlé průřezy

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

$$\frac{0,09}{0,10 \cdot 14,54} + \frac{22,5}{16,62} + 0,7 \frac{1,31}{16,62} \leq 1$$

$$1,47 \leq 1$$

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

$$\frac{0,09}{0,10 \cdot 14,54} + 0,7 \frac{22,5}{16,62} + \frac{1,31}{16,62} \leq 1$$

$$1,09 \leq 1$$

NEVYHOVUJE

Posouzení kombinace ohybu a tahu

Vnitřní síly: $N^+ = 14,74 \text{ kN}$
 $M_y = 8,82 \text{ kNm}$
 $M_z = 0,44 \text{ kNm}$

Napětí v tahu:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N^+}{A} = \frac{14,74}{0,0168} = 882 \text{ kPa} \cong 0,88 \text{ MPa}$$

Posouzení:

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

$$\frac{0,88}{9,69} + \frac{22,5}{16,62} + 0,7 \frac{1,31}{16,62} \leq 1$$

$$1,50 \leq 1$$

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

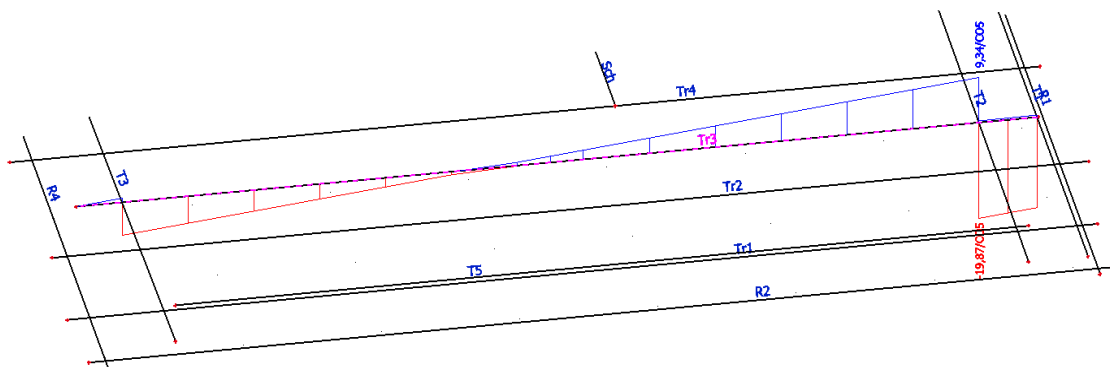
$$\frac{0,88}{9,69} + 0,7 \frac{22,5}{16,62} + \frac{1,31}{16,62} \leq 1$$

$$1,12 \leq 1$$

NEVYHOVUJE

Posouzení ve smyku:

Vnitřní síly: $|V_z| = 19,87 \text{ kN}$



Obrázek 87 - Vnitřní síly V_z na trámu „TR3“

Součinitel trhlin: $k_{cr} = 0,67$ – pro rostlé dřevo

Účinná šířka průřezu:

$$b_{ef} = k_{cr} * b = 0,67 * 0,12 = 0,081 \text{ m}$$

Efektivní plocha průřezu:

$$A_{ef} = b_{ef} * h = 0,081 * 0,14 = 0,0113 \text{ m}^2$$

Napětí ve smyku:

$$\tau_{v,d} = \frac{3V_z}{2A_{ef}} = \frac{3 * 19,87}{2 * 0,0113} = 2\,649 \text{ kPa} \cong 2,65 \text{ MPa}$$

Posouzení:

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

$$2,65 \text{ MPa} \leq 2,77 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Posouzení průhybu:

Délka prutu mezi podporami: $L = 6,2 \text{ m} = 6\,200 \text{ mm}$

Stálé zatížení: $f_G = 0,20 \text{ kN/m}^2$

Užitné zatížení: $f_Q = 1,50 \text{ kN/m}^2$

Okamžitý průhyb:

$$w_{inst,G} = \frac{5}{384} \frac{f_G * L^4}{E_{0,mean} * I_y} = \frac{5}{384} * \frac{0,20 * 6,2^4}{11\,000\,000 * 2,74 * 10^{-5}} = 0,012 \text{ m} = 12 \text{ mm}$$

$$w_{inst,Q} = \frac{5}{384} \frac{f_Q * L^4}{E_{0,mean} * I_y} = \frac{5}{384} * \frac{1,50 * 6,2^4}{11\,000\,000 * 2,74 * 10^{-5}} = 0,096 \text{ m} = 96 \text{ mm}$$

Součinitel, který zohledňuje zvětšené deformace v čase: $k_{def} = 0$ – zvoleno pro třídu vlhkosti 2 a krátkodobé zatížení s ohledem na funkci objektu. Z toho tedy vyplývá, že konečný průhyb bude stejný jako okamžitý průhyb.

Konečný průhyb:

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} (1 + k_{def}) = w_{inst,G} = 12 \text{ mm}$$

$$w_{inst,Q} = w_{inst,Q} (1 + \psi * k_{def}) = w_{inst,Q} = 96 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q} = 12 + 96 = 108 \text{ mm}$$

Limitní konečný průhyb:

$$w_{fin,lim} = \frac{L}{150} = \frac{6,2}{150} = 0,041 \text{ m} = 41 \text{ mm}$$

Posouzení:

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

$$108 \text{ mm} \leq 41 \text{ mm}$$

NEVYHOVUJE

Současný průřez trámu „TR3“ nevyhovuje. Navrhuji proto zesílení trámu pomocí dřevěných příložek.

Návrh příložek

Šířka: $b = 0,09$ m

Výška: $h = 0,10$ m

Plocha průřezu jedné příložky:

$$A = b * h = 0,09 * 0,10 = 0,009 \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti jedné příložky:

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 0,09 * 0,10^3 = 7,50 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} b^3 h = \frac{1}{12} * 0,09^3 * 0,10 = 6,08 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

Zatížení se mezi trám a příložky rozdělí v poměru ohybových tuhostí následovně:

$$I_{y,\text{trám}} = 2,74 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_{y,\text{příložka}} = 7,50 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$E_{0,\text{mean}} = 11\,000 \text{ MPa}$$

Vnitřní síla	Nejnepříznivější kombinace	Zatěžovací stav	Max síla	Síla působící na trám	Síla působící na příložky
Vz	C05	ZS1	0,31	0,31	0,00
		ZS2	2,12	1,37	0,75
		ZS3	17,45	11,28	6,17
		suma		12,96	6,91
My	C07	ZS1	0,31	0,31	0,00
		ZS2	0,88	0,57	0,31
		ZS3	7,38	4,77	2,61
		ZS4	0,01	0,00	0,00
		ZS5	0,24	0,16	0,09
		suma		5,81	3,01
Mz	C012	ZS1	0,00	0,00	0,00
		ZS2	0,00	0,00	0,00
		ZS4	0,00	0,00	0,00
		ZS6	0,44	0,28	0,16
		suma		0,28	0,16

Uvažuji, že normálová síla bude působit pouze na trám „TR3“.

Modul průřezu jedné příložky:

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 0,09 * 0,10^2 = 1,50 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} b^2 h = \frac{1}{6} * 0,09^2 * 0,10 = 1,35 * 10^{-4} m^3$$

Posouzení ve dvousém ohybu

Vnitřní síly působící na jednu příložku: $M_y = 1,51 \text{ kNm}$

$$M_z = 0,08 \text{ kNm}$$

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{1,51}{1,50 * 10^{-4}} = 10\,023 \text{ kPa} \cong 10,02 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{0,08}{1,35 * 10^{-4}} = 569 \text{ kPa} \cong 0,57 \text{ MPa}$$

Posouzení:

Součinitel zohledňující redistribuci napětí: $k_m = 0,7$ – pro pravouhlé průřezy

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

$$\frac{10,02}{16,62} + 0,7 \frac{0,57}{16,62} \leq 1$$

$$0,63 \leq 1$$

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

$$0,7 \frac{10,02}{16,62} + \frac{0,57}{16,62} \leq 1$$

$$0,46 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení ve smyku:

Vnitřní síly působící na jednu příložku: $V_z = 3,46 \text{ kN}$

Součinitel trhlin: $k_{cr} = 0,67$ – pro rostlé dřevo

Účinná šířka průřezu:

$$b_{ef} = k_{cr} * b = 0,67 * 0,09 = 0,06 \text{ m}$$

Efektivní plocha průřezu:

$$A_{ef} = b_{ef} * h = 0,06 * 0,35 = 0,021 \text{ m}^2$$

Napětí ve smyku:

$$\tau_{v,d} = \frac{3V_z}{2A_{ef}} = \frac{3 * 3,46}{2 * 0,006} = 860 \text{ kPa} \cong 0,86 \text{ MPa}$$

Posouzení:

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

$$\mathbf{0,86 \text{ MPa} \leq 2,77 \text{ MPa}}$$

VYHOVUJE

Posouzení svorníkového spoje příložek s trámem

Mezi jednotlivé příložky jsou také navrženy hmoždinky bulldog o průměru 75 mm pro okamžitou aktivaci spoje a zamezení prokluzu svorníku (viz výkres č. 12).

Svorník: M12

Průměr svorníku: $d = 12 \text{ mm}$

Charakteristická pevnost svorníku v tahu: $f_{u,k} = 500 \text{ MPa}$

Charakteristická hustota dřeva: $\rho_k = 500 \text{ kg/m}^3$

Rozteč svorníku rovnoběžně s vlákny:

$$a_1 = (4 + \cos\alpha) * d = (4 + \cos 90) * 12 = 48 \text{ mm}$$

Nový návrh: $a_1 = 500 \text{ mm}$

Rozteč svorníku kolmo na vlákna:

$$a_2 = 4 * d = 4 * 12 = 48 \text{ mm}$$

Plastický moment únosnosti:

$$M_{y,Rk} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6} = 0,3 * 500 * 12^{2,6} = 95\,932 \text{ N} * \text{mm}$$

Charakteristická pevnost v otláčení rovnoběžně s vlákny:

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k = 0,082 * (1 - 0,01 * 12) * 500 = 36,08 \text{ MPa} = f_{h,1,k}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,35 + 0,015 * 12 = 1,53$$

Charakteristická pevnost v otláčení pod úhlem:

$$f_{h,90,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}\sin^2\alpha + \cos^2\alpha} = \frac{36,08}{1,53 * \sin^2 90 + \cos^2 90} = 23,58 \text{ MPa} = f_{h,2,k}$$

Poměr mezi pevnostmi v otláčení prvků:

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{23,58}{36,08} = 0,65$$

Tloušťka dřeva:

$$t_l = 90 \text{ mm}$$

$$t_2 = 120 \text{ mm}$$

Charakteristická pevnost prvku dvojitřizně namáhaného:

$$F_{v,Rk,g} = f_{h,1,k} * t_1 * d = 36,08 * 90 * 12 = 38\,966 \text{ N}$$

$$F_{v,Rk,h} = 0,5 f_{h,2,k} * t_2 * d = 0,5 * 23,58 * 120 * 12 = 16\,979 \text{ N}$$

$$F_{v,Rk,j} = 1,05 * \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,Rk,j} = 1,05 * \frac{36,08 * 90 * 12}{2 + 0,65} \left[\sqrt{2 * 0,65(1 + 0,65) + \frac{4 * 0,65(2 + 0,65) * 95\,932}{36,08 * 12 * 90^2}} - 0,65 \right]$$

$$F_{v,Rk,j} = 20\,090 \text{ N}$$

Únosnost na vytažení prvku $F_{ax,Rk}$ pro zjednodušení není uvažována – výpočet je na straně bezpečnosti.

$$F_{v,Rk,k} = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} * \sqrt{2M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d + \frac{F_{ax,Rk}}{4}}$$

$$F_{v,Rk,k} = 1,15 \sqrt{\frac{2 * 0,65}{1 + 0,65}} * \sqrt{2 * 95\,932 * 36,08 * 12} = 9\,319 \text{ N}$$

Únosnost na vytažení prvku $F_{ax,Rk}$ pro zjednodušení není uvažována – výpočet je na straně bezpečnosti.

$$F_{v,Rk,1} = \min\{F_{v,Rk,g}; F_{v,Rk,h}; F_{v,Rk,j}; F_{v,Rk,k}\}$$

$$F_{v,Rk,1} = \min\{38\,966; 16\,979; 20\,090; 9\,319\}$$

$$F_{v,Rk,1} = 9\,319 \text{ N} \cong 9,32 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost svorníku:

$$F_{v,Rd,1} = \frac{F_{v,Rk,1} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{9,32 * 0,9}{1,3} = 6,45 \text{ kN}$$

Počet svorníků: $n = 2$

Efektivní počet svorníků: $n_{ef} = n = 2$

Návrhová únosnost spoje:

$$F_{Rd} = 2 * n_{ef} * F_{v,Rd,1} = 2 * 2 * 6,45 = 25,81 \text{ kN}$$

Síla ve spoji: $N = 1,61 \text{ kN}$

Posouzení:

$$N = 1,61 \text{ kN} \leq F_{Rd} = 25,81 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Posouzení trámu s novými vnitřními silami

Posouzení kombinace ohybu a tlaku

Vnitřní síly: $N^- = 1,52 \text{ kN}$

$$M_y = 5,81 \text{ kNm}$$

$$M_z = 0,28 \text{ kNm}$$

Napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N^-}{A} = \frac{1,52}{0,0168} = 90,4 \text{ kPa} \cong 0,09 \text{ MPa}$$

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{5,81}{3,92 * 10^{-4}} = 14\,831 \text{ kPa} \cong 14,83 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{0,28}{3,36 * 10^{-4}} = 805 \text{ kPa} \cong 0,81 \text{ MPa}$$

Posouzení:

Součinitel zohledňující redistribuci napětí: $k_m = 0,7$ – pro pravoúhlé průřezy

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

$$\frac{0,09}{0,10 * 14,54} + \frac{14,83}{16,62} + 0,7 \frac{0,81}{16,62} \leq 1$$

$$0,99 \leq 1$$

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

$$\frac{0,09}{0,10 * 14,54} + 0,7 \frac{14,83}{16,62} + \frac{0,81}{16,62} \leq 1$$

$$0,74 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení kombinace ohybu a tahu

Vnitřní síly: $N^+ = 14,74 \text{ kN}$

$$M_y = 5,81 \text{ kNm}$$

$$M_z = 0,28 \text{ kNm}$$

Napětí v tahu:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N^+}{A} = \frac{14,74}{0,0168} = 882 \text{ kPa} \cong 0,88 \text{ MPa}$$

Posouzení:

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

$$\frac{0,88}{9,69} + \frac{14,83}{16,62} + 0,7 \frac{0,81}{16,62} \leq 1$$

$$1,00 \leq 1$$

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

$$\frac{0,88}{9,69} + 0,7 \frac{14,83}{16,62} + \frac{0,81}{16,62} \leq 1$$

$$0,77 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení průhybu:

Délka mezi podporami: $L = 6,2 \text{ m} = 6\,200 \text{ mm}$

Stálé a užité zatížení se rozdělí v poměru ohybové tuhosti. Zatížení trámu je:

Stálé zatížení: $f_G = 0,13 \text{ kN/m}^2$

Užité zatížení: $f_Q = 0,97 \text{ kN/m}^2$

Konečný průhyb:

$$w_{inst,G} = \frac{5}{384} \frac{f_G * L^4}{E_{0,mean} * I_y} = \frac{5}{384} * \frac{0,13 * 6,2^4}{11\,000\,000 * 2,74 * 10^{-5}} = 0,008 \text{ m} = 8 \text{ mm}$$

$$w_{inst,Q} = \frac{5}{384} \frac{f_Q * L^4}{E_{0,mean} * I_y} = \frac{5}{384} * \frac{0,97 * 6,2^4}{11\,000\,000 * 2,74 * 10^{-5}} = 0,062 \text{ m} = 62 \text{ mm}$$

Součinitel, který zohledňuje zvětšené deformace v čase: $k_{def} = 0$ – zvoleno pro třídu vlhkosti 2 a krátkodobé zatížení s ohledem na funkci objektu

$$w_{fin,G} = w_{inst,G}(1 + k_{def}) = w_{inst,G} = 8 \text{ mm}$$

$$w_{inst,Q} = w_{inst,Q}(1 + \psi * k_{def}) = w_{inst,Q} = 62 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q} = 8 + 62 = 70 \text{ mm}$$

Limitní konečný průhyb:

$$w_{fin,lim} = \frac{L}{150} = \frac{6,2}{150} = 0,041 \text{ m} = 41 \text{ mm}$$

Posouzení:

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

$$70 \text{ mm} \leq 48 \text{ mm}$$

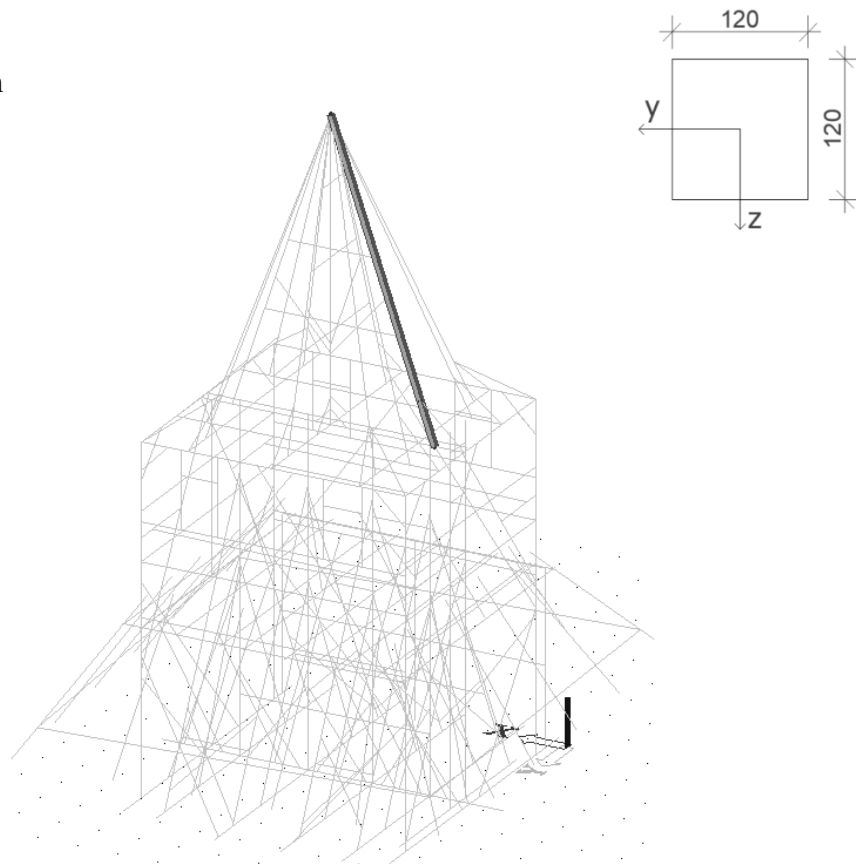
NEVYHOVUJE

Vzhledem k nevyhovujícímu průhybu trámu by velikost příložek musela být větší. To by už ovšem nebylo efektivní, protože by příložky měly téměř stejný průřez jako samotný trám. Jako další varianta se tedy jeví použít ocelové příložky, nebo vyměnit celý trám za nový s větším průřezem. Přednostně bych navrhoval ocelové příložky vzhledem k obtížnému řešení výměny celého trámu. Případný výběr metody sanace bude také záviset na rozhodnutí památkového ústavu.

7.2.6 Krokve „Kr27“

Šířka: $b = 0,12 \text{ m}$

Výška: $h = 0,12 \text{ m}$



Obrázek 88 - Umístění krokve „Kr27“ v konstrukci zvonice

Plocha průřezu:

$$A = b * h = 0,12 * 0,12 = 0,0144 \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti:

$$I = I_y = I_z = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 0,12 * 0,12^3 = 1,73 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

Modul průřezu:

$$W = W_y = W_z = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 0,12 * 0,12^2 = 2,88 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

Poloměr setrvačnosti:

$$i = i_y = i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1,73 * 10^{-5}}{0,0144}} = 0,035 \text{ m}$$

Délka prutu: $L = 7,68 \text{ m}$

Efektivní délka prutu: $L_{cr} = 3,4 \text{ m}$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3,4}{0,035} = 98,1$$

Relativní štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{98,1}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,66$$

$\lambda_{rel} > 0,3$ – při posouzení je nutné počítat s účinkem vzpěru

Součinitel vzpěrnosti:

$$k = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2) = 0,5(1 + 0,2(1,66 - 0,3) + 1,66^2) = 2,02$$

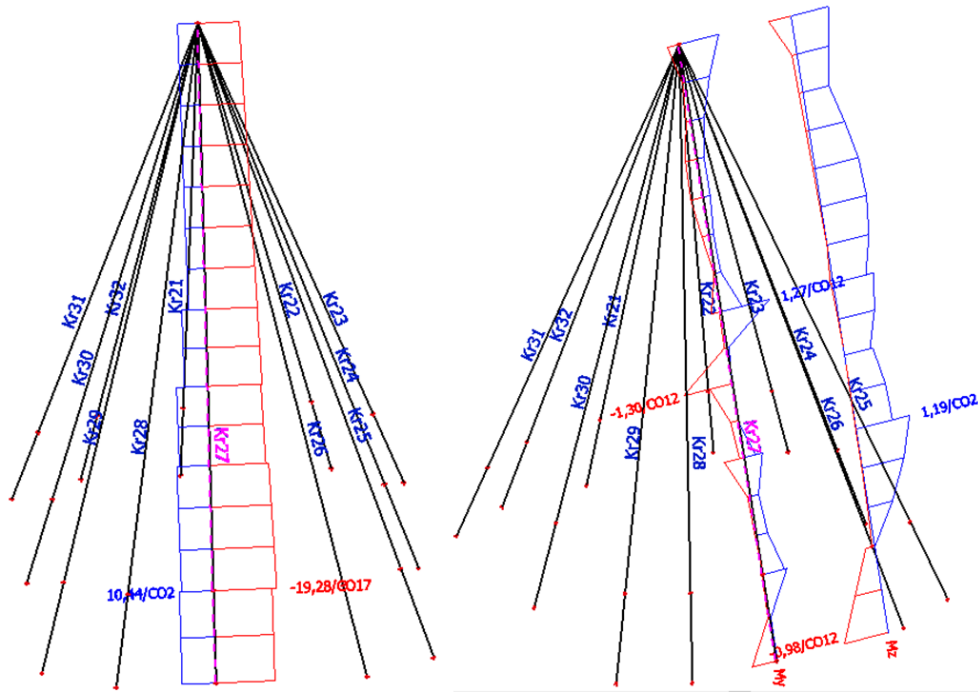
$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,41 + \sqrt{1,41^2 - 1,27^2}} = 0,32$$

Posouzení kombinace ohybu a tlaku

Vnitřní síly: $N = 19,28 \text{ kN}$

$|M_y| = 1,30 \text{ kNm}$

$M_z = 1,19 \text{ kNm}$



Obrázek 89 - Vnitřní síly N (vlevo) a M_y a M_z (vpravo) na krokvi „Kr27“

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{1,30}{2,88 * 10^{-4}} = 4\,513 \text{ kPa} \cong 4,51 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{1,19}{2,88 * 10^{-4}} = 4\,128 \text{ kPa} \cong 4,13 \text{ MPa}$$

Napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N^-}{A} = \frac{19,28}{0,0144} = 1\,341 \text{ kPa} \cong 1,34 \text{ MPa}$$

Posouzení:

Součinitel zohledňující redistribuci napětí: $k_m = 0,7$ – pro pravoúhlé průřezy

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

$$\frac{1,34}{0,32 * 14,54} + \frac{4,51}{16,62} + 0,7 \frac{4,13}{16,62} \leq 1$$

$$0,74 \leq 1$$

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

$$\frac{1,34}{0,32 * 14,54} + 0,7 \frac{4,51}{16,62} + \frac{4,13}{16,62} \leq 1$$

$$0,73 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení kombinace ohybu a tahu

Vnitřní síly: $N^+ = 10,44 \text{ kN}$
 $|M_y| = 1,30 \text{ kNm}$
 $M_z = 1,19 \text{ kNm}$

Napětí v tahu:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N^+}{A} = \frac{10,44}{0,0144} = 726 \text{ kPa} \cong 0,73 \text{ Mpa}$$

Posouzení:

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

$$\frac{0,73}{9,69} + \frac{4,51}{16,62} + 0,7 \frac{4,13}{16,62} \leq 1$$

$$0,52 \leq 1$$

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

$$\frac{0,73}{9,69} + 0,7 \frac{4,51}{16,62} + \frac{4,13}{16,62} \leq 1$$

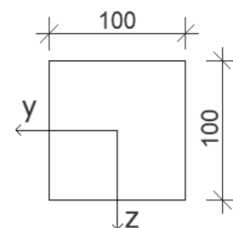
$$0,51 \leq 1$$

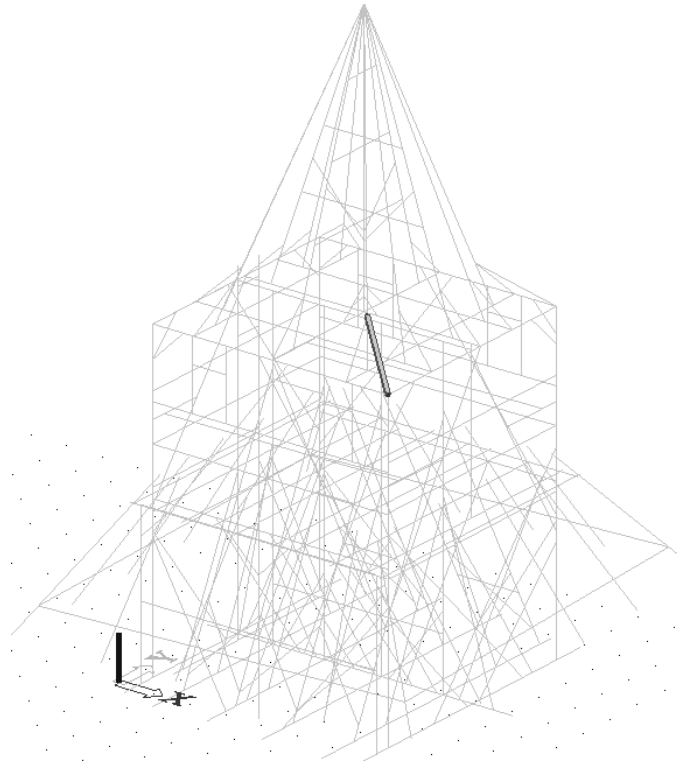
VYHOVUJE

7.2.7 Námětek „N3“

Šířka: $b = 0,10 \text{ m}$

Výška: $h = 0,10 \text{ m}$





Obrázek 90 - Umístění námětku „N3“ v konstrukci zvonice

Plocha průřezu:

$$A = b * h = 0,10 * 0,10 = 0,01 \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti:

$$I = I_y = I_z = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 0,10 * 0,10^3 = 8,33 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

Modul průřezu:

$$W = W_y = W_z = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 0,10 * 0,10^2 = 1,67 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

Poloměr setrvačnosti:

$$i = i_y = i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{8,33 * 10^{-6}}{0,01}} = 0,029 \text{ m}$$

Délka prutu: $L = 2,1 \text{ m}$

Efektivní délka prutu: $L_{cr} = 2,1 \text{ m}$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{2,1}{0,029} = 72,7$$

Relativní štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{72,7}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,23$$

$\lambda_{rel} > 0,3$ – při posouzení je nutné počítat s účinkem vzpěru

Součinitel vzpěrnosti:

$$k = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2) = 0,5(1 + 0,2(1,23 - 0,3) + 1,23^2) = 1,35$$

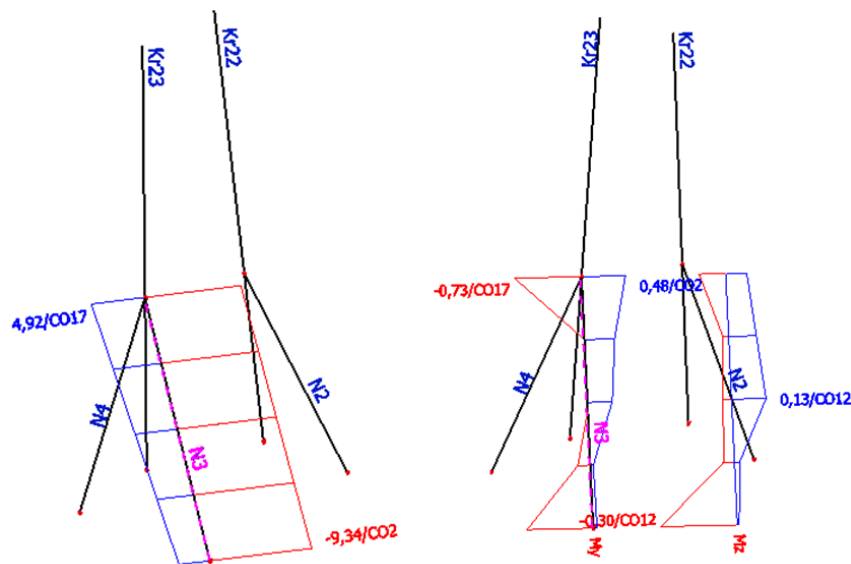
$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,35 + \sqrt{1,35^2 - 1,23^2}} = 0,52$$

Posouzení kombinace ohybu a tlaku

Vnitřní síly: $N^- = 9,34$ kN

$|M_y| = 0,73$ kNm

$|M_z| = 0,3$ kNm



Obrázek 91 - Vnitřní síly N (vlevo) a M_y a M_z (vpravo) na námětce „N3“

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{0,73}{1,67 * 10^{-4}} = 4\,381 \text{ kPa} \cong 4,38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{0,3}{1,67 * 10^{-4}} = 1\,802 \text{ kPa} \cong 1,80 \text{ MPa}$$

Napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N^-}{A} = \frac{9,34}{0,01} = 934 \text{ kPa} \cong 0,93 \text{ MPa}$$

Posouzení:

Součinitel zohledňující redistribuci napětí: $k_m = 0,7$ – pro pravoúhlé průřezy

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$
$$\frac{0,93}{0,52 * 14,54} + \frac{4,38}{16,62} + 0,7 \frac{1,80}{16,62} \leq 1$$
$$\mathbf{0,46 \leq 1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c * f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$
$$\frac{0,93}{0,52 * 14,54} + 0,7 \frac{4,38}{16,62} + \frac{1,80}{16,62} \leq 1$$
$$\mathbf{0,42 \leq 1}$$

VYHOVUJE

Posouzení kombinace ohybu a tahu

Vnitřní síly: $N^+ = 4,92$ kN

$|M_y| = 0,73$ kNm

$|M_z| = 0,3$ kNm

Napětí v tahu:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N^+}{A} = \frac{4,92}{0,01} = 487 \text{ kPa} \cong 0,49 \text{ Mpa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$
$$\frac{0,49}{9,69} + \frac{4,38}{16,62} + 0,7 \frac{1,80}{16,62} \leq 1$$
$$\mathbf{0,39 \leq 1}$$

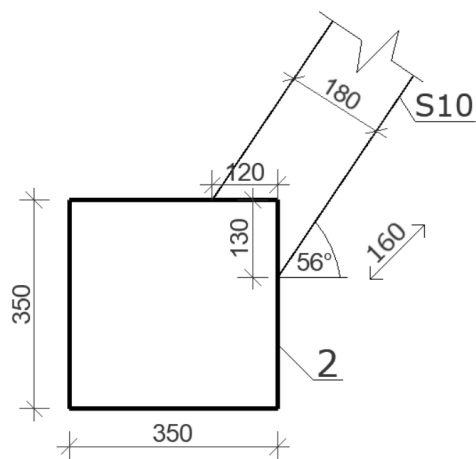
$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$
$$\frac{0,49}{9,69} + 0,7 \frac{4,38}{16,62} + \frac{1,80}{16,62} \leq 1$$
$$\mathbf{0,34 \leq 1}$$

VYHOVUJE

7.2.8 Tesařský spoj - osedlání vzpěry „S10“ na trám č. 2



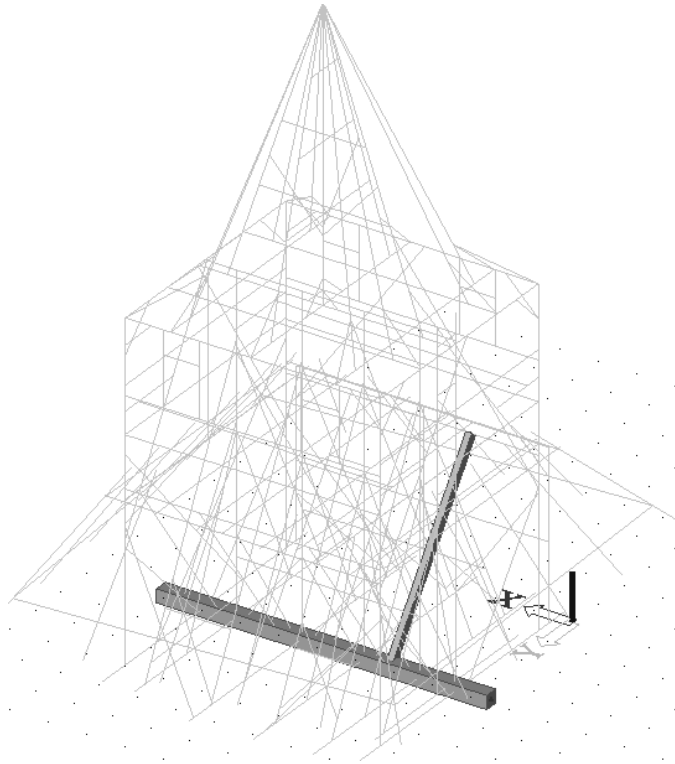
Obrázek 92 - Posuzovaný spoj vzpěry „S10“ a trámu č. 2



Obrázek 93 - Schéma spoje vzpěry „S10“ a trámu č. 2

Rozměry spoje:

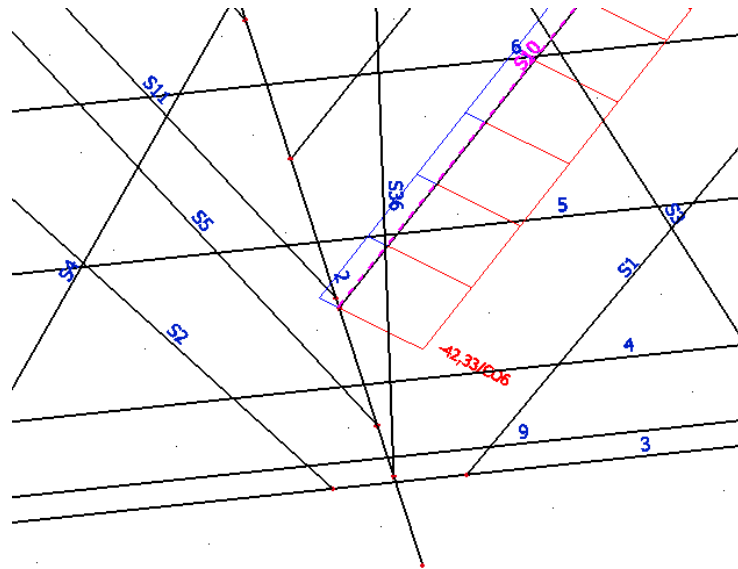
- $a = 120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$
- $b = 130 \text{ mm} = 0,13 \text{ m}$
- $c = 160 \text{ mm} = 0,16 \text{ m}$



Obrázek 94 - Umístění trámu č. 2 a vztěry „S10“ v konstrukci zvonice

Sklon vztěry „S10“: $\alpha = 56^\circ$

Osová síla vztěry „S10“: $N_d = 42,33 \text{ kN}$



Obrázek 95 - Vnitřní síly v patě vztěry „S10“

$$N_1 = N_d * \sin \alpha = 42,33 * \sin 56 = 35,10 \text{ kN}$$

$$N_2 = N_d * \cos \alpha = 42,33 * \cos 56 = 23,7 \text{ kN}$$

Plocha tlačných oblastí trámu č. 2:

$$A_1 = a * c = 0,12 * 0,16 = 0,0192 \text{ m}^2$$

$$A_2 = b * c = 0,13 * 0,16 = 0,0208 \text{ m}^2$$

Napětí v tlačných oblastech:

$$\sigma_{c,90,d,1} = \frac{N_1}{A_1} = \frac{35,10}{0,0192} = 1\,829 \text{ kPa} = 1,83 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,90,d,2} = \frac{N_2}{A_2} = \frac{23,70}{0,0208} = 1\,138 \text{ kPa} = 1,14 \text{ MPa}$$

Posouzení:

Součinitel $k = 1$ uvažován z důvodů bezpečnosti.

$$\sigma_{c,90,d,1} \leq f_{c,90,d} * k$$

$$1,83 \text{ MPa} \leq 1,73 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE

Využití spoje je 106 %, ale nepřesahuje stanovený limit 110 % a lze tedy předpokládat, že tento spoj **VYHOVUJE**.

$$\sigma_{c,90,d,2} \leq f_{c,90,d} * k$$

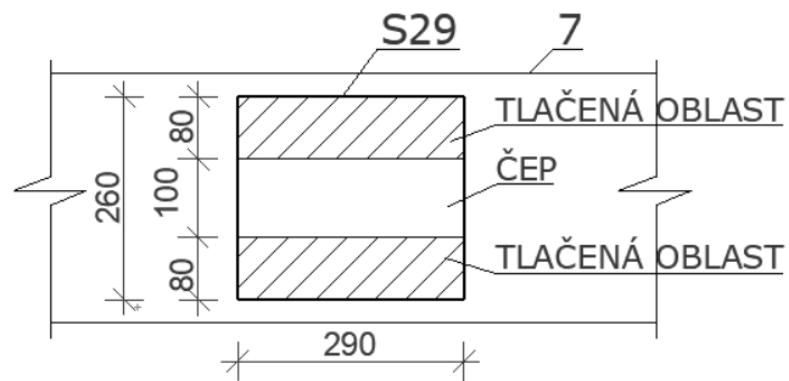
$$1,14 \text{ MPa} \leq 1,73 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

7.2.9 Tesařský spoj - čepování vzpěry „S29“ na trám č. 7



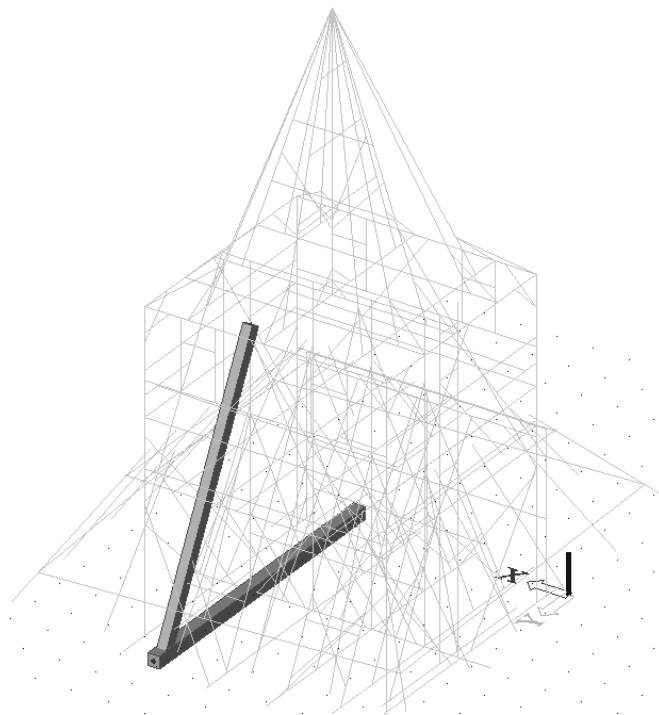
Obrázek 96 - Posuzovaný spoj vzpěry „S29“ a trámu č. 7



Obrázek 97 – Schéma půdorysu spoje vzpěry „S29“ a trámu č. 7

Rozměry spoje:

- $a = 260 \text{ mm} = 0,26 \text{ m}$
- $b = 290 \text{ mm} = 0,29 \text{ m}$
- $c = 80 \text{ mm} = 0,08 \text{ m}$
- $d = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$

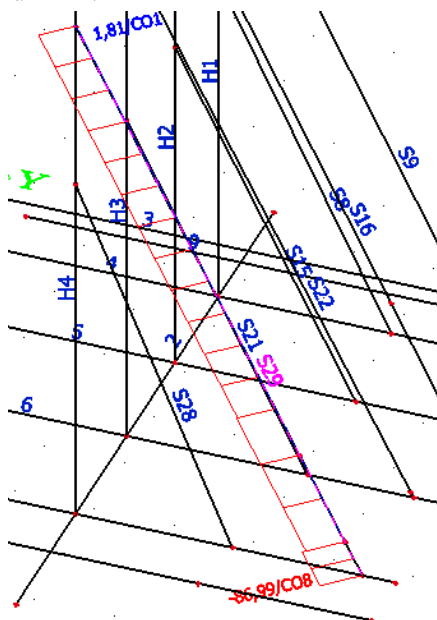


Obrázek 98 - Umístění trámu č. 7 a vzpěry „S29“ v konstrukci zvonice

Délku čepu nelze přesně určit, proto je uvažována přes celou délku paty vzpěry pro bezpečný výpočet.

Sklon vzpěry: $\alpha = 64^\circ$

Osová síla vzpěry „S29“: $N_d = 86,99 \text{ k}$



Obrázek 99 - Vnitřní síly na vzpěře „S29“

$$N_1 = N_d * \sin \alpha = 86,99 * \sin 64 = 78,2 \text{ kN}$$

Celková plocha tlačené oblasti trámu č. 7:

$$A = 2 * b * c = 2 * 0,29 * 0,08 = 0,0464 \text{ m}^2$$

Napětí v tlačené oblasti:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_1}{A} = \frac{78,2}{0,0464} = 1\,691 \text{ kPa} \cong 1,69 \text{ MPa}$$

Posouzení:

Součinitel $k = 1$ uvažován z důvodů bezpečnosti.

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

$$1,69 \text{ MPa} \leq 1,73 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

8 Závěr

Tato bakalářská práce se v první části zabývá popisem konstrukce zvonice. Obsahuje stručný úvod do historie obce, ve které se zvonice nachází, a popis okolí objektu. Také jsou zde uvedeny poznatky z postupu při zaměřování a popisu jednotlivých částí objektu. Dále jsou zde detailně popsány jednotlivé části objektu a rozmístění konstrukčních prvků včetně jejich spojů.

V praktické části jsem se zaměřil na vytvoření 3D modelu zvonice a následné posouzení několika vybraných prvků. Podkladem pro tvorbu modelu byla výkresová dokumentace, kterou jsem vytvořil na základě zaměření celé zvonice. Při posuzování prvků a spojů jsem počítal s určitou tolerancí vzhledem k možnostem zkreslení naměřených hodnot, které mohou být způsobeny například nedostatečně opracovaným prvkem, nebo jinou třídou řeziva.

V případě, kdy využití posuzovaného prvku přesahovalo stanovenou mez 110 % na základě vstupních dat z 3D modelu, navrhnul jsem opatření, které sníží maximální namáhání na současnou běžně používanou mez. Takto jsem postupoval u trámu „TR3“, kde jsem navrhnul zesílení pomocí příložek.

Na základě této práce je možné dále pokračovat v návrzích oprav zvonice a posuzování ostatních prvků konstrukce.

Seznam použité literatury a zdrojů

Internetové zdroje

- [1] Mapy.cz. *Mapy.cz* [online]. Praha: Seznam.cz, 2018 [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.0497400&y=50.6183777&z=16&source=base&iid=2112047&q=Vlastibořice>
- [2] Vlastibořice: Život ve vsi od raného středověku. *Vlastiborice.cz* [online]. c2002-2003 [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://archiv2.vlastiborice.cz/www.vlastiborice.cz/kronika/4.htm>
- [3] Národní památkový ústav: Památkový katalog. *Pamatkovykatalog.cz* [online]. c2015 [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <http://www.pamatkovykatalog.cz/?element=16162783&sequence=2&mode=fulltext®ion%5B0%5D=Liberecký+kraj&county%5B0%5D=Liberec&municipality%5B0%5D=Vlastibořice&municipalityPart%5B0%5D=Vlastibořice&order=relevance%3Adesc&action=element&presenter=ElementsResults>
- [8] Mapa zatížení sněhem na zemi. *Snehovamapa.cz* [online]. ČHMÚ, c2018 [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.snehovamapa.cz>

Publikace

- [4] WITZANY, Jiří. *PDR - poruchy, degradace a rekonstrukce*. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.
- [5] GERNER, Manfred. *Tesařské spoje*. Praha: Grada, 2003. ISBN 978-80-247-0076-2.
- [6] KOUKAL, Petr. *Péče o varhany a zvony, jejich památková ochrana*. Praha: Národní památkový ústav, ústřední pracoviště, 2006. Odborné a metodické publikace (Národní památkový ústav). ISBN 80-86234-88-6.
- [7] LUNGA, Radek a Jaroslav SOLAŘ. *Kostelní věže a zvonice: kampanologie, navrhování, poruchy, rekonstrukce a sanace*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-1236-9.

Normy

- [8] ČSN EN 1991-1-1:2004 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. (včetně oprav a změn)
- [9] ČSN EN 1991-1-3:2005 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. (včetně oprav a změn)
- [10] ČSN EN 1991-1-4:2007 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. (včetně oprav a změn)
- [11] ČSN EN 1990:2004 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. (včetně oprav a změn)

- [12] *ČSN EN 1995-1-1:2006 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí: Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. (včetně oprav a změn)*
- [13] *ČSN ISO 13822:2014: Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí. (včetně oprav a změn)*

Seznam obrázků, tabulek a grafů

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Mapa umístění Vlastibořic [1]	8
Obrázek 2 - Umístění zvonice ve Vlastibořicích [1].....	8
Obrázek 3 - Historická pohlednice – pohled na zvonici (vlevo) a kostel sv. Kateřiny Alexandrijské (vpravo) [2]	9
Obrázek 4 - Současný pohled na zvonici a kostel.....	10
Obrázek 5 – Ukázka vlastní skici z průběhu dokumentace zvonice	11
Obrázek 6 - Zakřivená vzpěra	12
Obrázek 7 - Výsušné trhliny	12
Obrázek 8 - Pohled na zvonici	14
Obrázek 9 - Kamenná podpěra vodorovného trámu	15
Obrázek 10 – Zděný přízemek s roubenými trámy.....	15
Obrázek 11 - Pohled od vchodu do zvonice	16
Obrázek 12 - Pohled na konstrukci 1.NP z jižní strany objektu	16
Obrázek 13 - Zavětrovací kříž II mezi hlavními svislými sloupy „H2“ a „H3“ .	17
Obrázek 14 - Umístění šikmých vzpěr „S“ na vodorovných trámech č. 1 až 9..	17
Obrázek 15 - Sloup „K6“ s pásky „P2“ a „P3“	18
Obrázek 16 - Pohled na 2.NP zvonice	18
Obrázek 17 - Pohled na východní stěnu zvonice	19
Obrázek 18 - Sloup „K“ s pásky „P“	19
Obrázek 19 – Vzpěry v patě vřetena „K11“	20
Obrázek 20 - Vrchol věže	20
Obrázek 21 - Čepový spoj doplněný klínem.....	21
Obrázek 22 - Sedlový spoj vzpěry „S24“	21
Obrázek 23 - Překlátování prvků zavětrovacích křížů.....	22
Obrázek 24 - Překlátování doplněné dřevěným kolíkem.....	22
Obrázek 25 - Částečné překlátování zavětrování se vzpěrou „S“	23
Obrázek 26 - Překlátování šikmého a vodorovného prvku na stěně 2.NP.....	23
Obrázek 27 – Částečné překlátování šikmého a vodorovného prvku věže.....	23
Obrázek 28 - Plátový spoj s ozubem na trámu č. 4 s využitím tesařské skoby...24	

Obrázek 29 – Trámy č. 3 až 7 uložené na trámu č. 1	24
Obrázek 30 - Pohled na stropní konstrukci 1.NP	25
Obrázek 31 - Spojení vodorovných trámů „R1“ a „R2“	25
Obrázek 32 - Pohled na severní stěnu 2.NP	26
Obrázek 33 – Pohled zdola na prvek „V17“	27
Obrázek 34 – Místa zeslabení na trámech „V13“ a „V14“	27
Obrázek 35 - Pohled na prvky „KL2“ a „V16“	28
Obrázek 36 - Pohled na roh obvodu stropní konstrukce nad podlahou 2.NP	28
Obrázek 37 - Námětek ve věži	29
Obrázek 38 - Pohled do věže	29
Obrázek 39 - Spoj přeplátováním mezi trámy č. 5 a č. 2	30
Obrázek 40 – spojení prvků stropu 1.NP	30
Obrázek 41 – Kampový překřížený spoj proříznutím [5]	31
Obrázek 42 - Napojení vodorovných trámů na obvodovou konstrukci	31
Obrázek 43 - Uložení krokví „Kr“ na trám „R“	32
Obrázek 44 - Lípnutí námětku „N“ na krokev „Kr“	32
Obrázek 45 - Pohled zesponu na laťování	33
Obrázek 46 - Detail šindelů	33
Obrázek 47 - Přesah střešního pláště do 2.NP	34
Obrázek 48 – Schodiště	34
Obrázek 49 - Schodišťové stupně	35
Obrázek 50 - Dveře do zvonice	35
Obrázek 51 - Okno s okenicí	36
Obrázek 52 – Zvon ve zvonici	37
Obrázek 53 - Popis jednotlivých částí zvonové soustavy z počátku 20. stol. [7]	37
Obrázek 54 – Srdce staršího typu zvonu (vlevo) a novějšího typu (vpravo) [7]	38
Obrázek 55 - Detail úchytu srdce	39
Obrázek 56 - Srdce zvonu	39
Obrázek 57 - Rovný dřevěný závěs zvonu	40
Obrázek 58 - Mapa zatížení sněhem na zemi [8]	45
Obrázek 59 - Umístění Vlastibořic na větrné mapě	46
Obrázek 60 – Detail větrné mapy	46
Obrázek 61 - Rozdělení tlaku větru po výšce konstrukce	47

Obrázek 62 - Rozdělení objektu na jednotlivé části	49
Obrázek 63 – Půdorys 1. části.....	50
Obrázek 64 - Nárýs 1. části.....	50
Obrázek 65 - Půdorys 2. části	52
Obrázek 66 - Nárýs 2. Části	53
Obrázek 67 - Půdorys 3. části	55
Obrázek 68 - Nárýs 3. části.....	55
Obrázek 69 - Působení větru na plášť 1.NP.....	57
Obrázek 70 - Působení větru na plášť 2.NP	58
Obrázek 71 - Působení větru na věž.....	58
Obrázek 72 – Schéma zatížení hlavy zvonu pohybem [7].....	59
Obrázek 73 - 3D model zvonice	64
Obrázek 74 - Umístění trámu č. 2 v konstrukci zvonice.....	67
Obrázek 75 - Vnitřní síla V_z na trámu č. 2.....	67
Obrázek 76 - Vnitřní síly M_y a M_z na trámu č. 2	68
Obrázek 77 - Umístění krokve „Kr1“ v konstrukci zvonice.....	69
Obrázek 78 - Vnitřní síly N (vlevo) a M_y a M_z (vpravo) na krokvi „Kr1“	71
Obrázek 79 - Umístění sloupu „H4“ v konstrukci zvonice.....	73
Obrázek 80 - Vnitřní síly N (vlevo) a M_y a M_z (vpravo) na sloupu „H4“	74
Obrázek 81 - Umístění vzpěry „S29“ v konstrukci zvonice	76
Obrázek 82 - Vnitřní síly N vzpěře „S29“	78
Obrázek 83 - Vnitřní síly M_y a M_z na vzpěře „S29“.....	79
Obrázek 84 - Umístění trámu „TR3“ v konstrukci zvonice.....	81
Obrázek 85 - Vnitřní síla N na trámu „TR3“	82
Obrázek 86 - vnitřní síly M_y a M_z na trámu „TR3“	83
Obrázek 87 - Vnitřní síly V_z na trámu „TR3“.....	84
Obrázek 88 - Umístění krokve „Kr27“ v konstrukci zvonice.....	92
Obrázek 89 - Vnitřní síly N (vlevo) a M_y a M_z (vpravo) na krokvi „Kr27“	94
Obrázek 90 - Umístění námětku „N3“ v konstrukci zvonice.....	96
Obrázek 91 - Vnitřní síly N (vlevo) a M_y a M_z (vpravo) na námětku „N3“	97
Obrázek 92 - Posuzovaný spoj vzpěry „S10“ a trámu č. 2	99
Obrázek 93 - Schéma spoje vzpěry „S10“ a trámu č. 2	99
Obrázek 94 - Umístění trámu č. 2 a vzpěry „S10“ v konstrukci zvonice	100

Obrázek 95 - Vnitřní síly v patě vzpěry „S10“	100
Obrázek 96 - Posuzovaný spoj vzpěry „S29“ a trámu č. 7	102
Obrázek 97 – Schéma půdorysu spoje vzpěry „S29“ a trámu č. 7.....	102
Obrázek 98 - Umístění trámu č. 7 a vzpěry „S29“ v konstrukci zvonice	103
Obrázek 99 - Vnitřní síly na vzpěře „S29“	103

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Součinitel vnějšího tlaku c_{pe} pro 1. část objektu.....	50
Tabulka 2 - Tlak větru v oblastech 1. části objektu	51
Tabulka 3 - Součinitel vnějšího tlaku c_{pe} pro 2. část objektu.....	53
Tabulka 4 - Tlak větru v oblastech 2. části objektu	53
Tabulka 5 - Součinitel vnějšího tlaku c_{pe} pro 3. část objektu.....	55
Tabulka 6 - Tlak větru v oblastech 2. části objektu	56
Tabulka 7 - Tabulka závislosti hmotnosti zvonu na výkyvu [7].....	60
Tabulka 8 - Výsledné hodnoty sil V a H při výchylce φ	61
Tabulka 9 - Označení a popis zatěžovacích stavů.....	62
Tabulka 10 - Kombinace zatížení	63

Seznam grafů

Graf 1 - Graf pro přibližné určení součinitele expozice $c_e(z)$	48
--	----

Seznam použitých zkratek a symbolů

NP		nadzemní podlaží
b	[m]	šířka
h	[m]	výška
n	[–]	počet latí
g _s	[kN/m ²]	plošná tíha
ρ	[kg/m ³]	objemová hmotnost
γ	[kN/m ³]	objemová tíha
Z _Š	[m]	zatěžovací šířka
g _k , G _k	[kN/m; kN]	charakteristická hodnota stálého zatížení
t	[m]	tloušťka
L	[m]	délka
A	[m ²]	plocha
q _k , Q _k	[kN/m; kN]	charakteristická hodnota proměnného zatížení
s _k	[kN/m ²]	charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi
C _e	[–]	součinitel expozice
C _t	[–]	tepelný součinitel
s	[kN/m ²]	charakteristická hodnota zatížení sněhem na střeše
v _{b,0}	[m/s]	výchozí základní rychlost větru
c _{dir}	[–]	součinitel směru větru
c _{season}	[–]	součinitel ročního období
v _b	[m/s]	výchozí základní rychlost větru
q _b	[kPa]	základní tlak větru
q _p (z)	[kPa]	charakteristický maximální dynamický tlak
w _e	[kN/m]	tlak větru na povrchu objektu

c_{pe}	[–]	součinitel vnějšího tlaku
m	[kg]	hmotnost
r	[m]	vzdáleností těžiště zvonu od osy otáčení
φ_0	[°]	velikostí úhlu maximálního rozkyvu
V	[kN]	svislá síla v závěsu zvonu
H	[kN]	vodorovná síla v závěsu zvonu
φ	[°]	okamžitá výchylka zvonu
T_0	[s]	doba kyvu zvonu
g	[m/s ²]	tíhové zrychlení
κ	[–]	součinitel vyjadřující rozložení hmoty kolem těžiště zvonu
ψ_0	[–]	kombinační součinitel
$f_{m,k}$	[MPa]	charakteristická pevnost v ohybu
$f_{c,0,k}$	[MPa]	charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_{c,90,k}$	[MPa]	charakteristická pevnost v tlaku kolmo na vlákna
$f_{v,k}$	[MPa]	charakteristická pevnost ve smyku
$f_{t,0,k}$	[MPa]	charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny
$E_{0,05}$	[MPa]	5 % kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny
$E_{0,mean}$	[MPa]	průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny
γ_M	[–]	dílčí součinitel vlastnosti materiálu
k_{mod}	[–]	modifikační součinitel
$f_{m,d}$	[MPa]	návrhová pevnost v ohybu
$f_{c,0,d}$	[MPa]	návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_{c,90,d}$	[MPa]	návrhová pevnost v tlaku kolmo na vlákna
$f_{v,d}$	[MPa]	návrhová pevnost ve smyku
$f_{t,0,d}$	[MPa]	návrhová pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny

W	$[m^3]$	modul průřezu
N	$[kN]$	normálová síla
V	$[kN]$	posouvající síla
M	$[kNm]$	ohybový moment
k_{cr}	$[-]$	součinitel trhlin
b_{ef}	$[m]$	účinná šířka průřezu
A_{ef}	$[m^2]$	efektivní plocha průřezu
$\tau_{v,d}$	$[MPa]$	napětí ve smyku
k_m	$[-]$	součinitel zohledňující redistribuci napětí a vliv nehomogenity materiálu v průřezu
$\sigma_{m,d}$	$[-]$	napětí v ohybu
I	$[m^4]$	moment setrvačnosti
i	$[m]$	poloměr setrvačnosti
L_{cr}	$[m]$	efektivní délka prutu
λ	$[-]$	štíhlostní poměr
λ_{rel}	$[-]$	relativní štíhlostní poměr
k, k_c	$[-]$	součinitel vzpěrnosti
$\sigma_{c,0,d}$	$[-]$	napětí v tlaku
$\sigma_{t,0,d}$	$[-]$	napětí v tahu
w_{inst}	$[m]$	okamžitý průhyb
w_{fin}	$[m]$	konečný průhyb
$w_{fin,lim}$	$[m]$	limitní konečný průhyb
k_{def}	$[-]$	součinitel zohledňující zvětšené deformace v čase
d	$[m]$	průměr prvku
$f_{u,k}$	$[MPa]$	charakteristická pevnost svorníku v tahu
a_1	$[m]$	rozteč svorníku rovnoběžně s vlákny

a_2	[m]	rozteč svorníku kolmo na vlákna
$M_{y,Rk}$	[Nmm]	plastický moment únosnosti
$f_{h,0,k}$	[MPa]	charakteristická pevnost v otláčení rovnoběžně s vlákny
$f_{h,90,k}$	[MPa]	charakteristická pevnost v otláčení pod úhlem
β	[–]	poměr mezi pevnostmi v otláčení
$F_{v,Rk}$	[kN]	charakteristická pevnost dvojstřížně namáhaného prvku
$F_{ax,Rk}$	[kN]	únosnost na vytažení prvku
$F_{v,Rd,1}$	[kN]	návrhová únosnost svorníku
n_{ef}	[–]	efektivní počet svorníků
F_{Rd}	[kN]	návrhová únosnost spoje

Seznam příloh

Příloha 1 – Tabulka změřených rozměrů prvků 1.NP

Příloha 2 – Tabulka změřených rozměrů prvků 2.NP

Výkres č. 1 – 1.NP	1:30
Výkres č. 2 – Zavětrování	1:35
Výkres č. 3 – Stropní konstrukce nad 1.NP	1:30
Výkres č. 4 – 2.NP	1:30
Výkres č. 5 – Pohled na severní stěnu 2.NP	1:30
Výkres č. 6 – Pohled na východní stěnu 2.NP	1:30
Výkres č. 7 – Pohled na jižní stěnu 2.NP	1:30
Výkres č. 8 – Pohled na západní stěnu 2.NP	1:30
Výkres č. 9 – Vodorovná konstrukce nad 2.NP	1:30
Výkres č. 10 – Řez A1	1:35
Výkres č. 11 – Řez A2	1:35
Výkres č. 12 – Svorníkový spoj	1:10

Příloha 1

OZNAČENÍ	ROZMĚRY PRŮŘEZU [mm]	DÉLKA [m]	SKLON [°]
----------	-------------------------	--------------	--------------

Vodorovné trámy č.1 - 9

1	320 x 350	7,32
2	350 x 350	8,60
3	280 x 280	8,05
4	310 x 320	8,69
5	310 x 340	8,74
6	330 x 380	8,90
7	320 x 340	8,48
8	270 x 320	8,04
9	210 x 200	5,60

Vodorovné trámy V1 a V2

V1	190 x 220	10,17
V2	130 x 150	6,40

Rohové sloupy

K1	180 x 200	4,20
K2	200 x 210	8,55
K3	220 x 220	8,62
K4	190 x 190	9,13
K5	190 x 200	9,13
K6	190 x 200	4,40
K7	170 x 200	4,10
K8	180 x 220	8,60
K9	200 x 230	8,60

Šikmé vzpěry

S1	160 x 200	4,75	57
S2	160 x 180	4,17	53
S3	180 x 200	4,54	68
S4	150 x 180	4,60	63
S5	160 x 180	5,30	54
S6	250 x 270	7,60	65
S7	250 x 290	4,82	69
S8	250 x 270	5,10	65
S9	250 x 270	7,80	60
S10	160 x 180	5,25	56
S11	160 x 190	5,31	55
S12	160 x 190	4,37	57
S13	270 x 320	7,65	65
S14	270 x 290	4,96	66
S15	250x260	5,05	64
S16	270 x 260	7,85	63
S17	160 x 180	3,89	53
S18	160 x 180	4,30	56
S19	250 x 290	7,60	64
S20	240 x 290	5,08	66

S21	300 x 280	5,22	64
S22	270 x 300	7,83	64
S23	160 x 180	4,40	52
S24	160 x 190	5,40	57
S25	160 x 190	5,15	55
S26	250 x 280	7,65	64
S27	300 x 280	5,25	67
S28	270 x 300	5,26	69
S29	260 x 290	7,80	64
S30	130 x 160	7,23	50
S31	160 x 180	4,36	48
S32	160 x 180	4,30	46
S33	130 x 140	7,22	50
S34	160 x 180	5,45	53
S35	160 x 190	5,40	55
S36	250 x 270	5,70	81
S37	250 x 300	5,75	74

Hlavní sloupy

H1	300 x 330	8,77
H2	300 x 350	8,75
H3	300 x 330	8,73
H4	300 x 330	8,74

Pásky sloupů K1, K6 a K7

P1	130 x 160	1,10
P2	140 x 140	1,15
P3	140 x 140	1,15
P4	140 x 160	1,10

Trámy stropní konstrukce nad 1.NP

TR1	180 x 180	7,45
TR2	180 x 210	7,50
TR3	120 x 140	7,20
TR4	190 x 200	7,45
TR5	210 x 180	7,40
TR6	180 x 200	7,40
TR7	190 x 220	7,45
TR8	180 x 200	7,40
T1	180 x 200	6,85
T2	190 x 190	6,50
T3	160 x 200	6,65
T4	200 x 200	6,10
T5	170 x 190	5,95
Sch	150 x 150	1,20
R1	170 x 150	7,15
R2	160 x 160	7,40
R3	180 x 140	7,45
R4	160 x 170	7,15

Krokve 1.NP

Kr1	130 x 130		62
Kr2	110 x 120		62
Kr3	120 x 120		61
Kr4	120 x 120		59
Kr5	120 x 120		55
Kr6	130 x 130		60
Kr7	130 x 120		66
Kr8	160 x 140		66
Kr9	150 x 130		63
Kr10	160 x 140	4,50	63
Kr11	130 x 130		61
Kr12	110 x 110		57
Kr13	130 x 130		57
Kr14	120 x 120		57
Kr15	110 x 110		53
Kr16	130 x 130		64
Kr17	120 x 120		67
Kr18	110 x 110		67
Kr19	140 x 140		68
Kr20	140 x 140		66

Zavětrování

OZNAČENÍ	ROZMĚRY PRŮŘEZU [mm]	DĚLKA [m]
----------	-------------------------	--------------

LEGENDA OZNAČENÍ PRVKŮ
ZAVĚTROVÁNÍ

Zavětrování mezi sloupy H1 a H2

I		
1	170 x 170	2,28
2	170 x 170	2,33
3	170 x 200	1,14

Zavětrování mezi sloupy H2 a H3

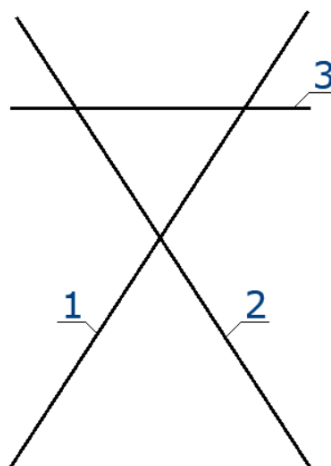
II		
1	170 x 180	2,29
2	170 x 180	2,32
3	170 x 180	1,25

Zavětrování mezi sloupy H3 a H4

III		
1	150 x 170	2,45
2	150 x 170	2,39
3	180 x 180	1,41

Zavětrování mezi vřpěry S22 a S29

IV		
1	150 x 200	2,39
2	150 x 200	2,67
3	140 x 180	1,45



Zavětrování mezi vzpěry S9 a S16

V		
1	120 x 150	2,33
2	120 x 150	2,37
3	130 x 150	1,25

Zavětrování mezi vzpěry S19 a S26

VI		
1	140 x 180	2,51
2	140 x 180	2,36
3	140 x 180	1,52

Zavětrování mezi vzpěry S13 a S19

VII		
1	140 x 160	2,40
2	140 x 160	2,38
3	140 x 180	1,32

Zavětrování mezi vzpěry S6 a S13

VIII		
1	140 x 150	2,25
2	140 x 150	2,29
3	140 x 180	1,22

Příloha 2

OZNAČENÍ	ROZMĚRY PRŮŘEZU [mm]	DÉLKA [m]	SKLON [°]
----------	----------------------------	--------------	--------------

Trámy stěn 2.NP

V3	110 x 130	6,75	
V4	150 x 150	6,25	
V5	130 x 150	6,25	
V6	110 x 110	6,45	
V7	130 x 140	6,45	
V8	140 x 180	6,45	
V9	130 x 130	6,25	
V10	120 x 150	6,25	
V11	120 x 130	6,45	
V12	140 x 170	6,45	
L1	120 x 140	1,69	
L2	120 x 120	1,70	
L3	110 x 120	1,51	
L4	130 x 130	1,40	
O1	130 x 140	1,90	okenní prvky O mají stejné rozměry na jižní a severní stěně
O2	130 x 140	1,90	
O3	100 x 100	0,85	

Šikmé vzpěry na stěnách 2.NP

ZP 1	130 x 140	6,30	54
ZP 2		6,35	54
ZP 3		6,30	60
ZP 4		6,50	58
ZP 5		6,30	55
ZP 6		6,25	54
ZP 7		5,70	54
ZP 8		5,65	54

Sloup ve 2.NP

K 10	140 x 140	4,15
------	-----------	------

Trámy vodorovné konstrukce nad 2.NP

V13	180 x 200	6,10
V14	200 x 240	6,15
V15	180 x 200	6,15
V16	180 x 180	6,50
V17.1	150 x 300	6,55
V17.2	150 x 300	6,55
V17.3	150 x 150	6,55
V17.4	150 x 150	6,55
KL1	60 x 220	6,60
KL2	60 x 220	6,60
Se1	220 x 230	6,55
Se2	140 x 180	6,50
Vy1	210 x 220	6,20

Vy2	170 x 170	6,25
J1	170 x 220	6,75
J2	170 x 180	6,80
Z1	180 x 220	6,35
Z2	180 x 200	6,40

Vřeteno ve věži

K11	130 x 170	7,10
-----	-----------	------

Vodorovné trámy věže

V18	130 x 150	3,45
V19	130 x 170	3,21
V20	130 x 130	2,25
V21	90 x 130	2,15
V22	110 x 120	1,05

Krokve ve věži

Kr21	120 x 130	7,68	73
Kr22	110 x 110	7,30	69
Kr23	100 x 120	7,80	68
Kr24	130 x 130	7,85	74
Kr25	100 x 120	7,80	68
Kr26	110 x 120	7,70	69
Kr27	120 x 120	7,65	72
Kr28	110 x 110	7,80	69
Kr29	110 x 120	7,30	69
Kr30	120 x 130	7,85	73
Kr31	110 x 120	7,40	69
Kr32	120 x 130	7,25	69

Námětky ve věži

N1		1,75	43
N2		1,68	45
N3		2,10	33
N4		1,71	47
N5		1,58	45
N6		1,75	47
N7		2,10	33
N8	100 x 100	1,69	46
N9		1,70	45
N10		1,76	45
N11		2,10	34
N12		1,68	44
N13		1,55	46
N14		1,73	47,5
N15		2,10	32
N16		1,75	45

Pásky rohových sloupů ve 2.NP

P5		1,20	45
P6		1,23	45
P7		1,19	45
P8	150 x 150	1,20	45
P9		1,25	45
P10		1,20	45
P11		1,18	45
P12		1,20	45

Šikmé trámy ve věži

P13	130 x 160	1,20	47
P14	130 x 160	1,15	53
P15	130 x 170	0,91	56
P16	130 x 170	0,90	56
P17	100 x 110	1,93	50
P18	100 x 110	1,95	50
P19	120 x 140	1,95	61
P20	120 x 140	1,95	61