

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE
DREVÁRSKA FAKULTA

DF-104119-22412

NÁVRH NOSNEJ KONŠTRUKCIE SKLADU

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2023

Bc. Maroš MALŽENICKÝ

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE
DREVÁRSKA FAKULTA

DF-104119-22412

NÁVRH NOSNEJ KONŠTRUKCIE SKLADU

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Študijný program:	Drevené stavby
Pracovisko (katedra/ústav):	Katedra drevených stavieb (DF)
Vedúci diplomovej práce:	Ing. Roman Soyka, PhD.
Konzultant diplomovej práce:	Ing. Roman Soyka, PhD.

Zvolen 2023

Bc. Maroš MALŽENICKÝ



Drevárska fakulta
Technická univerzita vo Zvolene

ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Evidenčné číslo: **DF-104119-22412**

Akademický rok: **2022/2023**

Autor **Bc. Maroš Malženický**

Študijný program **Drevené stavby**

Forma štúdia **denná prezenčná**

Názov témy:

Návrh nosnej konštrukcie skladu

Metodické pokyny na vypracovanie práce:

1. Nosné systémy hál.
2. Výber architektúry haly a staticko-konštrukčného systému.
3. Statický výpočet.
4. Vypracovanie výkresovej dokumentácie.
5. Vyhodnotenie návrhu.

Zadané dňa:

30. 09. 2022

Odozdané dňa:

15. 05. 2023

vedúci práce:

**Ing. Roman Soyka, PhD.
Katedra drevených stavieb (DF)**

garant študijného programu:

prof. Ing. Jozef Štefko, CSc.

dekan DF TUZVO:

prof. Ing. Ján Sedliačik, PhD.

Čestné Prehlásenie

Prehlasujem, že som svoju diplomovú prácu s témou: Návrh nosnej konštrukcie skladu, vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Zvolen 15.5.2023

.....

Bc. Maroš Malženický

Bibliografická citácia

MALŽENICKÝ, Maroš: *Návrh nosnej konštrukcie skladu* [Diplomová práca] -
Technická Univerzita vo Zvolene. Drevárska fakulta. Katedra drevných stavieb. Vedúci
diplomovej práce: Ing. Roman Soyka, PhD.

Pod'akovanie

Touto cestou by som sa chcel pod'akovať vedúcemu diplomovej práce Ing. Romanovi Soykovi, PhD. za trpezlivosť poskytnuté cenné rady a profesionálny prístup pri vedení tejto záverečnej práce.

Abstrakt

MALŽENICKÝ, Maroš: Návrh nosnej konštrukcie skladu [Diplomová práca] - Technická Univerzita vo Zvolene. Drevárska fakulta. Katedra drevených stavieb. Vedúci bakalárskej práce: Ing. Roman Soyka, PhD. Stupeň odbornej kvalifikácie: inžinier. Technická Univerzita vo Zvolene. 2021, 60 strán

Cieľom diplomovej práce je vypracovanie návrhu nosnej konštrukcie skladovej haly, konkrétne dvojkĺbového rámového systému. Prvá kapitola obsahuje celkové potrebné teoretické spracovanie vybranej problematiky, t.j. konštrukčné systémy veľkorozponových konštrukcií. Druhá kapitola je venovaná cieľu práce a tretia kapitola obsahuje stručný popis metodiky práce. Štvrtá kapitola obsahuje statický návrh konštrukcie so zaťažienami vypracovanými v statickom softwari. Výsledky vyplývajúcich síl zo zaťaženi boli prevedené do statických posudkov na vybrané prvky, ktoré boli posudzované na medzný stav únosnosti a medzný stav použiteľnosti.

Kľúčové slová: drevená nosná konštrukcia, dvojkĺbový rám, skladová hala, zaťaženia, Eurokód 5, výpočet

Abstract

MALZENICKY, Maros: Design of Load-Bearing Structure for Warehouse [Master's thesis] - Technical University in Zvolen. Faculty of Wood Sciences and Technology. Department of Wooden Constructions. Supervisor of the thesis: Ing. Roman Soyka, PhD. Degree of professional qualification: Master. Technical University in Zvolen. 2021, 60 pages

The aim of the master's thesis is to design a static assessment of a warehouse hall, specifically a double-hinged frame system. The first chapter contains the necessary theoretical background of the selected topic, i.e. structural systems of large-span constructions. The second chapter focuses on the objective of the thesis, and the third chapter provides a brief description of the methodology used. The fourth chapter presents the static design of the structure with loads calculated using static software. The resulting forces from the loads were used to perform static assessments on selected elements, which were assessed for ultimate limit state and ultimate serviceability state.

Keywords: timber load-bearing structure, double-hinged frame, warehouse hall, loads, Eurocode 5, calculation.

Obsah

Zoznam obrázkov	11
Zoznam tabuliek	13
Zoznam skratiek a značiek.....	14
Úvod	16
1. Teoretické spracovanie problematiky	18
1.1. Všeobecne	18
1.2. Nosné systémy hál.....	18
1.3. Rovinné drevené konštrukcie	19
1.3.1. Nosníky.....	20
1.3.1.1. Plnostenné nosníky.....	21
1.3.1.2. Drevené priehradové väzníky	22
1.3.2. Rámy a oblúky	24
1.3.2.1. Trojkĺbové rámy.....	24
1.3.2.2. Dvojkĺbové rámy.....	26
1.3.2.3. Votknuté stojky s kĺbovo pripojenou priečľou.....	27
1.3.2.4. Rámové rohy	27
1.3.2.5. Oblúky.....	29
1.4. Priestorové drevené konštrukcie	30
1.4.1. Plošné priestorové konštrukcie	30
1.4.2. Priehradové priestorové konštrukcie	30
2. Cieľ diplomovej práce.....	31
3. Metodika diplomovej práce	32
4. Statický návrh	33
4.1. Nosná konštrukcia	33
4.2. Zaťaženia.....	34
4.2.1. Stále zaťaženia	34
4.2.2. Zaťaženie snehom.....	35
4.2.3. Zaťaženie vetrom	37
4.2.4. Zaťaženie účinkami vetra trením	44
4.3. Statické posudky	45
4.3.1. Statický posudok stojky	45
4.3.1.1. Vstupné údajové charakteristiky pre výpočet :	45

4.3.1.2.	Posúdenie na ohyb.....	47
4.3.1.3.	Posúdenie na šmyk.....	48
4.3.1.4.	Posúdenie na dvojosí ohyb + vzper.....	50
4.3.2.	Statický posudok priečle.....	53
4.3.2.1.	Vstupné údajové charakteristiky pre výpočet :	53
4.3.2.2.	Posúdenie na ohyb.....	54
4.3.2.3.	Posúdenie na šmyk.....	55
4.3.2.4.	Posúdenie na dvojosí ohyb + vzper.....	56
4.3.2.5.	Posúdenie na klopenie - ohyb (bez tlakovej sily).....	58
4.3.2.6.	Posúdenie na priehyb	60
4.3.3.	Statický posudok väznice.....	61
4.3.3.1.	Vstupné údajové charakteristiky pre výpočet :	61
4.3.3.2.	Posúdenie na ohyb.....	62
4.3.3.3.	Posúdenie na šmyk.....	63
4.3.3.4.	Posúdenie na dvojosí ohyb + vzper.....	64
4.3.3.5.	Posúdenie na klopenie.....	66
4.3.4.	Statický návrh základovej pätky	68
4.3.4.1.	Vstupné údajové charakteristiky pre výpočet :	68
4.3.4.2.	Posúdenie spoja:.....	69
4.3.5.	Statický posudok spoja rámového rohu	71
4.3.5.1.	Vstupné údajové charakteristiky pre výpočet :	71
4.3.6.	Statický posudok zavetrovacieho prútu	75
4.3.6.1.	Vstupné údajové charakteristiky pre výpočet :	75
4.3.6.2.	Posúdenie na ťah:.....	76
5.	Vyhodnotenie návrhu	77
6.	Záver	79
	Bibliografia	80
	Prílohy:	82

Zoznam obrázkov

Obrázok 1 - Typy nosníkov podľa konštrukčného prevedenia.....	20
Obrázok 2 - Typy plnostenných nosníkov	21
Obrázok 3 - Vybraté rôzne typy priehradových prútov	23
Obrázok 4 - Zakreslenie ukotvenia prútov platničkami s prelisovanými hrotmi	24
Obrázok 5 - Statické schémy rozdielných trojkĺbových rámov	25
Obrázok 6 - Statické schémy rozdielných dvojkĺbových rámov	26
Obrázok 7 - Statická schéma prostého nosníka s priebehom momentov	27
Obrázok 8 - Rámové rohy.....	28
Obrázok 9 - Statické schémy oblúkov s priebehom momentov	29
Obrázok 10 - 3D model nosnej konštrukcie skladovej haly	33
Obrázok 11 - Mapa oblastí s charakteristickými hodnotami zaťaženia snehom	35
Obrázok 12 - Symetrické a nesymetrické zaťaženie snehom	36
Obrázok 13 - Mapa s fundamentálnymi hodnotami základnej rýchlosti vetra	37
Obrázok 14 - Graf znázorňujúci závislosť súčiniteľa vystaveniu vetra ($c_e(z)$) od referenčnej výšky ($z(e)h$)	38
Obrázok 15 - Súčinitele vonkajšieho tlaku vetra pre steny 0° a 270°	39
Obrázok 16 - - Súčinitele vonkajšieho tlaku vetra pre steny 90° a 180°	40
Obrázok 17 - Súčinitele vonkajšieho tlaku vetra pre strechu 0° a 270°	41
Obrázok 18 - Súčinitele vonkajšieho tlaku vetra pre strechu 90° a 180°	42
Obrázok 19 - Zaťažovacie stavy vyvolané pôsobením vetra.....	43
Obrázok 20 - Referenčná plocha zaťažovaná účinkami vetra trením.....	44
Obrázok 21 - Prierez stojky	46
Obrázok 22 - Priebeh vnútorných síl v stojke.....	47
Obrázok 23 - Priebeh vnútorných síl stojky	48
Obrázok 24 - Priebeh vnútorných síl stojky	50
Obrázok 25 - Prierez priečle	53
Obrázok 26 - Priebeh vnútorných síl priečle	54
Obrázok 27 - Priebeh vnútorných síl priečle	55

Obrázok 28 - Priebeh vnútorných síl priečle	56
Obrázok 29 - Priebeh vnútorných síl priečle	58
Obrázok 30 - Priebeh priehybu na priečli	60
Obrázok 31 - Prierez väznice	61
Obrázok 32 - Priebeh vnútorných síl väznice	62
Obrázok 33 - Priebeh vnútorných síl väznice	63
Obrázok 34 - Priebeh vnútorných síl väznice	64
Obrázok 35 - Priebeh vnútorných síl väznice	66
Obrázok 36 - Základová pätká so spojovacími prostriedkami	69
Obrázok 37 - Mód zlyhania spojovacích prostriedkov	70
Obrázok 38 - schématický obrázok rohového spoja	73
Obrázok 39 - Prierez ťahadla	75
Obrázok 40 - Priebeh vnútorných síl ťahadla	76
Obrázok 41 - Výsledný 3D model haly v programe RFEM Dlubal	78

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 - Informatívne hodnoty pre navrhovanie nosníkov z LLD (zaťaž. šírka 6m)	22
Tabuľka 2 - - Hodnoty stáleho zaťaženia pôsobiaceho na konštrukciu	34
Tabuľka 3 - Charakteristické hodnoty tlaku vetra pre steny pod 0° a 270°	39
Tabuľka 4 - Charakteristické hodnoty tlaku vetra pre steny pod 90° a 180°	40
Tabuľka 5 - Charakteristické hodnoty tlaku vetra pre strechu 0° a 270°	41
Tabuľka 6 - Charakteristické hodnoty tlaku vetra pre strechu 90° a 180°	42
Tabuľka 7 - Vlastnosti materiálu podľa STN EN 14081	45
Tabuľka 8 - Medzné hodnoty priehybov nosníkov	60
Tabuľka 9 - Efektívna dĺžka pre stanovenie kritického ohybového momentu	67
Tabuľka 10 - Vlastností materiálových charakteristík pre oceľ S275	71
Tabuľka 11 - Vlastností materiálových charakteristík pre oceľ S355	75

Zoznam skratiek a značiek

A -	Plocha prierezu	$f_{m,d}$ -	Návrhová pevnosť v ohybe
A_{ef} -	Efektívna plocha prierezu	$f_{m,k}$ -	Charakteristická pevnosť v ohybe
C_e -	Súčiniteľ expozície	$f_{r,d}$ -	Návrhová pevnosť vo valivom šmyku
$C_e(z)$ -	Súčiniteľ vystaveniu vetra	$f_{r,k}$ -	Charakteristická pevnosť vo valivom šmyku
C_t -	Tepelný súčiniteľ	$f_{u,k}$ -	Pevnosť kolíka v ťahu
C_{dir} -	Súčiniteľ smeru	k_{shape} -	Súčiniteľ závislý na tvare prierezu
C_{season} -	Súčiniteľ sezónnosti	$f_{t,0,g,d}$ -	Návrhová pevnosť v ťahu v smere vlákien
$E_{0,g,mean}$ -	Modul pružnosti rovnobežne s vláknami, priemerná hodnota	$f_{t,0,g,k}$ -	Charakteristická pevnosť v ťahu v smere vlákien
$E_{0,g,05}$ -	Modul pružnosti rovnobežne s vláknami, charakteristická hodnota	$f_{t,90,g,d}$ -	Návrhová pevnosť v ťahu v smere kolmo na vlákna
$E_{90,g,mean}$ -	Modul pružnosti kolmo na vlákna, priemerná hodnota	$f_{t,90,g,k}$ -	Charakteristická pevnosť v ťahu v smere kolmo na vlákna
$E_{90,g,05}$ -	Modul pružnosti kolmo na vlákna, charakteristická hodnota	$f_{v,d}$ -	Návrhová pevnosť v šmyku
$G_{0,g,mean}$ -	Modul pružnosti v šmyku, priemerná hodnota	$f_{v,k}$ -	Charakteristická pevnosť v šmyku
$G_{0,g,05}$ -	Modul pružnosti v šmyku, charakteristická hodnota	$F_{v,Rk}$ -	Charakteristická pevnosť kolíka v strihu
$f_{c,0,g,d}$ -	Návrhová pevnosť v tlaku v smere vlákien	$F_{v,Rd}$ -	Návrhová pevnosť kolíka v strihu
$f_{c,0,g,k}$ -	Charakteristická pevnosť v tlaku v smere vlákien	i -	Polomer zotrvačnosti
$f_{c,90,g,d}$ -	Návrhová pevnosť v tlaku v smere kolmo na vlákna	I -	Moment zotrvačnosti
$f_{c,90,g,k}$ -	Charakteristická pevnosť v tlaku v smere kolmo na vlákna	k_c -	Vzperný súčiniteľ
$f_{h,k}$ -	Pevnosť stien otvorov		

k_{cr} -	Súčiniteľ vplyvu trhlín	W -	Prierezový modul
k_{crit} -	Súčiniteľ klopenia	$z_{(e)h}$ -	Referenčná výška
k_{def} -	Deformačný faktor	β_c -	Súčiniteľ priamosti
k_h -	Súčiniteľ výšky	γ_M -	Parciálny súčiniteľ
k_m -	Rozdeľovací súčiniteľ	η -	Výsledok posudku
k_{mod} -	Modifikačný faktor	λ -	Pomerná štíhlosť
k_y -	Súčiniteľ nestability	λ_{rel} -	Relatívna štíhlosť
L_{cr} -	Efektívna dĺžka	ρ -	Hustota materiálu
M_{crit} -	Kritický ohybový moment	$\sigma_{c,0,d}$ -	Návrhové tlakové napätie
M_{Ed} -	Návrhový ohybový moment	σ_{crit} -	Kritické vzperné napätie
$M_{y,Rk}$ -	Plastický moment kolíka	$\sigma_{m,d}$ -	Návrhové ohybové napätie
N_{Ed} -	Návrhová normálová sila	$\sigma_{m,crit}$ -	Kritické ohybové napätie
N_{pl} -	Charakteristická plastická osová únosnosť	τ_{xz} -	Šmykové napätie
$N_{pl,Rd}$ -	Návrhová plastická osová únosnosť	$\tau_{xz,d}$ -	Návrhové šmykové napätie
q_b -	Základný tlak vetra		
$q_p(z_e)$ -	Tlak vetra vo výške z_e		
$R_{N,d}$ -	Odolnosť spoja		
s_k -	Zaťaženie snehom na pôdorysnú plochu		
V_{Ed} -	Návrhová šmyková sila		
v_b -	Základná rýchlosť vetra		
w_{inst} -	Okamžitý priehyb		
$w_{ins,lim}$ -	Limitný okamžitý priehyb		

Úvod

Drevo ako prírodný a obnoviteľný materiál sa používa na stavebné účely od počiatku existencie ľudstva. To je zapríčinené najmä množstvom výhodných vlastností ako: vysoká pevnosť k samotnej hmotnosti, jednoduché opracovanie a spájanie, vysoká dostupnosť, príjemné estetické vlastnosti, nezaťažovanie životného prostredia a iné. Avšak nevhodné použitie dreva v konštrukcii môže spôsobiť problémy: vykazuje značnú premenlivosť fyzikálnych vlastností, ktoré sú úzko prepojené s dobou zaťaženia a obsahom vlhkosti v dreve. [1]

Ľudstvo tieto vlastnosti postupne odhaľovalo a na prelome 19. a 20. storočia zažilo drevo svoj najväčší rozmach. Začali sa vymýšľať nové materiály, spôsoby spracovania, spájania, lepenia a opracovania. Toto otvorilo drevu dvere do konštrukcií ako plnohodnotný konštrukčný materiál.

Prvotné primitívne prístrešky vystriedali zrubové a hrázené stavby, ktoré sa prostredníctvom zdokonaľovania konštrukcií a úspory materiálu pretransformovali na stĺpikové a rámové konštrukčné systémy. Rozmach v drevostavbách sme mohli pozorovať taktiež pri rôznych veľkorozponových konštrukciách. Na takéto konštrukcie sa spravidla využíva lepené lamelové drevo, v praxi známe ako BSH z nemeckého „brettschnittholz“, ktoré sa vyznačuje možnosťou výroby veľkých prierezov a lepšími mechanickými vlastnosťami oproti masívnemu drevu.

V dobe písania tejto práce sa do povedomia verejnosti čoraz viac dostáva pojem ako „zelená stavba“, ktorý reprezentuje architektúru s ohľaduplnosťou k životnému prostrediu. V hlbšej terminológii to znamená sledovanie celkovej uhlíkovej stopy danej stavby a množstvo potrebnej energie na vykurovanie. Poctivo a kvalitne postavané drevostavby vykazujú v tomto smere výborné výsledky. Drevo sa vyznačuje vlastnosťou viazania uhlíka z atmosféry počas svojho rastu do svojej štruktúry. Tento fakt výrazne dopomáha k výslednej uhlíkovej stope drevostavieb. Drevo môžeme taktiež definovať ako izolant. Dnes dokážeme vytvoriť z dreva izolačné materiály (drevovláknité izolácie), ktoré vysoko prečnievajú nad konkurenčnými materiálmi najmä v oblasti fázového posunu a prestupu tepla. Kombinácia použitia dreva ako nosného systému a drevovláknitej izolácie

na zateplenie budovy je dnes jednou z najobľúbenejších možností pre tvorbu zelenej stavby s pasívnym štandardom.

V diplomovej práci bude spracovaný návrh nosnej konštrukcie skladovej haly spolu s administratívnou budovou. Pôvodný architektonický návrh projektu, bol navrhnutý ako betónová konštrukcia. Bola snaha o maximálne dodržanie pôvodných rozmerov komplexu, avšak pre zjednodušenie budúcej možnej montáže boli tieto rozmery jemne pozmenené najmä pre administratívnu časť. Po konzultácii s investorom sme sa rozhodli pre realizáciu drevostavby.

1. Teoretické spracovanie problematiky

1.1. Všeobecne

V dnešnej dobe sa drevo používa veľmi všestranne. Nájdeme ho v predmetoch dennej potreby, v nábytku, v umení ale taktiež v rôznych formách ako stavebný materiál. Pri posudzovaní stavebných materiálov sa čoraz viac presadzuje komplexný prístup, do ktorého spadá disponibilnosť, fyzikálne, mechanické a technologické vlastnosti, ovplyvňovanie životného prostredia, ekonomické aspekty, atď. Pokiaľ by sme drevo porovnávali s inými materiálmi podľa komplexného prístupu, asi by sme mu ťažko našli konkurenciu.

Na území Slovenskej a Českej republiky majú drevené stavebné konštrukcie bohatú tradíciu. To dokazuje vysoký počet dochovaných historických objektov na relatívne malom území ako sú tieto dve krajiny. Realizácia konštrukčných detailov v týchto budovách je aj pre súčasné drevené konštrukcie tesárskou školou. [3]

Bohužiaľ povojnový systém hodnôt vtedajšom Československu viedol k celkovej degradácii stáročia pestovaného stavebného umenia. Stavebné prvky a znaky charakteristické pre špecifický región sa vytratili a nahradili ich jednotvárne silikátové konštrukcie podporované vtedajším socialistickým režimom. Dnes je situácia v oblasti individuálnej bytovej výstavby podstatne odlišná. Európsky trend západných krajín je zvyšovanie počtu výstavby drevostavieb s podporou vládnych programov. Slovensko sa nemôže porovnávať s množstvom výstavby budov na báze dreva so západnými krajinami Európy, Škandináviou alebo Amerikou. Pozitívnu správou je, že tento počet každoročne narastá.

1.2. Nosné systémy hál

Skladba nosného systému halových objektov musí zaistiť bezpečnosť a užívateľnosť ekonomickým využitím vhodných stavebných materiálov.

Spravidla sa jedná o prízemné budovy s jedným podlažím, ktoré sú určené na rôzne využitie. Takéto objekty sa najčastejšie klasifikujú do kategórie halových stavieb. Od priemyselnej prevádzky, skladovania, laboratórií, výstav, športu až po garáže. Preto tieto budovy musia spĺňať rôzne požiadavky v závislosti od využitia objektu. Môže sa jednáť o zaistenie ochrannej funkcie technológie výroby alebo skladovaných materiálov, vhodné

tepelno-izolačné vlastnosti, akustické kritéria, osvetlenie, atď. Mnohé požiadavky priamo vychádzajú zo správneho architektonického riešenia budovy. Dnes je trendom stavanie tzv. „univerzálnych budov“, ktoré pri zmene vlastníka, technologického postupu, využitia si nevyžadujú rozsiahle stavebné úpravy.

V praxi sa často stretávame s tým, že na dosiahnutie potrebných rozmerov objektu je nutné stavbu vnútorne rozdeliť. Toto sa vykonáva pridaním potrebného počtu nosných rovnobežných stĺpov, ktoré nám prerozdedia halu na lode. Haly preto vieme rozdeliť podľa viacerých základných charakteristík:

Z hľadiska projekčnej a výrobnéj náročnosti:

- haly štandardné (hromadne vyrábané),
- haly na objednávku.

Podľa konštrukcie:

- robustné haly (so žeriavom),
- ľahké haly (bez žeriavu).

Podľa usporiadania:

- jednolod'ové,
- viaclod'ové s rovnobežnými loďami,
- viaclod'ové s kolmými loďami [16]

1.3. Rovinné drevené konštrukcie

Pod pojmom „rovinné konštrukcie“ rozumieme konštrukcie, ktoré sú schopné prenášať len také zaťaženia, ktoré pôsobia v ich rovine. V prípade zaťaženia, ktoré pôsobí kolmo na rovinu, musí byť toto zaťaženie prenesené do základov za pomoci stužidiel (zavetrenia) konštrukcie. [2]

Medzi najpoužívanejšie drevené rovinné sústavy patria priehradové sústavy, nosníky a oblúky. Drevené priehradové väzníky sa vyznačujú oproti nosníkom a oblúkom svojimi špecifikami, týkajúce sa najmä dimenzovania prierezov a návrhu spojov. [1]

1.3.1. Nosníky

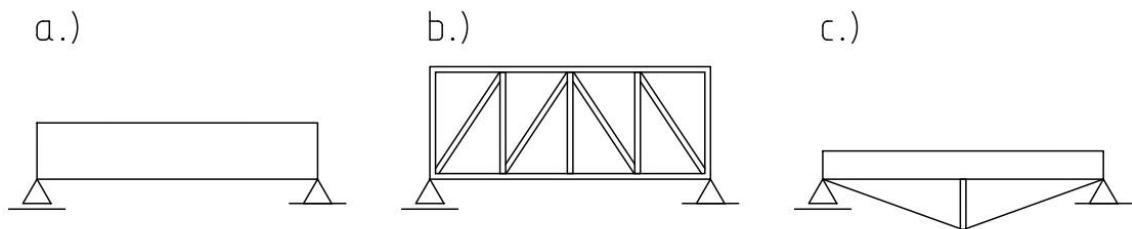
Nosníky predstavujú najjednoduchší a najpoužívanejší typ rovinatej drevenej konštrukcie. Vieme ich rozdeliť podľa niekoľkých základných kritérií :

Zo statického a geometrického hľadiska rozdeľujeme nosníky:

- Prosté
- Spojité
- Lomené
- Zakrivené

Podľa konštrukčného prevedenia:

- Plnostenné
- Priehradové
- Špeciálne



Obrázok 1 - Typy nosníkov podľa konštrukčného prevedenia, a.) - plnostenné, b.) - priehradové, c.) – špeciálne

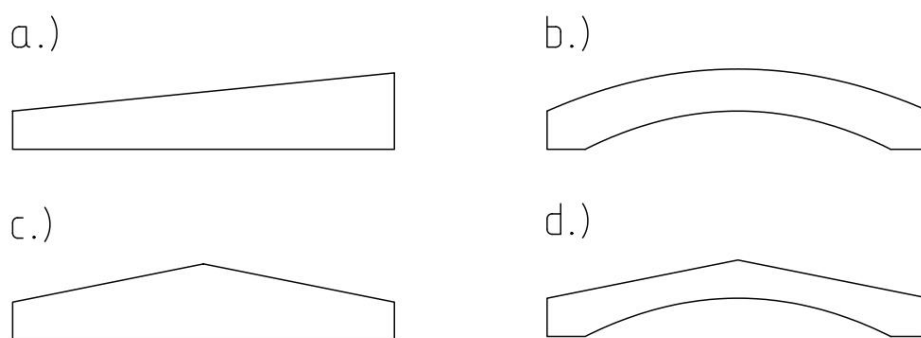
Zdroj: vlastné spracovanie

Nosníky sú horizontálne nosné konštrukcie, ktoré sa ukladajú na vertikálne nosné konštrukčné prvky (stĺpy, steny). Vzniknutú konštrukciu je potrebné priestorovo spevniť prostredníctvom stužidiel (zavetrovacích prvkov). Problematikou priestorovej tuhosti sa musíme zaoberať ako v priečnom, tak aj v pozdĺžnom smere. [2]

1.3.1.1. Plnostenné nosníky

Rozoznávame viacero typov plnostenných nosníkov, ktoré môžu byť vyhotovené z rôznych materiálov. Najčastejšie sa pri drevených nosníkoch stretávame s nosníkmi z masívneho dreva, z lepeného lamelového dreva alebo s nosníkmi zloženého prierezu. V snahe maximálne využiť vhodné vlastnosti materiálov sa skúša aj armovanie nosníkov oceľou, alebo inými materiálmi s väčšou ťahovou únosnosťou ako drevo. Problém je dostatočné spojenie medzi drevom a výstužou. Pre steny nosníkov zložených prierezov je vhodný materiál stavebná vodovzdorná preglejka, OSB. [4][17]

Staticky sa plnostenné drevené nosníky navrhujú ako prosté, spojité, spojité kĺbové, zakrivené alebo lomené. Pri drevených nosníkoch dochádza vplyvom reológie materiálu k zväčšeniu prihybu nosníku vplyvom času a pôsobením zaťaženia. Preto sa odporúča vyrábať nosníky, pokiaľ je to možné, s navýšením $1/300$ rozpätia. V niektorých prípadoch vieme nosníky zhotoviť ako vyklenuté. Pri navýšených alebo vyklenutých plnostenných nosníkoch nám vznikajú prídavné namáhania, tzv. radiálne napätia, ktoré pôsobia naprieč nosníkom a majú tendenciu ho roztrhnúť. [2]

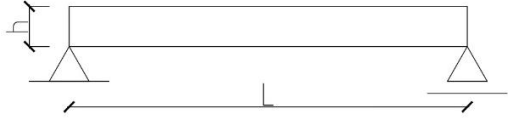
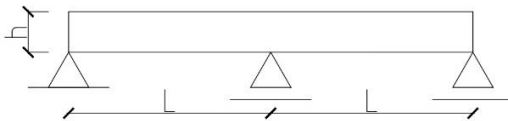
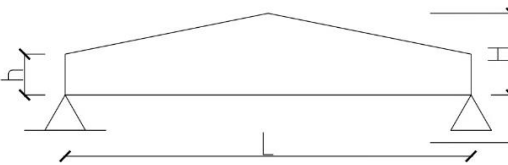
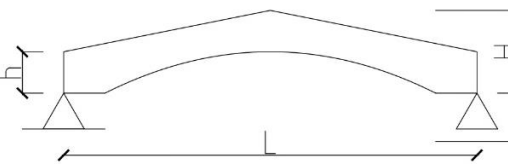
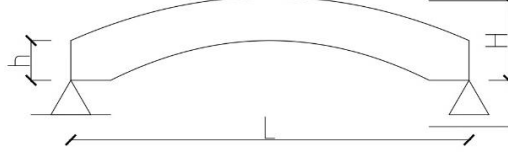


Obrázok 2 - Typy plnostenných nosníkov, a.) pultový, b.) zakrivený, c.) sedlový, d.) vyklenutý

Zdroj: vlastné spracovanie

Doporučené rozpätia lepených nosníkov je v tabuľke č.1 . Pre väčšie rozpätia sa stáva konštrukcia neekonomická.

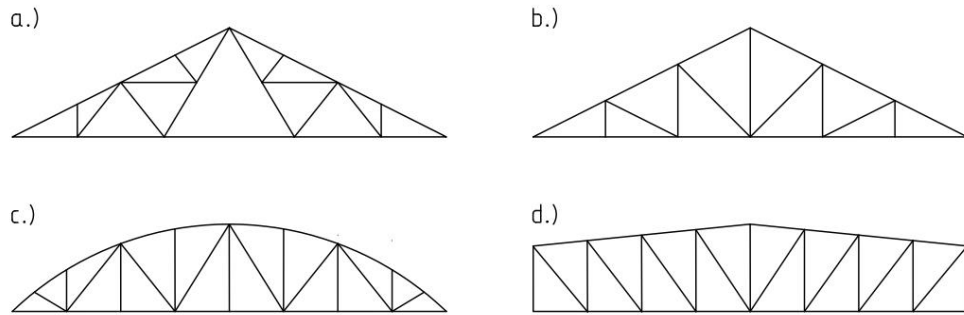
Tabuľka 1 - Informatívne hodnoty pre navrhovanie nosníkov z LLD (zaťaž. šírka 6m)

Typ nosníka	Doporučené rozpätie [m]	Výška
	12-25 (30)	$h = L/17$
	12-20	$h = L/20$
	12-25 (35)	$H = L/16$ $h = L/30$
	12-30 (35)	$H = L/16$ $h = L/30$
	12-30 (35)	$H = L/16$ $h = L/30$

Zdroj: vlastné spracovanie

1.3.1.2. Drevené priehradové väzníky

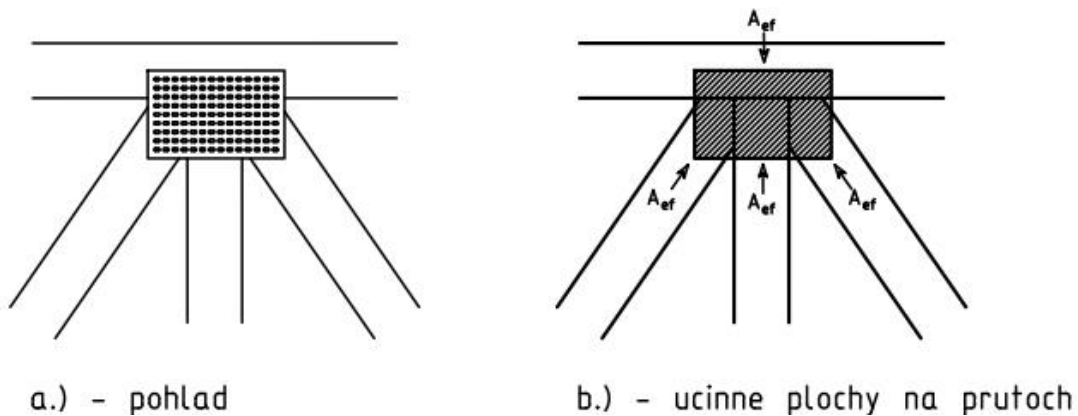
Drevené priehradové väzníky sa v staveiteľstve používajú s obľubou dlhé desaťročia kvôli úspore materiálu, jednoduchosti výroby a nižšej hmotnosti oproti plnostenným nosníkom. Používajú sa v konštrukciách mostov, vo veľkorozponových konštrukciách alebo v prestrešeniach hál a rodinných domov. [1]



Obrázok 3 - Vybraté rôzne typy priehradových prútov (existuje veľmi veľké množstvo rôznych variantov)

Zdroj: *vlastné spracovanie*

Priehradové väzníky sa navrhujú ako priestorové alebo rovinné prútové sústavy rôzneho tvaru podľa zaťaženia, účelu použitia a možnosti prevedenia styčníc. Väzníky sú zhotovované tak, aby boli súčasťou najmenej jedného trojuholníka, ktorý je vyhotovený z troch prútov. Jednotlivé prúty vo väzníku delíme na vonkajšie (horný a dolný pás) a vnútorné (medzipásové). Charakteristickou vlastnosťou je ich relatívne veľká konštrukčná výška a zložitosť vyhotovenia spojov v styčníkoch. Pri zisťovaní osových síl, momentov a priehybu sa dôraz kladie na správnu voľbu statického modelu. Klasické priehradové konštrukcie predpokladajú, že zaťaženie sa nachádza len v styčníkoch (uzloch), a že osi prútov sa pretínajú v styčníkoch a pripojenia sú klbové. V skutočnej konštrukcii sa tieto predpoklady líšia od reality, preto sa priehradové konštrukcie staticky uvažujú ako rámy. Moderné výpočtové a modelovacie softwary nám dovoľujú presne modelovať reálne chovanie sústavy (napr. priebežnosť alebo nepriebežnosť pásov a excentricita v styčníkoch). Rozoznávame rôzne prevedenia spojov v styčníkoch. Môže sa jednať o spoje prostredníctvom lepenia alebo mechanických spojovacích prostriedkov – klincované, svorníkové, platne s prelisovanými hrotmi (tzv. „gang-nail platničky“). V dnešnej dobe sa drevené priehradové väzníky najčastejšie konštruujú so spojmi z gang-nail platničkami. Takéto platničky je potrebné do väzníka zalisovať, nie je dovolené ich zarážať kladivom. [2][4]



Obrázok 4 - Schematické zakreslenie ukotvenia prútov platničkami s prelisovanými hrotmi
Zdroj: vlastné spracovanie

1.3.2. Rámy a oblúky

Rámové konštrukcie sú zjeme najstarším typom nosných konštrukcií s použitím dreva ako nosného materiálu. Dnes sa rámy a oblúky používajú najmä pre zastrešenie stredných a veľkých rozpätí (20-100 m). Obzvlášť oblúky sú výhodné pre veľké rozpätia. Ich geometrický tvar má priaznivý vplyv na napätosť v priereze. Rámy a oblúky drevených konštrukcií sa vyhotovujú najčastejšie ako trojkĺbové (staticky určité) alebo ako dvojkĺbové (1x staticky neurčité) s použitím lepeného lamelového dreva. Konštrukčné detaily rámov a oblúkov sú podobné. Pri návrhu treba venovať zvlášť pozornosť (rohovým) spojom priečle a stojky. Samotný spoj sa dá realizovať dvoma spôsobmi – staticko-konštrukčným a materiálovo-technickým.

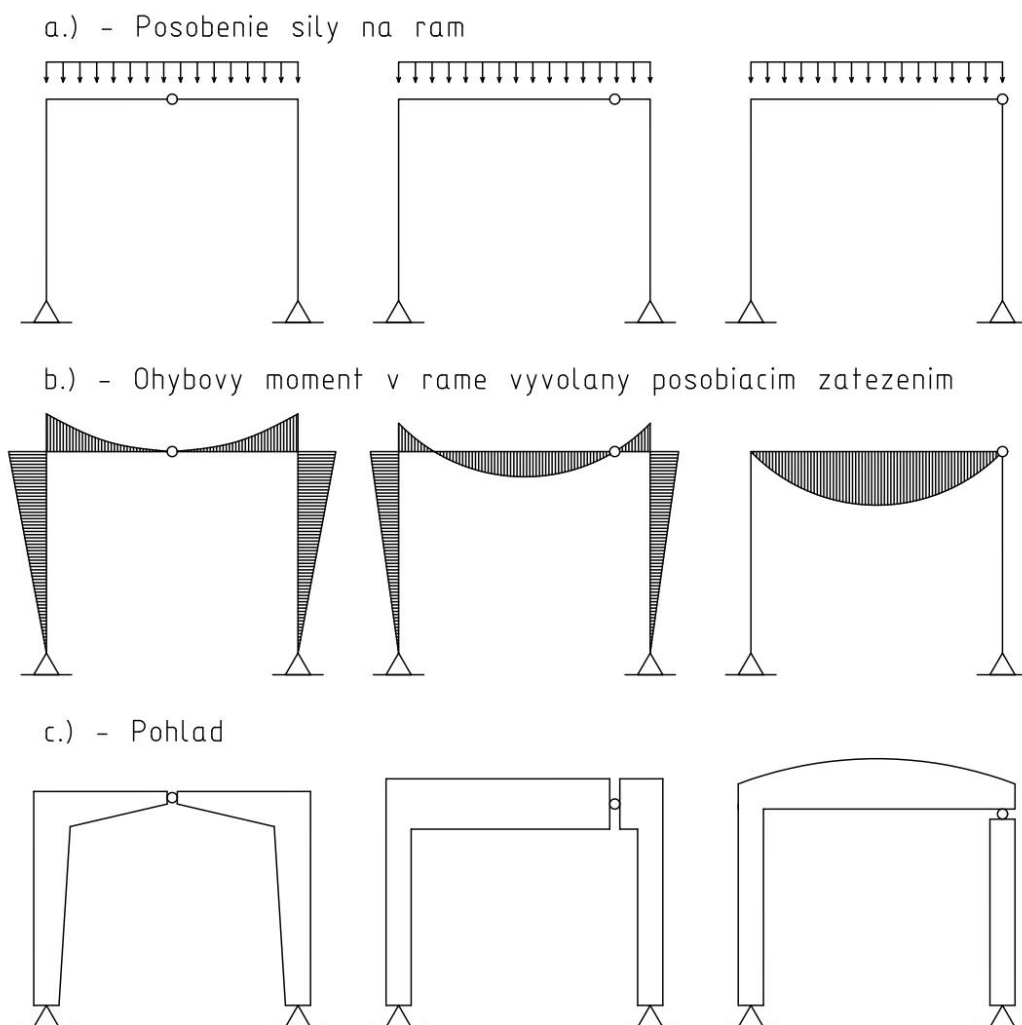
Prvý variant pozostáva zo zhotovenia stojky, ktorá je schopná prenášať ťahové a aj tlakové sily. V druhom variante je medzi stojkou a priečlou vytvorený tuhý rámový roh, prípadne je prút v rohu zakrivený a v oblúku prechádza zo stojky do priečle. Pri návrhu rámu sa navrhujú jednak prierezy a jednak spojovacie prostriedky. [1][4]

1.3.2.1. Trojkĺbové rámy

Tento typ rámu patrí medzi jedny z najrozšírenejších konštrukčných variantov. Systém je vyhotovený z dvoch kusov, čo je veľmi výhodné najmä z logistických, výrobných a montážnych dôvodov. V statickej schéme je vrcholový spoj a kotvenie navrhnuté ako kĺby, čo zodpovedá realizácii a opisuje reálne správanie konštrukcie. Vrcholný kĺb zabezpečuje nulový ohybový moment, čo vedie k redukcii potrebných prierezov konštrukčných prvkov. Najväčší ohybový moment sa nachádza v rámovom rohu, a preto treba pri navrhovaní dbať

na zvýšenú pozornosť práve v tejto časti konštrukcie. Trojkľbové rámy je možné použiť pre objekty s rozponom 15 až 40m. [4][6]

V závislosti od samotného rozpätia konštrukcie sa stretávame s rôznymi spôsobmi prevedenia vrcholového spoja. Pre väčšie rozpätia sa spoj realizuje pomocou kovových prvkov, ktoré umožňujú pootočeniu a tým sa najviac približujú predpokladom zo statickej schémy. Pre menšie rozpätia a tým aj menšie pootočená v uzle sa môže spoj vyhotoviť s kovovými príložkami a svorníkmi.[4][5]

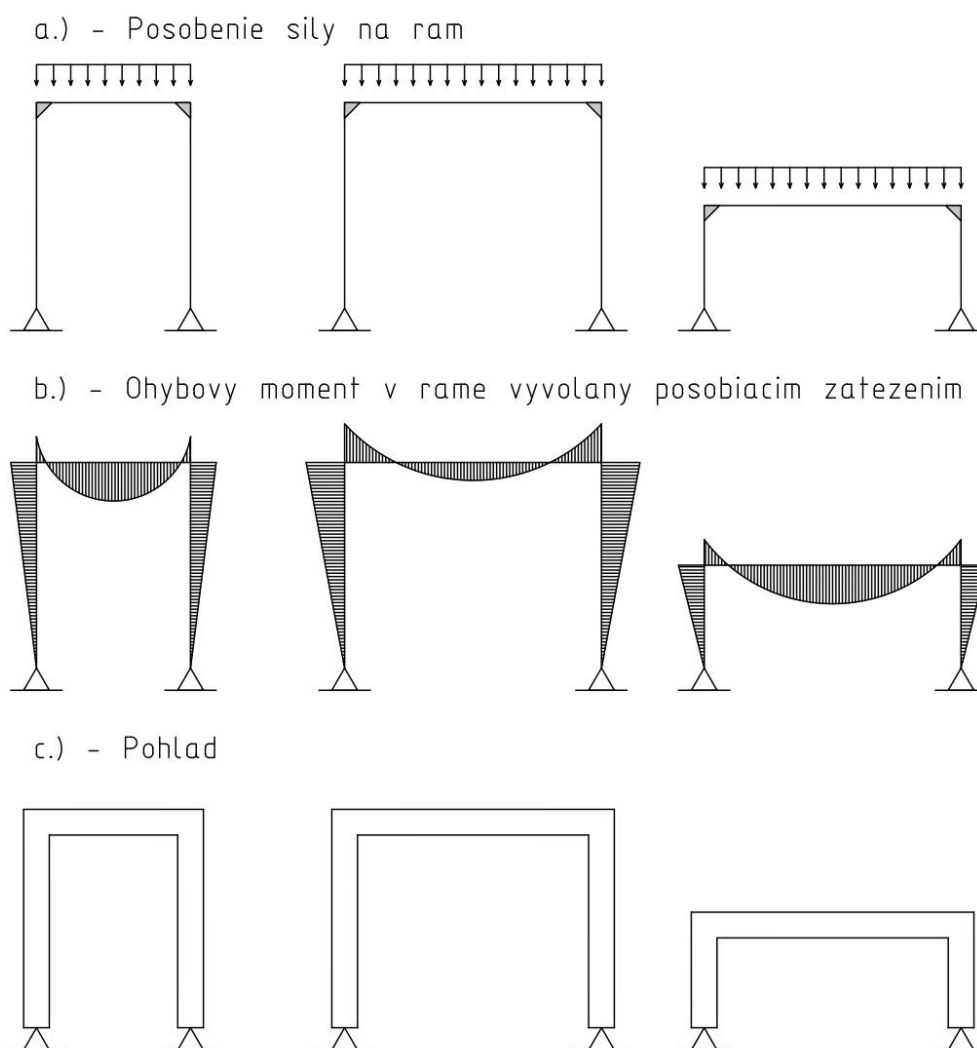


Obrázok 5 - Statické schémy rozdielnych trojkľbových rámov

Zdroj: vlastné spracovanie

1.3.2.2. Dvojkĺbové rámy

Dvojkĺbové rámy sú oproti trojkĺbovým rámom staticky výhodnejšie. Navrhujú sa ako jeden celok, ktorý je kĺbovo uložený k základom. Z praktických dôvodov (logistika) sa dvojkĺbové rámy zostavujú na stavenisku, čo so sebou prináša zvýšené nároky na zvládnutie technológie a konštrukcie spoja. Rohové spoje je možné vyhotoviť najčastejšie lepením alebo so sústavou kolíkov. Vo všeobecnosti sú dvojkĺbové rámy oproti trojkĺbovým rámom náročnejšie na prepravu a výrobu. Najväčší ohybový moment je v rámovom rohu alebo na priečli, čo je ovplyvnené geometriou rámu, typom zaťaženia a tuhosťami prvkov. Štandardne sa dvojkĺbové rámy navrhujú do rozponu od 10m do 30m. Výhodou je menšia citlivosť konštrukcie na deformácie spôsobené dôsledkom sadania stavby. [4][5][6]

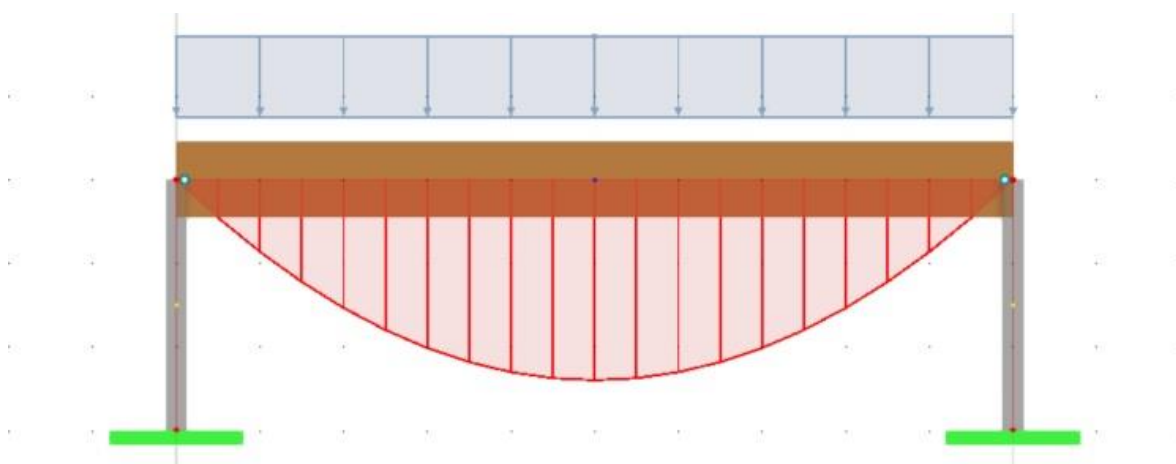


Obrázok 6 - Statické schémy rozdielnych dvojkĺbových rámov
Zdroj: vlastné spracovanie

1.3.2.3. Votknuté stojky s kĺbovo pripojenou priečľou

Konštrukčný systém, ktorý je taktiež relatívne často používaný ale neradí sa medzi rámy. Používa sa najmä pri veľkých rozpätiach. V praxi to znamená, že sa jedná o sústavu dvoch stĺpov votknutých do základov, na ktorých je kĺbovo uložená priečľa reprezentujúca rôzne typy väzník. Takýto konštrukčný systém vedie k nárastu ohybového momentu na priečli, lebo staticky sa správa ako prostý

Z tohto dôvodu je často nutné použiť veľké rozmery prvkov, čo vedie k problémom spojených s dopravou, výrobou a montážou. [6]
Oblúbenou variantov tohto systému je hybridná konštrukcia, kedy stĺpy sú zhotovené z betónových prefabrikátov alebo ocele a priečľa z lepeného lamelového dreva.

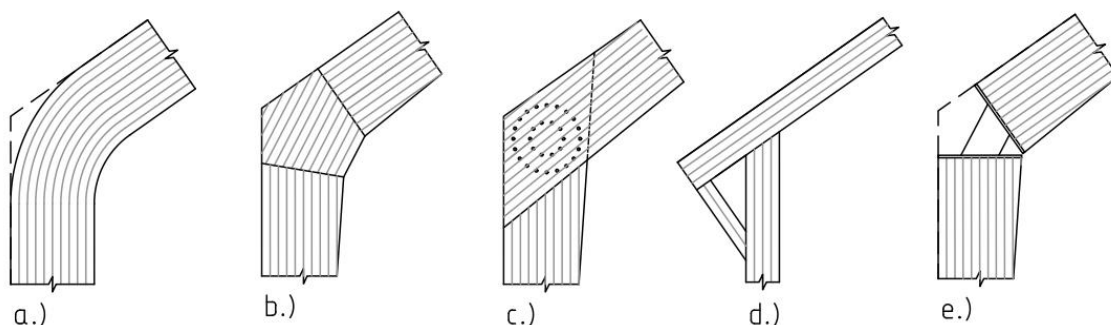


Obrázok 7 - Statická schéma prostého nosníka s priebehom momentov
Zdroj: vlastné spracovanie

1.3.2.4. Rámové rohy

Najzávažnejší problém pri drevenej konštrukcii rámu je vytvorenie styku medzi rámovou stojkou a rámovou priečľou v mieste rámového rohu. Pri navrhovaní sa stretávame s viacerými druhmi prevedenia rámového rohového spoja:

- Rám so zaoblením v rámovom rohu
- Lepený rámový roh
- Rámový roh so sústavou kolíkov
- Rámový roh s tiahľom alebo vzperou
- Rám s kovovými prvkami v rámovom rohu



Obrázok 8 - Rámové rohy, a.) so zaoblením v rámovom rohu, b.) lepený rámový roh, c.) roh so sústavou kolíkov, d.) roh s tiahlom, e.) roh s kovovým prvkom

Zdroj: vlastné spracovanie

Rám so zaoblením v rámovom rohu

Často sa vyskytuje pri konštrukcii trojkĺbového rámu. Rohový spoj sa vyrába z lepeného lamelového dreva a pri dimenzovaní sa musí zohľadniť vplyv zakrivenia. V zakrivenej časti vznikajú ťahové napätia kolmo na vlákna, ktoré znižujú ohybovú pevnosť a môžu spôsobiť porušenie nosníka. Pri väčších rozpätiach sa takýto typ rámu vyhotovuje s premenlivým prierezom, aby sa ušetrila drevná hmota. [2][4][5]

Lepený rámový roh

Vyhotovenie rámového rohu stojky a priečle sa realizuje lepeným klinovým spojom. Spojenie môže byť priame, alebo cez vložený segment. Do stojky a do priečle (prípadne do sekundárneho segmentu) sa vyfrézuje zazubenie presne cez celú výšku prierezu prvku a následne sa spolu zlepia. Je potrebné používať vodné lepidlo a dodržať minimálnu teplotu prostredia počas vyhotovovania spoja. Klinový spoj (hĺbka približne 50mm) sa obvykle vyhotovuje vo výrobe, lepidlo sa nanáša a lisuje väčšinou priamo na stavbe. [2][4][5]

Rámový roh so sústavou kolíkov

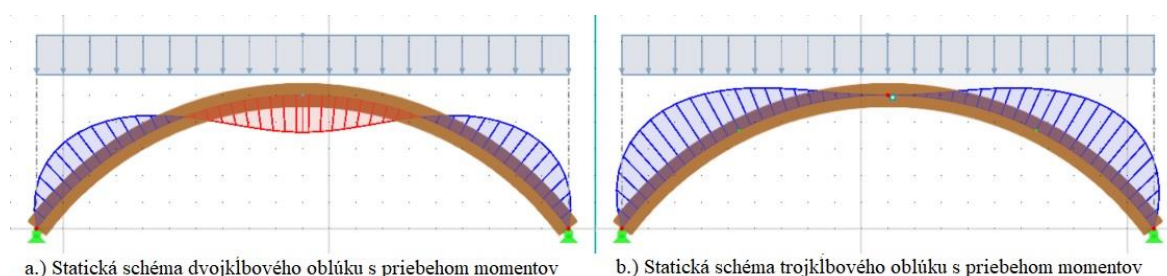
Spoj sa často zhotovuje prostredníctvom sústavy svorníkov alebo sústavy kolíkov priamo na stavenisku v bežných podmienkach. Odporúča sa usporiadanie do kruhu. Kolíky môžu byť rozmiestnené vo viacerých kružniciach, pričom treba dbať ohľad na minimálne vzdialenosti medzi jednotlivými kolíkmi. Kolíky, ktoré sa nachádzajú vo vnútorných kruhoch, môžu mať menší priemer ako kolíky vonkajšieho kruhu, lebo na kolíky pôsobí menšie zaťaženie (ohybový moment). [2][4][5]

Rámový roh s tiahom alebo vzperou

Využíva sa pri trojkĺbovom ráme, pokiaľ sú priečle a stojky rámu priame prvky. Problém v rámovom rohu sa potom rieši vložением vzpery alebo tiahla do konštrukcie rámu. Nevýhodou je, že vzpera uberá z vnútorného priestoru a tiahlo naopak presahuje cez obrys objektu. Tiahlo je možné vyhotoviť z ocele alebo dreva, pričom treba dbať na triedu použitia a patrične namáhaný prvok ochrániť pred poveternostnými vplyvmi. Vzpera je drevená. [2][4][5]

1.3.2.5. Oblúky

Oblúky sa konštruujú ako celostenové alebo priehradové konštrukcie. Po statickej stránke sa navrhujú ako trojkĺbové alebo dvojkĺbové, pričom strednica oblúka je najčastejšie kružnica alebo parabola. V praxi sa najčastejšie stretávame s trojkĺbovým variantom. Dvojkĺbové oblúky sa napájajú v tretinových dĺžkach kovovými príložkami a mechanickými spojovacími prostriedkami, čo so sebou prináša problém s posunutím v tomto spoji, ktorý nie je ideálne tuhý. V dnešnej dobe dominuje ako materiál lepené lamelové drevo. Oblúky sa často navrhujú s tiahom, avšak dnes sa väčšia pozornosť venuje oblúkovým konštrukciám bez tiahla. Ťahadlo slúži na zachytávanie horizontálnych účinkov zo zvislých zaťažení, čo priaznivo vplyva na veľkosť základovej pätky. Oblúky sa bežne navrhujú do rozpätia 60m. Po prekročení tejto hranice sa má postupovať podľa teórie II. rádu (nelineárny výpočet). [2][4][5]



Obrázok 9 – Statické schémy oblúkov s priebehom momentov

Zdroj: vlastné spracovanie

1.4. Priestorové drevené konštrukcie

Priestorové drevené konštrukcie sú konštruované tak, že v priestore pôsobia ako jeden celok a každý jeden prvok sa podieľa na prenose zaťaženia. Takáto konštrukcia je schopná preniesť do základov zaťaženia bez použitia pomocných a stabilizačných prvkov. V porovnaní s rovinnými konštrukciami sú priestorové z bezpečnostného hľadiska výhodnejšie, lebo pri kolapse jedného prvku sú ostatné prvky schopné preniesť jeho zaťaženie a tým predísť k deštrukcii celého systému. Základné delenie priestorových konštrukcií je na priehradové a plošné konštrukcie. [2][4]

1.4.1. Plošné priestorové konštrukcie

Plošné priestorové konštrukcie vznikajú predovšetkým vrstvením reziva krížom cez seba vo dvoch alebo vo viacerých vrstvách. Samotné vrstvy sa vzájomne spájajú mechanickými spojovacími prostriedkami alebo lepením. Pritom samotná hrúbka konštrukcie je v porovnaní s dĺžkou a šírkou zanedbateľne malá. Vytvorené konštrukcie majú často valcový, rotačný, hyperbolicko-parabolický, elipticko-parabolický alebo iný tvar. [2][4]

1.4.2. Priehradové priestorové konštrukcie

Konštrukcie sú zostavené z jednotlivých prútov spojených v priestorových styčníkoch. Najznámejšie sú priehradové kopule a klenby. Veľmi obľúbenou, hospodárnou a na montáž relatívne jednoduchou strešnou konštrukciou je lamelová klenba. Najčastejšie sa lamelové klenby zhotovujú ako valcové nosné plochy, ktoré zaťažujú predovšetkým pomúrnicou. [2]

2. Cieľ diplomovej práce

Cieľom diplomovej práce bolo navrhnúť celodrevenú nosnú konštrukciu skladovej haly. Návrh a architektonický vzhl'ad vychádza z dokumentácie betónovej stavby s obdobným zameraním. Ku skladovej hale je pripojená administratívna časť, ktorá bola taktiež premodelovaná na drevostavbu stĺpikovej konštrukcie s masívnymi stropmi z CLT panelov. Hala je navrhnutá ako dvojkl'bový rám, ktorý zo statického hľadiska vychádzal najpriaznivejšie. Návrh nosnej konštrukcie bol vyhotovený podľa technickej normy STN EN 1995-1-1+A1. Eurokód 5: Navrhovanie drevených konštrukcií. Na celkové vyhotovenie cieľa, bolo potrebné si stanoviť čiastkové ciele, ktoré bolo treba naplniť:

- Voľba vhodnej nosnej konštrukcie skladovej haly
- Vhodný výber materiálov
- Namodelovanie objektu v statickom program Dlubal RFEM 6
- Výpočet a vyhodnotenie statických posudkov
- Vypracovanie výkresovej dokumentácie

Tieto čiastkové ciele dopomohli k naplneniu hlavného cieľa diplomovej práce. Vo štvrtej kapitole sa nachádza postup so statickými posúdeniami nosnej konštrukcie skladovej haly. Následne je v piatej kapitole zhodnotenie návrhu vychádzajúceho z posúdení jednotlivých prvok na medzný stav únosnosti a medzný stav použiteľnosti.

3. Metodika diplomovej práce

Jednou z hlavných úloh na naplnenie cieľa diplomovej práce je podrobné naštudovanie problematiky. Jednotlivé získané poznatky a informácie bolo ďalej potrebné preniesť do teoretického rozboru, ako sa nachádza v prvej kapitole. Medzi potrebné poznatky patria predovšetkým informácie o drevených konštrukciách, ktoré nám dovoľujú preklenúť veľké rozpätia.

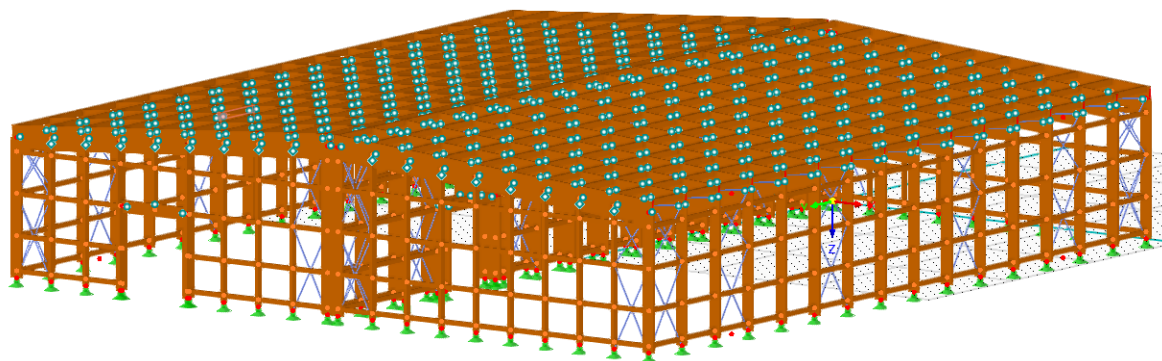
Po naštudovaní potrebnej teórie, nasledoval výber samotného objektu. Ako je spomínané v druhej kapitole, jedná sa skladovú halu, ktorá vychádza z existujúcej výkresovej dokumentácie. Následne bolo potrebné si zvoliť správny staticko-konštrukčný systém objektu. Kvôli veľkým rozpätiam a faktu, že samotný objekt by mal byť stavaný v etapách s časovým rozdielom približne 3 roky, sme sa rozhodli pre dvojpodlažný systém s dvojkľbovým rámom. Nasledovalo modelovanie v statickom programe Dlubal RFEM 6.02. Kvôli komplexnosti a náročnosti programu sme začínali modelom v 2D priestore, kvôli stanoveniu predbežných síl momentov a prierezov prvkov. Avšak pre korektné navrhnutie vplyvajúcich zaťažení sme ďalej pokračovali modelovaním v 3D priestore, kde bolo potrebné stanoviť stabilitu konštrukcie skrz statickú analýzu. Po zadaní plošného zaťaženia strechy od konštrukcie a zvolenia geografickej pozície objektu si program sám vytvoril zaťaženia snehom a vetrom na základe vhodne určenej geometrie objektu. Následne program vygeneroval zaťažovacie kombinácie pre posúdenie medzného stavu únosnosti (MSÚ) a medzného stavu použiteľnosti (MSP) podľa platných technických noriem. Výsledky zo zaťažení boli prenesené do statických posudkov a prevzaté do návrhov spojov. Prvky sme posudzovali na MSÚ, ktorý súvisí s kolapsom konštrukcie ako napríklad so stratou stability alebo prekročením návrhovej pevnosti konštrukčných materiálov. Druhý posudok je MSP, ktorý súvisí s prekročením limitov prevádzkových požiadaviek ako je nadmerná deformácia v podobe priehybu alebo kmitanie.

4. Statický návrh

Projektant musí pri navrhovaní nosnej konštrukcie objektu najskôr navrhnuť nosnú sústavu, ktorá závisí od druhu stavebného objektu a použitého materiálu. Následne začína navrhovanie konštrukcie stanovením zaťaženia na zvolenú konštrukciu. Pritom sa musí uvážiť priame zaťaženie vonkajšími silami, rovnako ako nepriame zaťaženie účinkom vynútených deformácií (napr. sadnutím podpor alebo zmenami rozmerov účinkami zmien vlhkosti) [7]

4.1. Nosná konštrukcia

Budova vychádza z existujúcej dokumentácie skladovej haly, ktorá sa bude stavať na parcele v Ličartovciach (obec pri Prešove). Sklad je prerozdelený na dve lode, ktoré sú prepojené zdvojenou nosnou stenou. Nutnosť vytvorenia takéhoto systému vyplýva z požiadaviek realizátora, ktorý plánuje stavať objekt v dvoch etapách s časovým rozdielom odhadovaným na 3 roky. Lode sú zrkadlové kópie. Statický systém jednej lode je navrhnutý zo šestnástich dvojkĺbových rámov s osovou vzdialenosťou 4m. V kotvení rámov je navrhnuté kĺbové pripojenie k základovej konštrukcii. Rámové rohy sú riešené vlepými oceľovými segmentami od firmy Rothoblaas XEPOX. Lepenie rohov sa bude realizovať na stavbe z dôvodu logistickej prepravy materiálu na stavenisko. Aby sme zabezpečili stabilitu rovinných rámov, konštrukciu sme zavetřili oceľovými tiahkami. Sklon strechy je $4,23^\circ$. K stuženiu konštrukcie patria aj väznice a ťahadlá. Súčasťou stavby je aj dvojposchodová administratívna prístavba, kde sa nachádzajú prevažne kancelárie a šatne s hygienou. Tento objekt je konštruovaný zo stĺpikov. Posudky z prístavby nie sú uvedené v tejto diplomovej práci, nakoľko je práca venovaná predovšetkým skladovej hale.



Obrázok 10 - 3D model nosnej konštrukcie skladovej haly

Zdroj: vlastné spracovanie

4.2. Zaťaženia

Navrhovanie vyžaduje nezávisle od konštrukčného materiálu stanovenie zaťažení, ktoré môžu pôsobiť na konštrukciu v priebehu životnosti konštrukcie. Aby konštrukcia mohla byť správne vypočítaná, musí byť pritom uvážený druh zaťaženia alebo účinky zaťaženia, ktoré môžu byť statické alebo dynamické. Rezonančný podiel zaťaženi je však u väčšiny konštrukcií malý a preto sa statický výpočet prevádza pri použití ekvivalentného dynamického súčiniteľa k statickej hodnote zaženi. [7]

4.2.1. Stále zaťaženia

Stále zaženie sa skladá z vlastnej tiaže konštrukčných prvkov a zvyšných komponentov, ktoré sú konštrukčnými prvkami trvale prenášané po dobu viacej ako 10 rokov. Stanovenie veľkosti stáleho zaženia vyžaduje znalosť o tvare a o vlastnostiach a rozmeroch použitých materiálov, predovšetkým o hrúbke a hustote materiálov. Stále zaženia sa počítajú z nominálnych rozmerov komponentov a priemernej objemovej tiaže použitých komponentov. [7]

Vlastná tiaž nosných prvkov sa môže pre zjednodušenie výpočtov stanoviť ako rovnomerne rozdelené zaženie. Pre bežné halové rámy je možné vlastnú tiaž odhadnúť hodnotou $g = \frac{(15+l)}{100} [kNm^{-2}]$, kde l je rozpätie konštrukčných prvkov v metroch. [7]

Stále zaženie vplývajúce na konštrukciu za uvedené v tab.. Hodnota g_k zodpovedá charakteristickému zaženi, ktoré je prenasobené parciálnym súčiniteľom γ_G a hodnota g_d je návrhové zaženie. Parciálny súčiniteľ γ_G pre stále zaženie má hodnotu 1,35. [9]

Tabuľka 2 - - Hodnoty stáleho zaženia pôsobiaceho na konštrukciu

Materiál	Hrúbka [mm]	Hustota [kgm ⁻³]	Plošná hmot. [kgm ⁻²]	Zaženie g_k [Nm ⁻²]	γ_G [-]	Zaženie g_d [Nm ⁻²]
Solárne panele			30	300	1,35	405
PVC fólia						
Isover TRAM MW	130	0,12		156	1,35	210,6
Hydroizolácia						
Trapézový plech			18,99	189,9	1,35	256,365
Zaženia spolu :				645,9		872
Líniové zaženie pre zažováciu šírku 4,0 m :				2 583,6 Nm⁻¹		3 488 N m⁻¹

Zdroj: vlastné spracovanie

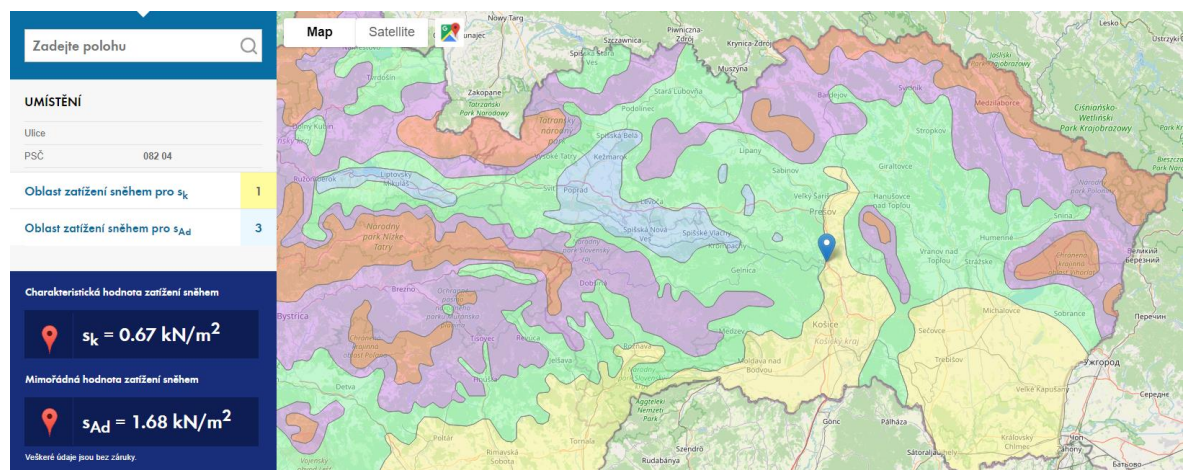
4.2.2. Zaťaženie snehom

Zaťaženie snehom je založené najmä na meraní výšky snehu a jeho hustote. Objemová hmotnosť snehu má kolísavú hodnotu v závislosti od prostredia a lokálnych poveternostných podmienok od 1 kN/m^3 (čerstvý sneh) až po 4 kN/m^3 (starý alebo mokrý sneh). Na základe štatistického vyhodnotenia meraní je zaťaženie snehom definované na pôdorysnú plochu (s_k) pre výskyt raz za 50 rokov. Charakteristické hodnoty s_k sú stanovené národnými normami pre zaťaženia, pretože tieto zaťaženia vychádzajú z geografických pomerov a nadmorskej výšky v danej krajine. V statickom výpočte musí projektant uvážiť uloženie snehu na streche objektu nasledovne :

- Rovnomerné zaťaženie účinkom rovnomerného sneženia
- Nerovnomerné zaťaženie vplyvom závejov a zošmyknutia sa snehu

Na základe analýzy snehových zrážok sa spravidla udáva zaťaženie snehom ako náhodné zaťaženie so strednodobou dĺžkou trvania. Projektant musí uvažovať taktiež s tvarom konštrukcie a s tým spojeným prípadným zväčšením zaťaženia snehom (napr. prídavné zaťaženie účinkom vyplnenia strešného úžľabia snehom). [7] [10]

Stanovenie zaťaženia snehom je dané normou STN EN 1991-1-3. Na stanovenie zaťaženia snehom nám vplyva viacero parametrov, pričom najpodstatnejšie sú geografická nadmorská výška a lokalita podľa mapy snehových zón. Objekt sa nachádza v Ličartovciach (zóna 1) v nadmorskej výške 223 m.n.m.



Obrázok 11 - Mapa oblastí s charakteristickými hodnotami zaťaženia snehom

Zdroj: vlastné spracovanie

Charakteristické zaťaženie snehom na povrchu zeme (s_k):

Sklon strechy:	$\alpha_1 = \alpha_2 =$	4°
Tvarový súčiniteľ:	$\mu_1 =$	0,8
Snežná oblasť:		1
Nadmorská výška:	$A =$	233 m.n.m.
Súčiniteľ a:	$a =$	0,425
Súčiniteľ b:	$b =$	970

Zaťaženie snehom na pôdorysnú plochu:

$$s_k = a + \frac{A}{b}$$
$$s_k = 0,425 + \frac{233}{970}$$
$$s_k = 0,67 \text{ kN/m}^2$$

Charakteristické zaťaženie strechy pre trvalé návrhové situácie (s_1, s_2):

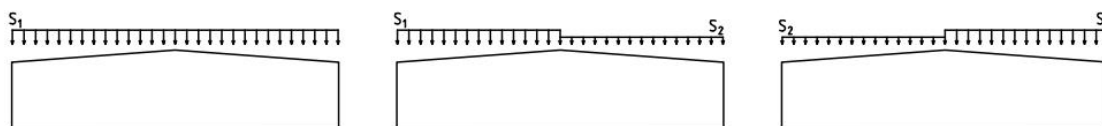
Súčiniteľ expozície: $C_e = 1$

Tepelný súčiniteľ: $C_t = 1$

$s_1 = \mu_1 \times C_e \times C_t \times s_k$ $s_2 = 0,5 \times \mu_1 \times C_e \times C_t \times s_k$

$s_1 = 0,8 \times 1 \times 1 \times 0,67$ $s_2 = 0,5 \times 0,8 \times 1 \times 1 \times 0,67$

$s_1 = 0,536$ $s_2 = 0,268$



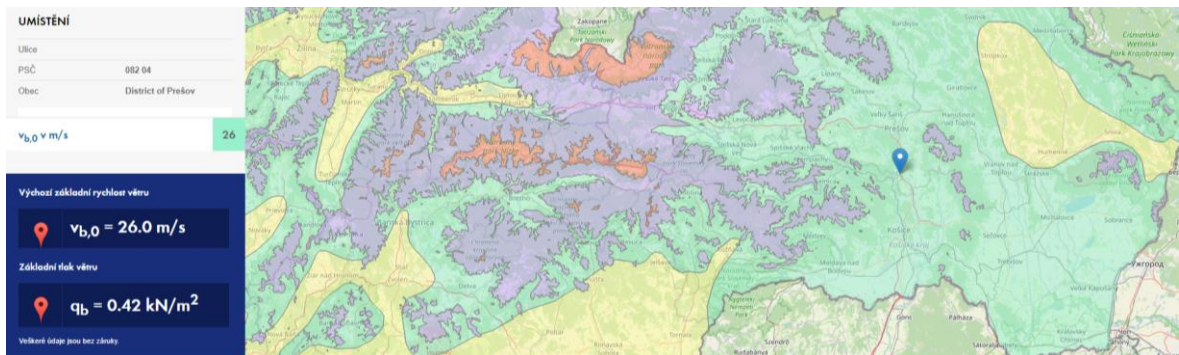
Obrázok 12 - Symetrické a nesymetrické zaťaženie snehom

Zdroj: vlastné spracovanie

4.2.3. Zaťaženie vetrom

Zaťaženie vetrom môžeme charakterizovať ako premenné zaťaženie v čase a sú zatriedené v kategórii krátkodobých zaťažení. Na stanovenie veľkosti zaťaženia vetrom používa obvykle zjednodušená metóda, avšak pokiaľ si to situácia vyžaduje (zaťaženie sa stanovuje na „mäkké konštrukcie“ – pomer výšky k šírke je väčší ako 3) použije sa zložitejšia metóda s rezonančnou zložkou. Zaťaženia vetrom sú vyjadrené pomocou statických tlakových síl na povrchu konštrukcie alebo globálnymi tlakovými silami a trecími silami vetra. [7] [11]

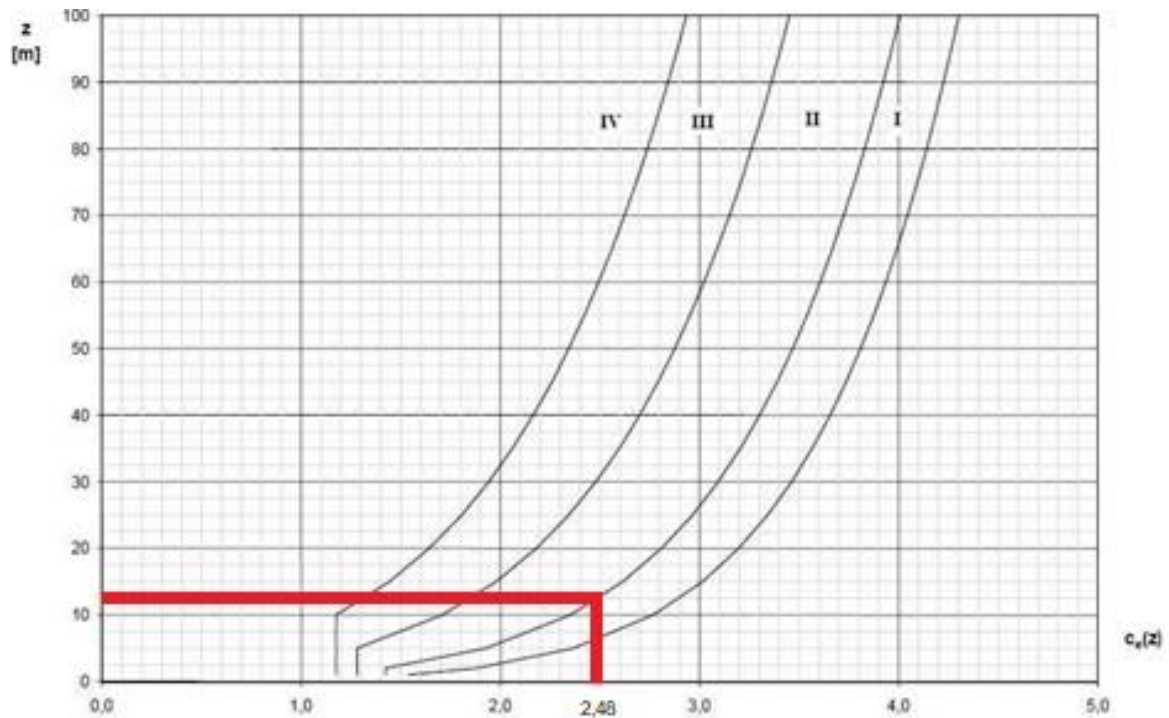
Zaťaženie vetrom nám stanovuje norma STN EN 1994-1-4. Veľkosť zaťaženia sa stanovuje z geografickej lokácie stavby podľa lokálnych parametrov okolia objektu a mapy veterných zón. Pre náš objekt zodpovedá fundamentálna hodnota základnej rýchlosti vetra hodnota 26 m/s.



Obrázok 13 - Mapa s fundamentálnymi hodnotami základnej rýchlosti vetra

Zdroj: *vlastné spracovanie*

Základná rýchlosť vetra:	$v_b =$	26 m/s
Súčiniteľ smeru:	$C_{dir} =$	1
Súčiniteľ sezónnosti:	$c_{season} =$	1
Hustota vzduchu:	$\rho =$	1,243 kg/m ³
Základný tlak vetra:	$q_b =$	$\frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2$
	$q_b =$	$\frac{1}{2} \times 1,24 \times 26^2$
	$q_b =$	420,1 N/m ²
Kategória terénu:		II – nepriaznivejšia varianta
Referenčná výška:	$Z_{(e)h} =$	12,5 m



Obrázok 14 - Graf znázorňujúci závislosť súčiniteľa vystaveniu vetra ($c_e(z)$) od referenčnej výšky ($z(e)h$)

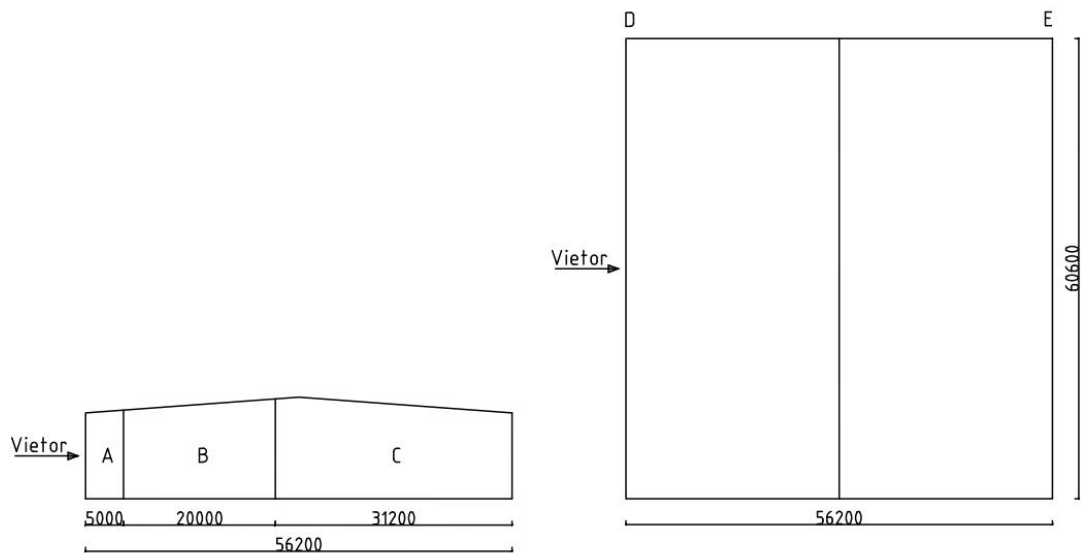
Zdroj: vlastné spracovanie

Súčiniteľ vystaveniu vetru:	$c_e(z) =$	2,48
Tlak vetra vo výške z_e :	$q_p(z_e) =$	$c_e(z) \times q_b$
	$q_p(z_e) =$	$2,48 \times 410,3$
	$q_p(z_e) =$	1017,6 N/m ²

Zat'azenie vetrom :

Tlak vetra na steny pri 0°

Smer tlaku vetra:	$\theta =$	0°
Výška budovy:	$h =$	12,5 m
Dĺžka budovy:	$b =$	60,6 m
Šírka budovy:	$d =$	56,2 m



Obrázok 15 - Súčinitele vonkajšieho tlaku vetra pre steny 0° a 270°

Zdroj: vlastné spracovanie

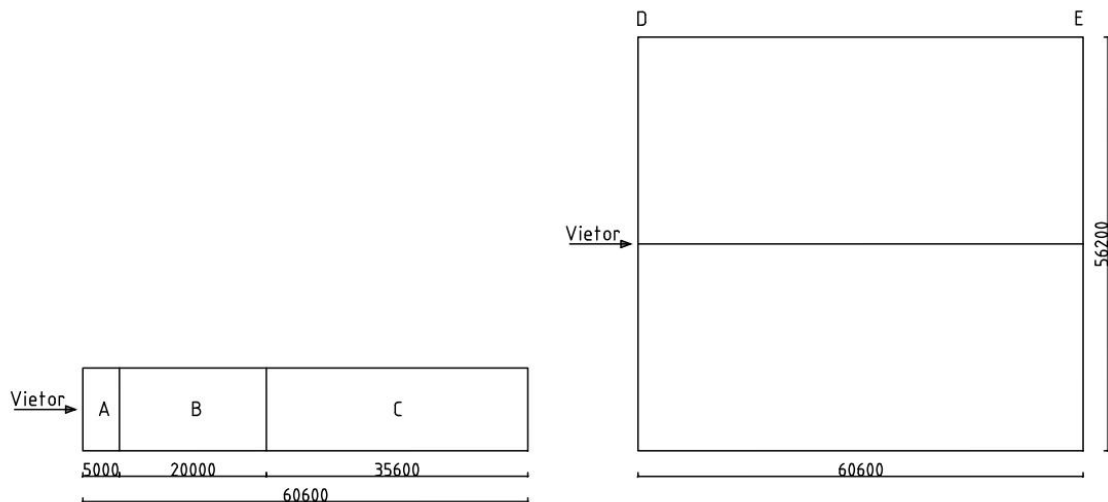
Tabuľka 3 - Charakteristické hodnoty tlaku vetra pre steny pod 0° a 270°

Oblasť	A	B	C	D	E
Súčiniteľ vonkajšieho tlaku C_{pe}	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
Tlak vetra na stenu ($C_{pe} \times q_p$) [N/m^2]	-1221,15	-814,1	-508,81	712,34	-305,29

Zdroj: vlastné spracovanie

Tlak vetra na steny pri 90°

Smer tlaku vetra:	$\theta =$	90°
Výška budovy:	$h =$	12,5 m
Dĺžka budovy:	$b =$	56,2 m
Šírka budovy:	$d =$	60,6 m



Obrázok 16 - - Súčinitele vonkajšieho tlaku vetra pre steny 90° a 180°

Zdroj: vlastné spracovanie

Tabuľka 4 - Charakteristické hodnoty tlaku vetra pre steny pod 90° a 180°

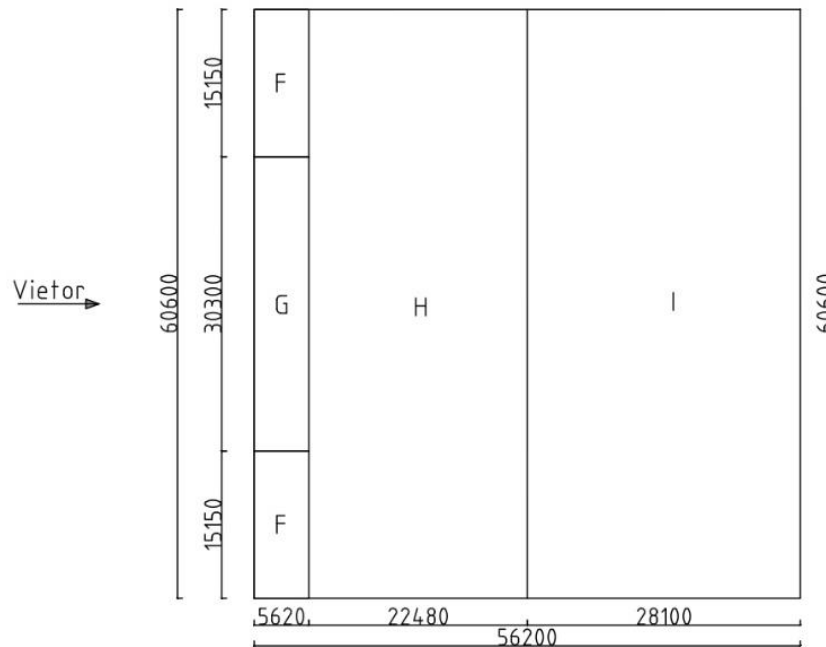
Oblasť	A	B	C	D	E
Súčiniteľ vonkajšieho tlaku C_{pe}	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
Tlak vetra na stenu ($C_{pe} \times q_p$) [N/m^2]	-1221,15	-814,1	-508,81	712,34	-305,29

Zdroj: vlastné spracovanie

Tlak vetra na strechu pri 0°

Smer tlaku vetra:	$\theta =$	0°
Výška budovy:	$h =$	12,5 m
Dĺžka budovy:	$b =$	60,6 m
Šírka budovy:	$d =$	56,2 m

Prerozdelenie plôch pôsobenia vetra zodpovedá plochým strechám z dôvodu malého sklonu strechy.



Obrázok 17 - Súčinitele vonkajšieho tlaku vetra pre strechu 0° a 270°

Zdroj: vlastné spracovanie

Tabuľka 5 - Charakteristické hodnoty tlaku vetra pre strechu 0° a 270°

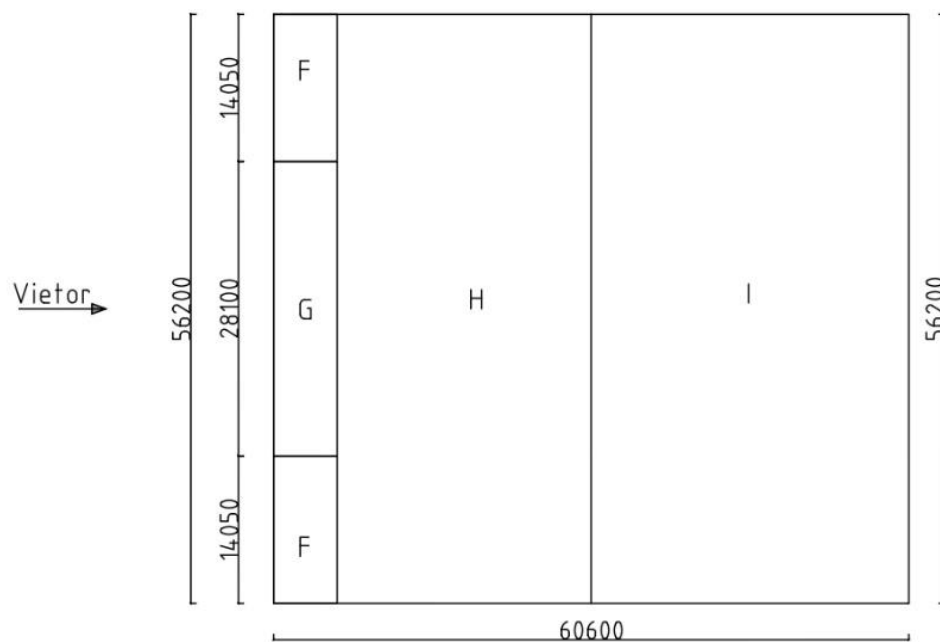
Oblasť	F	G	H	I
Súčiniteľ vonkajšieho tlaku C_{pe}	-1,9	-1,3	-0,7	0,2
Tlak vetra na stenu ($C_{pe} \times q_p$) [N/m^2]	-1933,48	-1322,91	-712,34	203,52

Zdroj: vlastné spracovanie

Tlak vetra na steny pri 90°

Smer tlaku vetra:	$\theta =$	90°
Výška budovy:	$h =$	12,5 m
Dĺžka budovy:	$b =$	56,2 m
Šírka budovy:	$d =$	60,6 m

Prerozdelenie plôch pôsobenia vetra zodpovedá plochým strechám z dôvodu malého sklonu strechy.

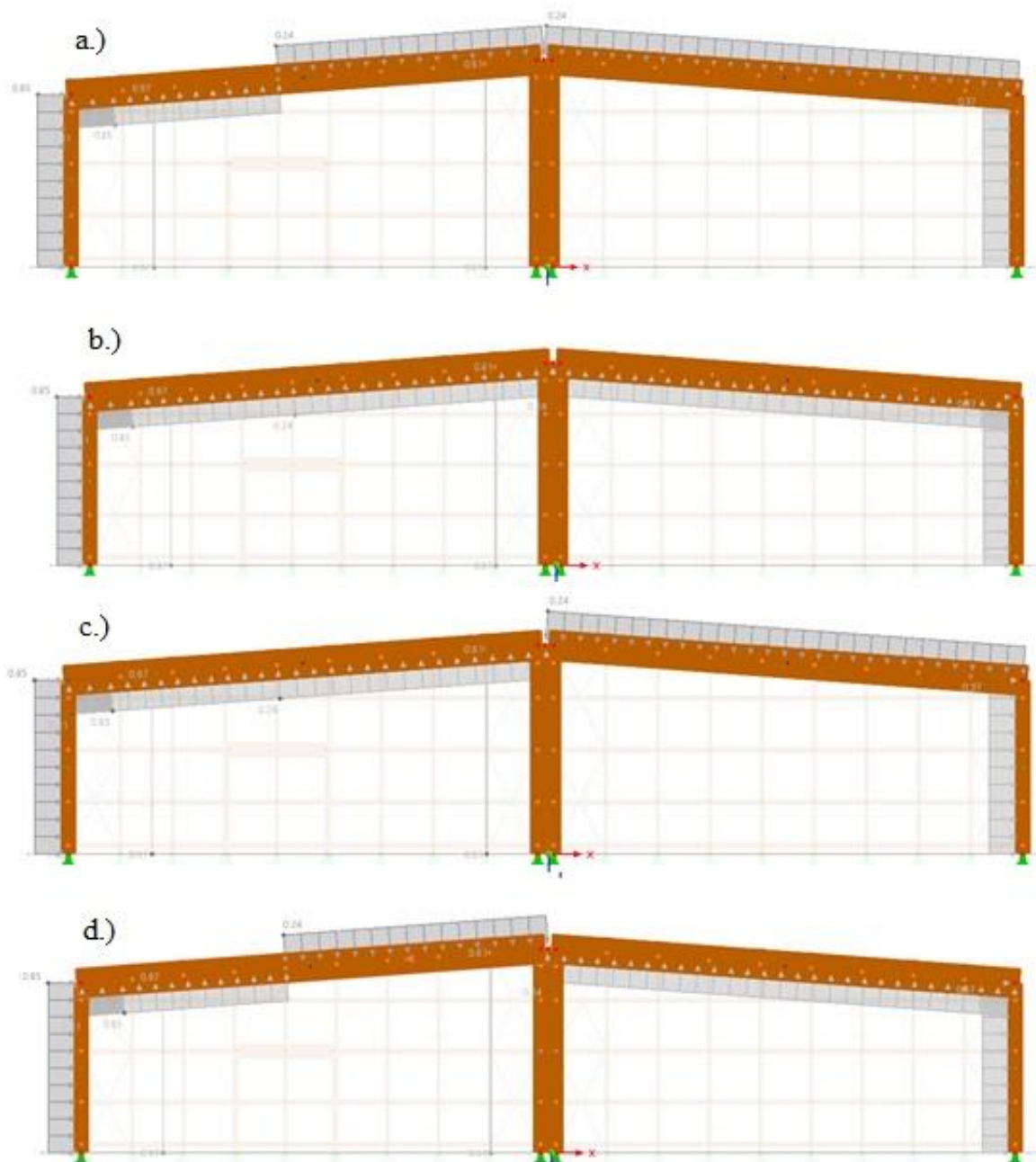


Obrázok 18 - Súčinitele vonkajšieho tlaku vetra pre strechu 90° a 180°
Zdroj: vlastné spracovanie

Tabuľka 6 - Charakteristické hodnoty tlaku vetra pre strechu 90° a 180°

Oblasť	F	G	H	I
Súčiniteľ vonkajšieho tlaku C_{pe}	-1,9	-1,3	-0,7	0,2
Tlak vetra na stenu ($C_{pe} \times q_p$) [N/m^2]	-1933,48	-1322,91	-712,34	203,52

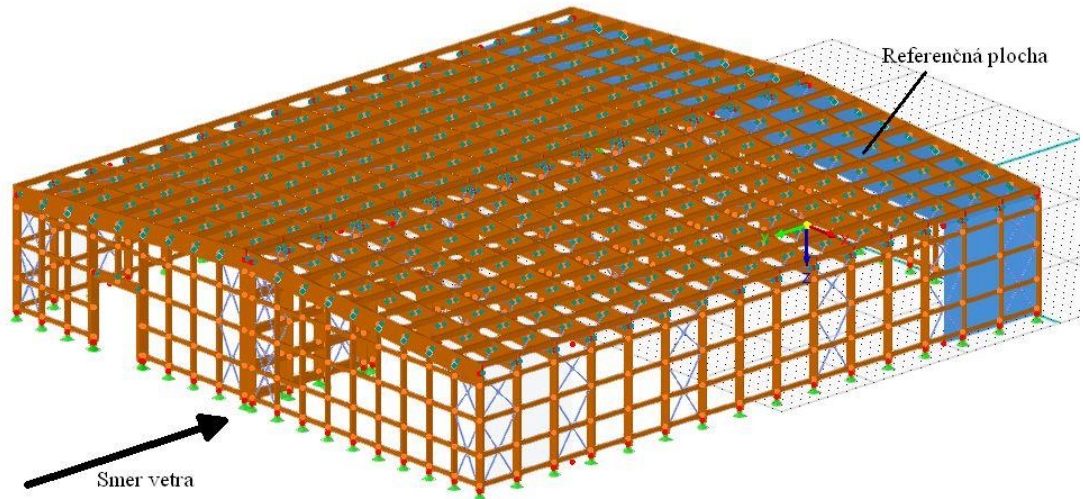
Zdroj: vlastné spracovanie



Obrázok 19 - Zaťažovacie stavy vyvolané pôsobením vetra
 Zdroj: vlastné spracovanie

4.2.4. Zaťaženie účinkami vetra trením

Trečia sila vyvolaná obtekajúcim vetrom sa musí uvážiť v prípade, pokiaľ objekt disponuje veľkými vonkajšími plochami. Zaťaženie trením môžeme zanedbať v prípade, pokiaľ celková plocha povrchov rovnobežných so smerom vetra sa rovná alebo je menšia ako štvornásobok všetkých vonkajších plôch kolmých na smer vetra. V našom prípade musíme s trecou silou uvažovať.



Obrázok 20 - Referenčná plocha zaťažovaná účinkami vetra trením
Zdroj: vlastné spracovanie

Súčiniteľ trenia	$C_{fr} =$	0,01
Tlak vetra vo výške z_e :	$q_p(z_e) =$	1017,6 N/m ²
Plocha 1 vonkajšieho povrchu:	$A_{fr} =$	270 m ²
Sila trenia:	$F_{fr} =$	$c_{fr} \times q_p(z_e) \times A_{fr}$
	$F_{fr} =$	$0,01 \times 1017,6 \times 756$
	$F_{fr} =$	2,74 kN/m ²

4.3. Statické posudky

Po vyhotovení 3D návrhu v statickom programe RFEM 6.02. sme zadali všetky pôsobiace zaťaženia bližšie opísané v kapitole 4.2. Na základe toho sme získali vnútorné sily na prútoch, ktoré nám vstupujú ako zaťažovacie hodnoty do statických posudkov jednotlivých prvkov.

4.3.1. Statický posudok stojky

Stojky sú plnostenné nosníky konštantného prierezu a sú vyrobené z G128h s rozmerom 200x900mm. Krajné stojky, ktoré sa nachádzajú pri odkvapovej hrane strechy, zdieľajú rozmer so stredovými stojkami. V tejto práci je posúdená iba krajná stojka, na ktorú viacej vplyvajú zaťaženia vplyvom vetra. Stredové stojky sú posúdené v prílohe.

Do posudkov vstupujú stojky s rozmerom 180x900mm, čo zodpovedá rozmeru dreva s odrátaním vyfrézovanej hrúbky potrebnej pre spojovacie prvky v rohoch rámu.

Ako príklad pre posúdenie stojky bol vybratý prút č. 86.

4.3.1.1. Vstupné údajové charakteristiky pre výpočet :

Tabuľka 7 - Vlastnosti materiálu podľa STN EN 14081

Vlastnosť	Značka	Jednotka	G128h
Pevnosť v ohybe	$f_{m,g,k}$	MPa	28
Pevnosť v ťahu	$f_{t,0,g,k}$	MPa	22,3
	$f_{t,90,g,k}$	MPa	0,5
Pevnosť v tlaku	$f_{c,0,g,k}$	MPa	28
	$f_{c,90,g,k}$	MPa	2,5
Pevnosť v šmyku	$f_{v,g,k}$	MPa	3,5
Modul pružnosti	$E_{0,g,mean}$	MPa	12600
	$E_{0,g,05}$	MPa	10500
	$E_{90,g,mean}$	MPa	300
	$E_{90,g,05}$	MPa	250
Modul pružnosti v šmyku	$G_{0,g,mean}$	MPa	650
	$G_{0,g,05}$	MPa	540
Hustota	$\rho_{g,k}$	kg/m ³	425

Zdroj: [12]

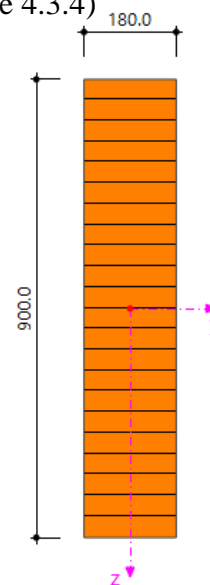
Dĺžka trvania zaťaženie:	krátkodobé
Trieda použitia:	2
Modifikačný súčiniteľ:	$k_{mod} = 0,9$
Deformačný súčiniteľ:	$k_{def} = 0,8$
Parciálny súčiniteľ spoľahlivosti:	$\gamma_M = 1,25$

Spojovací prostriedok: s priečlou -vlepené ocel'ové platne
(posúdené v kapitole 4.3.5)

so základmi – základová päťka
(posúdené v kapitole 4.3.4)

Geometria prierezu stojky:

Šírka : $B = 180\text{mm}$
Výška: $H = 900\text{mm}$



Obrázok 21 - Prierez stojky
Zdroj: vlastné spracovanie

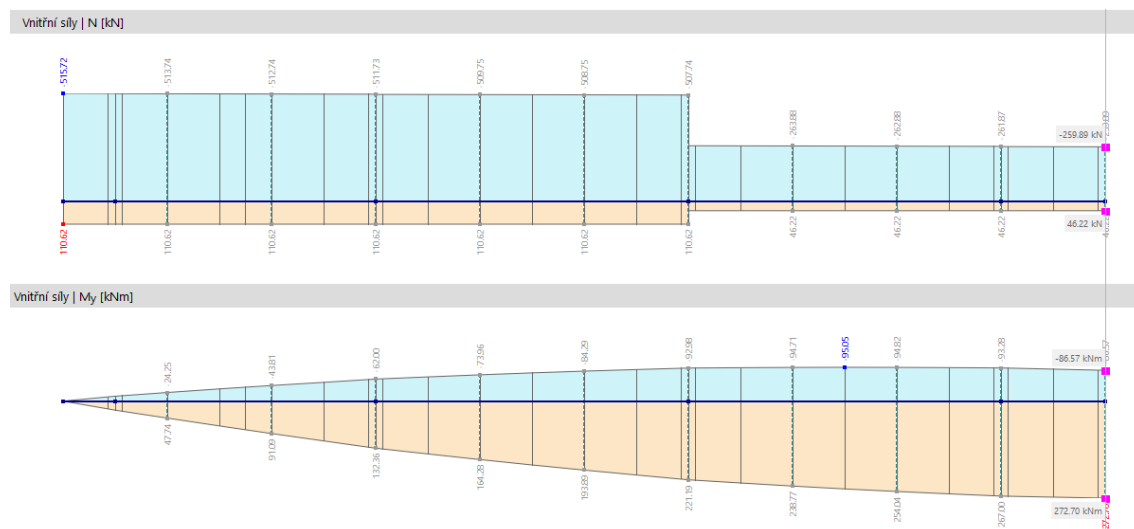
4.3.1.2. Posúdenie na ohyb

Posudok vychádza z 57. kombinácie zaťaženia .

Návrhové vnútorné sily:

Návrhová normálová sila: $N_{Ed} = 259,89 \text{ kN}$

Návrhový ohybový moment: $M_{y,Ed} = 272,7 \text{ kNm}$



Obrázok 22 - Priebeh vnútorných síl v stojke

Zdroj: vlastné spracovanie

Hodnoty posudku:

Návrhová pevnosť v tlaku: $f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \times k_{mod}}{\gamma_m}$

$$f_{c,0,d} = \frac{28 \times 0,9}{1,25}$$

$$f_{c,0,d} = 20,16 \text{ MPa}$$

Návrhové tlakové napätie: $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{B \times H}$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{259,89 \times 0,001}{0,9 \times 0,18}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 1,604 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnosť v ohybe: $f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \times k_{mod}}{\gamma_m}$

$$f_{m,d} = \frac{28 \times 0,9}{1,25}$$

$$f_{m,d} = 20,16 \text{ MPa}$$

Prierezový modul:

$$W_y = \frac{B \times H^2}{6}$$

$$W_y = \frac{0,18 \times 0,9^2}{6}$$

$$W_y = 0,0243 \text{ m}^3$$

Návrhové napätie v ohybe:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{272,7}{0,0243}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 11,221 \text{ MPa}$$

Posudok:

$$\eta = \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}}$$

$$\eta = \left(\frac{1,604}{20,16} \right)^2 + \frac{11,221}{20,16}$$

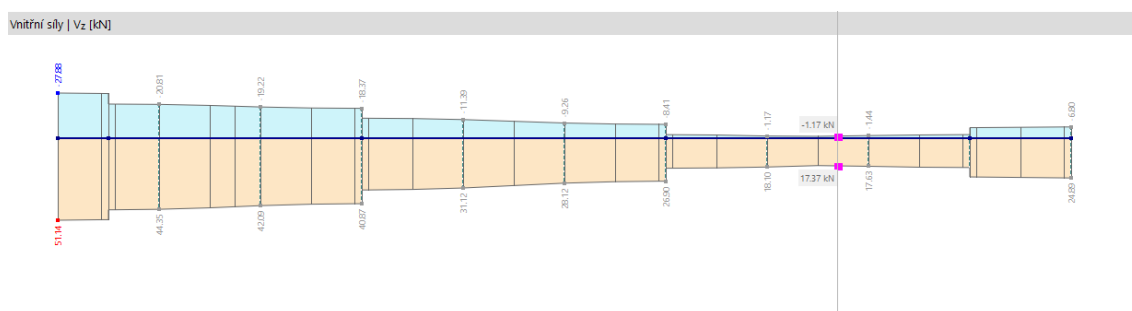
$$\eta = 0,563 \leq 1$$

→

VYHOVUJE

4.3.1.3. Posúdenie na šmyk

Posudok vychádza z 57. kombinácie zaťaženia .



Obrázok 23 - Priebeh vnútorných síl stojky

Zdroj: vlastné spracovanie

Návrhové vnútorné sily:

Návrhová normálová sila: $N_{Ed} = 515,72 \text{ kN}$

Návrhová šmyková sila: $V_{z,Ed} = 51,14 \text{ kN}$

Hodnoty posudku:

Súčiniteľ vplyvu trhlín: $k_{cr} = 0,67$

Návrhová pevnosť v šmyku: $f_{v,z,d} = \frac{f_{v,k} \times k_{mod}}{\gamma_m}$

$$f_{v,z,d} = \frac{3,5 \times 0,9}{1,25}$$

$$f_{v,z,d} = 2,52 \text{ MPa}$$

Šmykové napätie: $\tau_{xz} = \frac{V_{z,Ed}}{A_{ef}}$

$$\tau_{xz} = \frac{51,14}{\frac{2}{3} \times (0,18 \times 0,9)}$$

$$\tau_{xz} = 0,473 \text{ MPa}$$

Návrhové šmykové napätie: $\tau_{xz,d} = \frac{\tau_{xz}}{k_{cr}}$

$$\tau_{xz,d} = \frac{0,473}{0,67}$$

$$\tau_{xz,d} = 0,706$$

Posudok:

$$\eta = \frac{\tau_{xz,d}}{f_{v,z,d}}$$

$$\eta = \frac{0,706}{2,52}$$

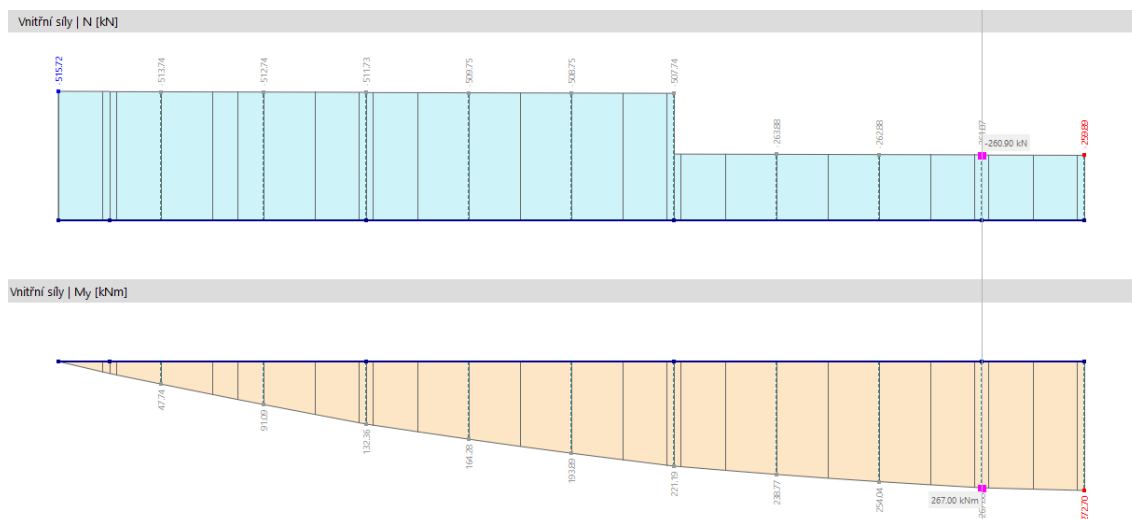
$$\eta = 0,280 \leq 1$$

→

VYHOVUJE

4.3.1.4. Posúdenie na dvojosí ohyb + vzper

Posudok vychádza z 57. kombinácie zaťaženia .



Obrázok 24 - Priebeh vnútorných síl stojky

Zdroj: vlastné spracovanie

Návrhové vnútorné sily:

Návrhová normálová sila: $N_{Ed} = 261,87\text{kN}$

Návrhový ohybový moment: $M_{y,Ed} = 267\text{ kNm}$

Hodnoty posudku:

Návrhová pevnosť v tlaku: $f_{c,0,d} = 20,16\text{ MPa}$

Návrhové tlakové napätie: $\sigma_{c,0,d} = 1,1616\text{ MPa}$

Návrhová pevnosť v ohybe: $f_{m,d} = 20,16\text{ MPa}$

Návrhové napätie v ohybe: $\sigma_{m,y,d} = 10,986\text{ MPa}$

Návrhové napätie v ohybe: $\sigma_{m,z,d} = 2,9\text{ MPa}$

Moment zotrvačnosti okolo osi y: $I_y = \frac{B \times H^3}{12}$

$$I_y = \frac{0,18 \times 0,9^3}{12}$$

$$I_y = 0,010935\text{ m}^4$$

Moment zotrvačnosti okolo osi z: $I_z = 0,000437\text{ m}^4$

Plocha prierezu:	$A =$	$B \times H$
	$A =$	$0,18 \times 0,9$
	$A =$	$0,162 \text{ m}^2$
Polomer zotrvačnosti okolo osi y:	$i_y =$	$\sqrt{\frac{I_y}{A}}$
	$i_y =$	$\sqrt{\frac{0,010935}{0,162}}$
	$i_y =$	$0,259807 \text{ m}$
Polomer zotrvačnosti okolo osi z:	$i_z =$	$0,051937 \text{ m}$
Efektívna vzperná dĺžka okolo osi y:	$L_{cr,y} =$	10 m
Efektívna vzperná dĺžka okolo osi z:	$L_{cr,z} =$	3 m
Pomerná štíhlosť okolo osi y:	$\lambda_y =$	$\frac{L_{ef,y}}{i_y}$
	$\lambda_y =$	$\frac{10}{0,2598}$
	$\lambda_y =$	$38,49$
Pomerná štíhlosť okolo osi z:	$\lambda_z =$	<u>$57,74$</u>
Kritické vzperné napätie okolo osi y:	$\sigma_{crit,y} =$	$\frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{\lambda_y^2}$
	$\sigma_{crit,y} =$	$\frac{\pi^2 \times 10500}{38,49}$
	$\sigma_{crit,y} =$	$69,95 \text{ MPa}$
Kritické vzperné napätie okolo osi z:	$\sigma_{crit,z} =$	$31,08 \text{ MPa}$
Relatívna štíhlosť okolo osi y:	$\lambda_{rel,y} =$	$\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{crit}}}$
	$\lambda_{rel,y} =$	$\sqrt{\frac{28}{69,95}}$
	$\lambda_{rel,y} =$	$0,6327$
Relatívna štíhlosť okolo osi z:	$\lambda_{rel,z} =$	$0,949$
Súčiniteľ priamosti pre G128h:	$\beta_c =$	$0,01$

Súčiniteľ nestability okolo osi y :	$k_y =$	$0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$
	$k_y =$	$0,5[1 + 0,1(0,63 - 0,3) + 0,63^2]$
	$k_y =$	0,715
Súčiniteľ nestability okolo osi z:	$k_z =$	0,984
Vzperný súčiniteľ okolo osi y:	$k_{c,y} =$	$\frac{1}{k_y + \sqrt{(k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2)}}$
	$k_{c,y} =$	$\frac{1}{0,715 + \sqrt{0,715^2 - 0,633^2}}$
	$k_{c,y} =$	0,95
Vzperný súčiniteľ okolo osi z:	$k_{c,z} =$	0,81

Posudok vzper:

$\eta_y = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}}$	$\eta_z = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}}$	
$\eta_y = \frac{1,1616}{0,95 \times 20,16}$	$\eta_z = \frac{1,1616}{0,81 \times 20,16}$	
$\eta_y = 0,06 \leq 1$	$\eta_z = 0,07 \leq 1$	→ VYHOVUJE

Posudok ohyb + vzper

Rozdelovací súčiniteľ:	$k_m =$	0,7
$\eta_1 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}$	$\eta_2 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}$	
$\eta_1 = \frac{1,16161}{0,95 \times 20,16} + \frac{10,986}{20,16} + 0,7 \times \frac{2,9}{20,16}$	$\eta_2 = \frac{1,16161}{0,81 \times 20,16} + 0,7 \times \frac{10,986}{20,16} + \frac{2,9}{20,16}$	
$\eta_1 = 0,73 \leq 1$	$\eta_2 = 0,625 \leq 1$	
$\eta = \max(\eta_1, \eta_2) = 0,73 \leq 1$	→	VYHOVUJE

4.3.2. Statický posudok priečle

Priečle sú plnostenné nosníky konštantného prierezu a sú vyrobené z G128h s rozmerom 200x1800mm. Všetky priečle sú rovnaké. V rámových rohoch sú pevne pripojené k stĺpom. Do statických posudkov vstupujú priečle s rozmerom 180x1800mm, čo zodpovedá rozmeru s odrátaním vyfrézovanej časti priečle potrebnej pre vlepene ocelových platní do rámového rohu.

Ako príklad pre statické posúdenie priečle bol vybraný prút č. 117.

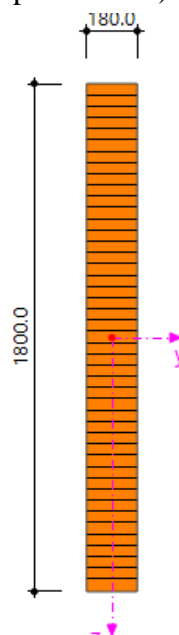
4.3.2.1. Vstupné údajové charakteristiky pre výpočet :

Tabuľka so vstupnými charakteristickými hodnotami použitého dreva pre statické posúdenie je uvedená v kapitole 4.3.1.1.

Dĺžka trvania zaťaženie:	krátkodobé
Trieda použitia:	2
Modifikačný súčiniteľ:	$k_{mod} =$ 0,9
Deformačný súčiniteľ:	$k_{def} =$ 0,8
Parciálny súčiniteľ spoľahlivosti:	$\gamma_M =$ 1,25
Spojovací prostriedok:	vlepené ocelové platne (posúdené v kapitole 4.3.6)

Geometria prierezu priečle:

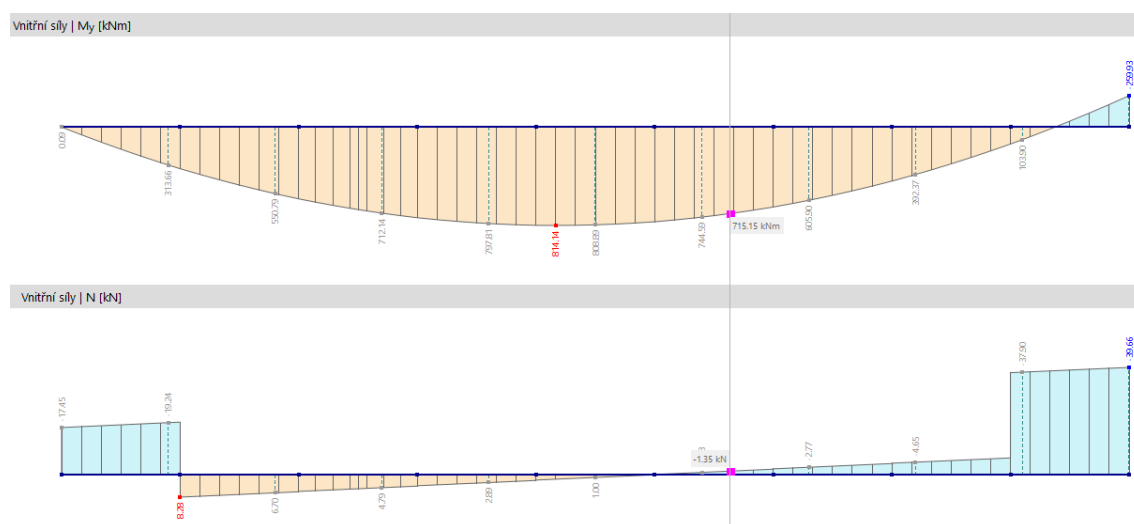
Šírka :	B =	1800mm
Výška:	H =	1800mm



Obrázok 25 - Prierez priečle
Zdroj: Vlastné spracovanie

4.3.2.2. Posúdenie na ohyb

Posudok vychádza z 5 kombinácie zaťažení .



Obrázok 26 - Priebeh vnútorných síl priečle

Zdroj: vlastné spracovanie

Návrhové vnútorné sily:

Návrhová normálová sila:	$N_{Ed} =$	11,91 kN
Návrhový ohybový moment:	$M_{y,Ed} =$	835,46 kNm

Hodnoty posudku:

Návrhová pevnosť v tlaku:	$f_{c,0,d} =$	20,16 MPa
Návrhové tlakové napätie:	$\sigma_{c,0,d} =$	0,0374 MPa
Návrhová pevnosť v ohybe:	$f_{m,d} =$	20,16 MPa
Prierezový modul:	$W_y =$	0,0972 m ³
Návrhové napätie v ohybe:	$\sigma_{m,y,d} =$	8,595 MPa

Posudok:

$$\eta = \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}}$$

$$\eta = \left(\frac{0,037}{20,16} \right)^2 + \frac{8,595}{20,16}$$

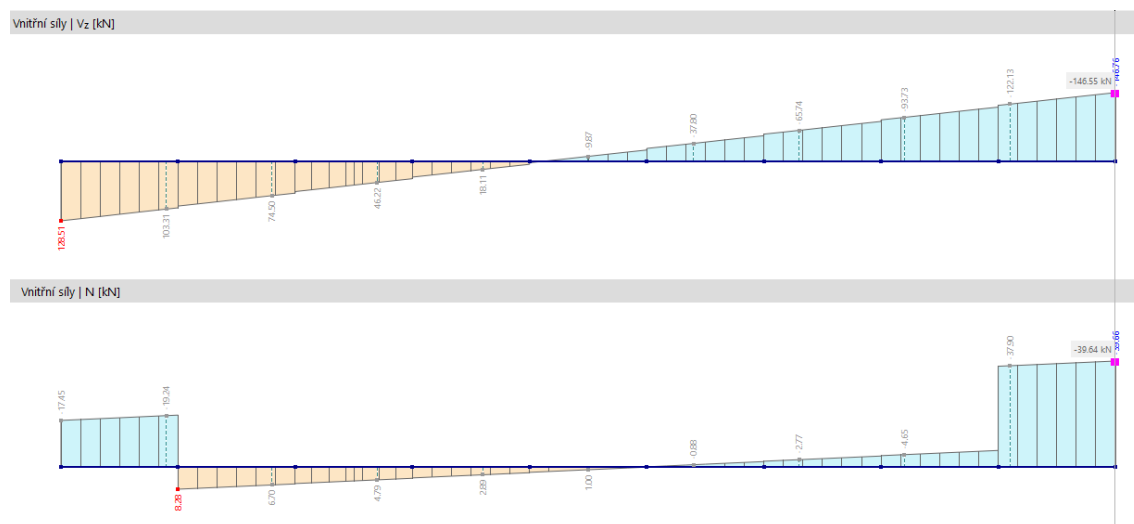
$$\eta = 0,426 \leq 1$$

→

VYHOVUJE

4.3.2.3. Posúdenie na šmyk

Posudok vychádza z 9 kombinácie zaťaženií .



Obrázok 27 - Priebeh vnútorných síl priečle

Zdroj: vlastné spracovanie

Návrhové vnútorné sily:

Návrhová normálna sila: $N_{Ed} = 39,66 \text{ kN}$

Návrhová šmyková sila: $V_{z,Ed} = 146,76 \text{ kN}$

Hodnoty posudku:

Súčiniteľ vplyvu trhlín: $k_{cr} = 0,67$

Návrhová pevnosť v šmyku: $f_{v,z,d} = 2,52 \text{ MPa}$

Šmykové napätie: $\tau_{xz} = 0,679 \text{ MPa}$

Návrhové šmykové napätie: $\tau_{xz,d} = 1,014 \text{ MPa}$

Posudok:

$$\eta = \frac{\tau_{xz,d}}{f_{v,z,d}}$$

$$\eta = \frac{1,014}{2,52}$$

$$\eta = 0,402 \leq 1$$

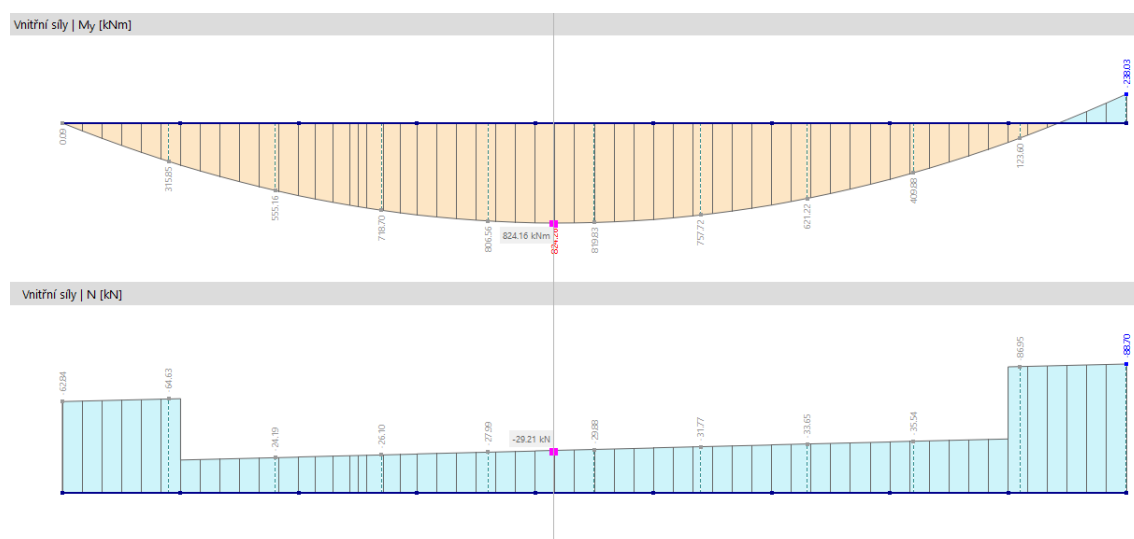
→

VYHOVUJE

4.3.2.4. Posúdenie na dvojosí ohyb + vzper

Posudok vychádza z 9 kombinácie zaťaženií .

Vzper:



Obrázok 28 - Priebeh vnútorných síl priečle

Zdroj: vlastné spracovanie

Návrhové vnútorné sily:

Návrhová normálová sila: $N_{Ed} = 29,56 \text{ kN}$

Návrhový ohybový moment: $M_{y,Ed} = 823,20 \text{ kNm}$

Hodnoty posudku:

Návrhová pevnosť v tlaku: $f_{c,0,d} = 20,16 \text{ MPa}$

Návrhové tlakové napätie: $\sigma_{c,0,d} = 0,091 \text{ MPa}$

Návrhová pevnosť v ohybe: $f_{m,d} = 20,16 \text{ MPa}$

Návrhové napätie v ohybe: $\sigma_{m,y,d} = 8,469 \text{ MPa}$

Návrhové napätie v ohybe: $\sigma_{m,z,d} = 0,209 \text{ MPa}$

Moment zotrvačnosti okolo osi y: $I_y = 0,08748 \text{ m}^4$

Moment zotrvačnosti okolo osi z: $I_z = 0,0008748 \text{ m}^4$

Plocha prierezu: $A = 0,324 \text{ m}^2$

Polomer zotrvačnosti okolo osi y: $i_y = 0,5196 \text{ m}$

Polomer zotrvačnosti okolo osi z:	$i_z =$	0,05196 m
Efektívna vzperná dĺžka okolo osi y:	$L_{cr,y} =$	27 m
Efektívna vzperná dĺžka okolo osi z:	$L_{cr,z} =$	3 m
Pomerná štíhlosť okolo osi y:	$\lambda_y =$	51,96
Pomerná štíhlosť okolo osi z:	$\lambda_z =$	57,89
Kritické vzperné napätie okolo osi y	$\sigma_{crit,y} =$	38,38 MPa
Kritické vzperné napätie okolo osi z:	$\sigma_{crit,z} =$	30,92 MPa
Relatívna štíhlosť okolo osi y:	$\lambda_{rel,y} =$	0,857
Relatívna štíhlosť okolo osi z:	$\lambda_{rel,z} =$	0,951
Súčiniteľ priamosti pre GI28h:	$\beta_c =$	0,01
Súčiniteľ nestability okolo osi y :	$k_y =$	0,89
Súčiniteľ nestability okolo osi z:	$k_z =$	0,99
Vzperný súčiniteľ okolo osi y:	$k_{c,y} =$	0,87
Vzperný súčiniteľ okolo osi z:	$k_{c,z} =$	0,81

Posudok vzper:

$$\eta_y = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}}$$

$$\eta_z = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}}$$

$$\eta_y = \frac{0,091}{0,87 \times 20,16}$$

$$\eta_z = \frac{0,091}{0,81 \times 20,16}$$

$$\eta_y = 0,005 \leq 1$$

$$\eta_z = 0,005 \leq 1 \quad \rightarrow \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

Posudok ohyb + vzper

Rozdeľovací súčiniteľ:

$$k_m = 0,7$$

$$\eta_1 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}$$

$$\eta_2 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}$$

$$\eta_1 = \frac{0,091}{0,87 \times 20,16} + \frac{8,469}{20,16} + 0,7 \times \frac{0,209}{20,16}$$

$$\eta_2 = \frac{0,091}{0,81 \times 20,16} + 0,7 \times \frac{8,469}{20,16} + \frac{0,209}{20,16}$$

$$\eta_1 = 0,433 \leq 1$$

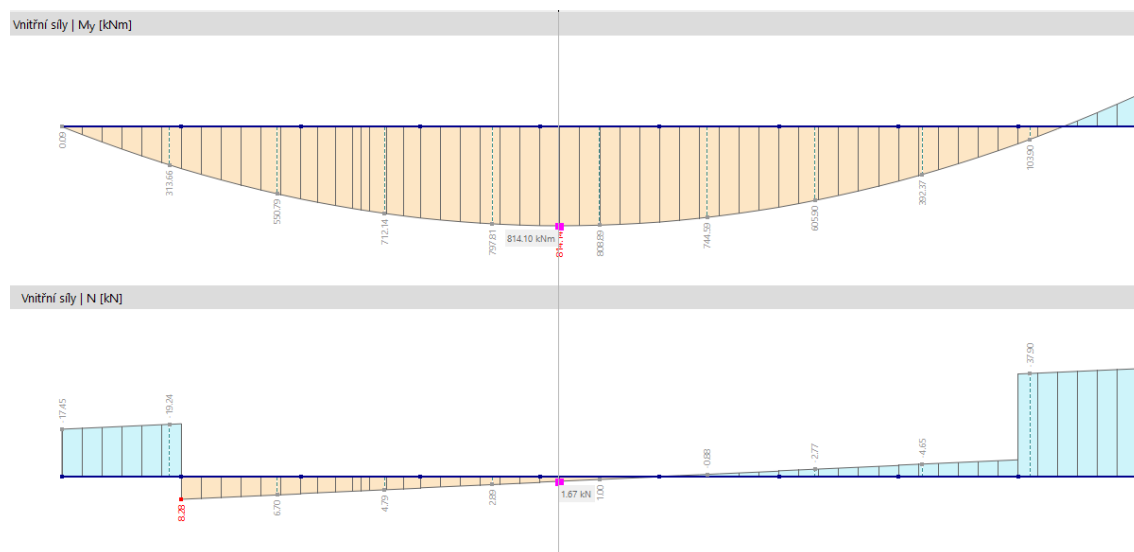
$$\eta_2 = 0,31 \leq 1$$

$$\eta = \max(\eta_1, \eta_2) = 0,433 \leq 1 \quad \rightarrow$$

VYHOVUJE

4.3.2.5. Posúdenie na klopenie - ohyb (bez tlakovej sily)

Posudok vychádza z 15. kombinácie zaťaženia. Na priečlu nám pôsobí zanedbateľné tlakové, a preto ho zanedbáme.



Obrázok 29 - Priebeh vnútorných síl priečle
Zdroj: vlastné spracovanie

Návrhové vnútorné sily:

Návrhová normálová sila: $N_{Ed} = 1,65 \text{ kN}$ (zanedbateľné)

Návrhový ohybový moment: $M_{y,Ed} = 814,14 \text{ kNm}$

Hodnoty posudku:

Návrhová pevnosť v ohybe: $f_{m,d} = 20,16 \text{ MPa}$

Prierezový modul: $W_y = 0,0972 \text{ m}^3$

Návrhové napätie v ohybe: $\sigma_{m,y,d} = 8,376 \text{ MPa}$

Násobiteľ: $\alpha_{cr} = 2,62$

Kritický ohybový moment: $M_{crit} = M_{y,Ed} \times \alpha_{cr}$

$M_{crit} = 814,14 \times 2,62$

$M_{crit} = 2132,59 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned} \text{Kritické ohybové napätie:} \quad \sigma_{m,crit} &= \frac{M_{crit}}{W_y} \\ \sigma_{m,crit} &= \frac{2132,59 \times 0,001}{0,0972} \\ \sigma_{m,crit} &= 21,940 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Relatívna štíhlosť okolo osi y:} \quad \lambda_{rel} &= \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{crit}}} \\ \lambda_{rel} &= \sqrt{\frac{28}{21,94}} \\ \lambda_{rel} &= 1,13 \end{aligned}$$

Súčiniteľ klopenia sa stanoví podľa nasledovného vzťahu:

$$k_{crit} \begin{cases} 1 & \text{pre } \lambda_{rel} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \times \lambda_{rel} & \text{pre } \lambda_{rel} < 0,75 \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel}^2} & \text{pre } 1,4 < \lambda_{rel} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \text{Súčiniteľ klopenia:} \quad k_{crit} &= 1,56 - 0,75 \times \lambda_{rel} \\ k_{crit} &= 1,56 - 0,75 \times 1,13 \\ k_{crit} &= 0,71 \end{aligned}$$

Posudok:

$$\eta = \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \times f_{m,d}}$$

$$\eta = \frac{11,221}{0,71 \times 20,16}$$

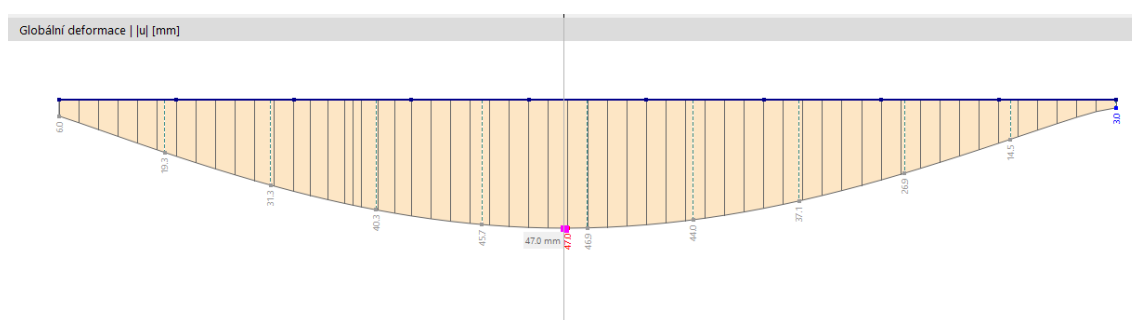
$$\eta = 0,583 \leq 1$$

→

VYHOVUJE

4.3.2.6. Posúdenie na priehyb

Posudok vychádza z 93. kombinácie zaťaženia.



Obrázok 30 - Priebeh priehybu na priechli

Zdroj: vlastné spracovanie

Hodnoty posudku:

Dĺžka prvku: $L = 27\,000\text{ mm}$

Stanovenie medznej hodnoty priehybu sa stanoví pomocou tabuľky č. 8:

Tabuľka 8 - Medzné hodnoty priehybov nosníkov

	W_{inst}	$W_{net,fin}$	W_{fin}
Prostý nosník	$l/300$ až $l/500$	$l/250$ až $l/350$	$l/150$ až $l/300$
Vykonzolidovaný nosník	$l/150$ až $l/250$	$l/125$ až $l/175$	$l/75$ až $l/150$

Zdroj: vlastné spracovanie

Kritérium medznej hodnoty: $W_{ins,lim} = \frac{L}{300}$

$$W_{ins,lim} = \frac{27\,000}{300}$$

$$W_{ins,lim} = 90\text{ mm}$$

Priehyb: $W_{inst} = 43,8\text{ mm}$

Posudok:

$$\eta = \frac{W_{inst}}{W_{inst,lim}}$$

$$\eta = \frac{43,8}{90}$$

$$\eta = 0,487 \leq 1$$

→

VYHOVUJE

4.3.3. Statický posudok väznice

Väznice sú plnostenné nosníky konštantného prierezu a sú vyrobené z G128h s rozmerom 180x400mm. Všetky väznice sú rovnaké a zdieľajú svoj rozmer so stĺpmi štítovej steny. V konštrukcii sú umiestnené tak, aby horná hrana väznice zdieľala pomyselnú rovinu s hornou hranou priečle. Na väzniciach sa nachádza ešte trapézový plech, ktorý prispieva k zvýšeniu celkovej tuhosti konštrukcie a nie je zohľadnený vo výpočtoch (iba prostredníctvom stáleho zaťaženia).

Ako príklad pre statické posúdenie väznice bol vybraný prút č. 602.

4.3.3.1. Vstupné údajové charakteristiky pre výpočet :

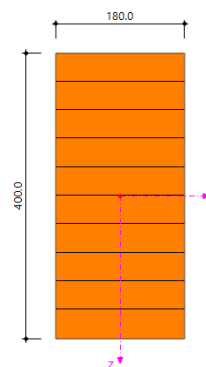
Tabuľka so vstupnými charakteristickými hodnotami použitého dreva pre statické posúdenie je uvedená v kapitole 4.3.1.1

Dĺžka trvania zaťaženie:	krátkodobé	
Trieda použitia:	2	
Modifikačný súčiniteľ:	$k_{mod} =$	0,9
Deformačný súčiniteľ:	$k_{def} =$	0,8
Parciálny súčiniteľ spoľahlivosti:	$\gamma_M =$	1,25

Spojovací prostriedok: Rothoblaas ALUMIDI

Geometria prierezu väznice:

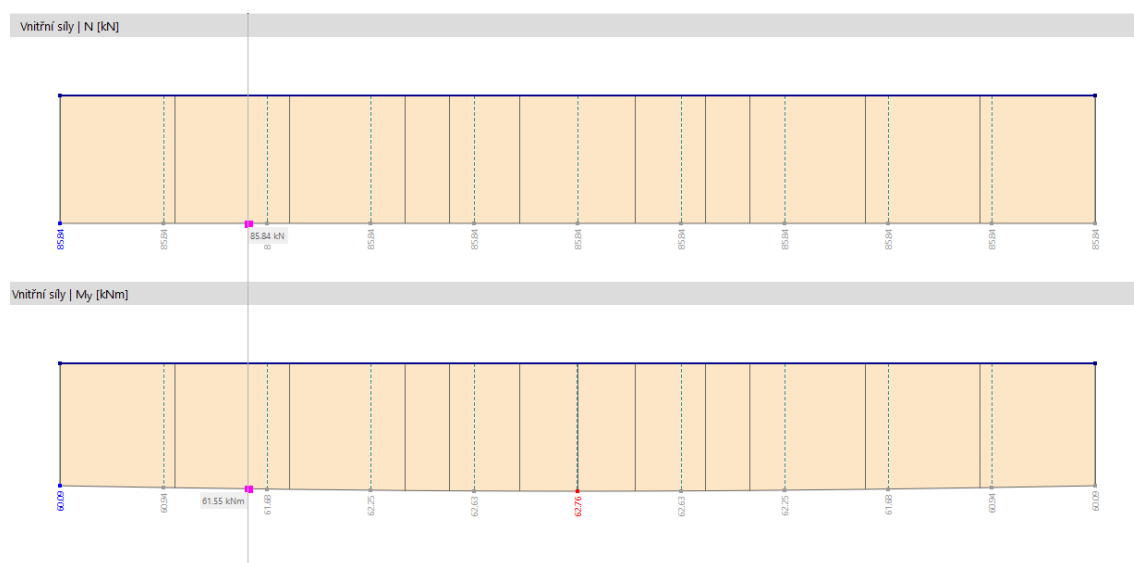
Šírka :	B =	180mm
Výška:	H =	400mm



Obrázok 31 - Prierez väznice
Zdroj: Vlastné spracovanie

4.3.3.2. Posúdenie na ohyb

Posudok vychádza z 51 kombinácie zaťaženia .



Obrázok 32 - Priebeh vnútorných síl väznice

Zdroj: vlastné spracovanie

Návrhové vnútorné sily:

Návrhová normálová sila: $N_{Ed} = 85,84 \text{ kN}$

Návrhový ohybový moment: $M_{y,Ed} = 61,57 \text{ kNm}$

Hodnoty posudku:

Návrhová pevnosť v tlaku: $f_{t,0,d} = 16,056 \text{ MPa}$

Návrhové ťahové napätie: $\sigma_{t,0,d} = 1,192 \text{ MPa}$

Návrhová pevnosť v ohybe: $f_{m,d} = 20,16 \text{ MPa}$

Prierezový modul: $W_y = 0,0048 \text{ m}^3$

Návrhové napätie v ohybe: $\sigma_{m,y,d} = 12,828 \text{ MPa}$

Posudok:

$$\eta = \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}}$$

$$\eta = \frac{1,192}{16,056} + \frac{12,828}{20,16}$$

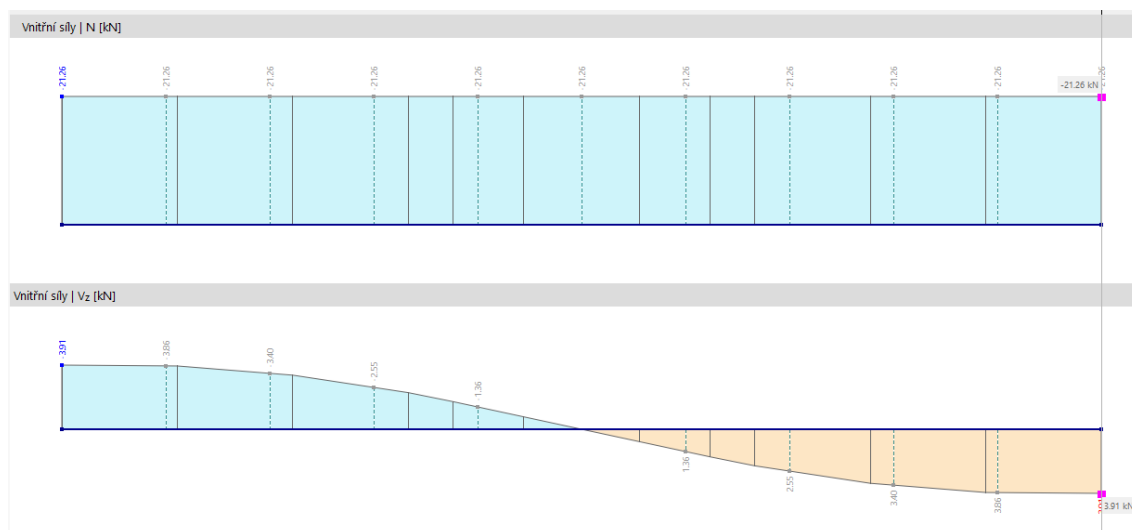
$$\eta = 0,711 \leq 1$$

→

VYHOVUJE

4.3.3.3. Posúdenie na šmyk

Posudok vychádza z 51 kombinácie zaťaženia .



Obrázok 33 - Priebeh vnútorných síl väznice

Zdroj: vlastné spracovanie

Návrhové vnútorné sily:

Návrhová normálna sila: $N_{Ed} = 21,25 \text{ kN}$

Návrhová šmyková sila: $V_{z,Ed} = 3,91 \text{ kN}$

Hodnoty posudku:

Súčiniteľ vplyvu trhlín: $k_{cr} = 0,67$

Návrhová pevnosť v šmyku: $f_{v,z,d} = 2,52 \text{ MPa}$

Šmykové napätie: $\tau_{xz} = 0,081 \text{ MPa}$

Návrhové šmykové napätie: $\tau_{xz,d} = 0,121 \text{ MPa}$

Posudok:

$$\eta = \frac{\tau_{xz,d}}{f_{v,z,d}}$$

$$\eta = \frac{0,121}{2,52}$$

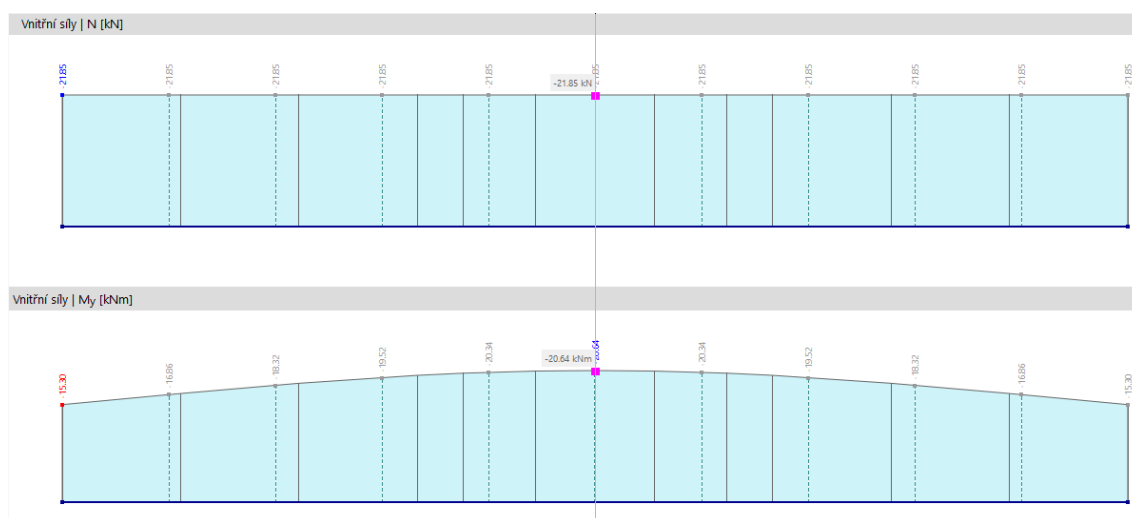
$$\eta = 0,048 \leq 1$$

→

VYHOVUJE

4.3.3.4. Posúdenie na dvojosí ohyb + vzper

Posudok vychádza z 52 kombinácie zaťaženia .



Obrázok 34 - Priebeh vnútorných síl väznice

Zdroj: vlastné spracovanie

Návrhové vnútorné sily:

Návrhová normálová sila: $N_{Ed} = 21,85 \text{ kN}$

Návrhový ohybový moment: $M_{y,Ed} = 20,64 \text{ kNm}$

Hodnoty posudku:

Návrhová pevnosť v tlaku: $f_{c,0,d} = 20,16 \text{ MPa}$

Návrhové tlakové napätie: $\sigma_{c,0,d} = 0,303 \text{ MPa}$

Návrhová pevnosť v ohybe: $f_{m,d} = 20,16 \text{ MPa}$

Návrhové napätie v ohybe: $\sigma_{m,y,d} = 4,301 \text{ MPa}$

Návrhové napätie v ohybe: $\sigma_{m,z,d} = 0,031 \text{ MPa}$

Moment zotrvačnosti okolo osi y: $I_y = 0,00096 \text{ m}^4$

Moment zotrvačnosti okolo osi z: $I_z = 0,0001944 \text{ m}^4$

Plocha prierezu: $A = 0,072 \text{ m}^2$

Polomer zotrvačnosti okolo osi y: $i_y = 0,1154 \text{ m}$

Polomer zotrvačnosti okolo osi z:	$i_z =$	0,05196 m
Efektívna vzperná dĺžka okolo osi y:	$L_{cr,y} =$	4 m
Efektívna vzperná dĺžka okolo osi z:	$L_{cr,z} =$	4 m
Pomerná štíhlosť okolo osi y:	$\lambda_y =$	34,64
Pomerná štíhlosť okolo osi z:	$\lambda_z =$	76,98
Kritické vzperné napätie okolo osi y	$\sigma_{crit,y} =$	86,36 MPa
Kritické vzperné napätie okolo osi z:	$\sigma_{crit,z} =$	17,49 MPa
Relatívna štíhlosť okolo osi y:	$\lambda_{rel,y} =$	0,5694
Relatívna štíhlosť okolo osi z:	$\lambda_{rel,z} =$	1,26
Súčiniteľ priamosti pre GI28h:	$\beta_c =$	0,01
Súčiniteľ nestability okolo osi y :	$k_y =$	0,68
Súčiniteľ nestability okolo osi z:	$k_z =$	1,34
Vzperný súčiniteľ okolo osi y:	$k_{c,y} =$	0,96
Vzperný súčiniteľ okolo osi z:	$k_{c,z} =$	0,56

Posudok vzper:

$$\eta_y = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}}$$

$$\eta_z = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}}$$

$$\eta_y = \frac{0,303}{0,96 \times 20,16}$$

$$\eta_z = \frac{0,303}{0,56 \times 20,16}$$

$$\eta_y = 0,016 \leq 1$$

$$\eta_z = 0,027 \leq 1 \quad \rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posudok ohyb + vzper

Rozdelovací súčiniteľ:

$$k_m = 0,7$$

$$\eta_1 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}$$

$$\eta_2 = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}$$

$$\eta_1 = \frac{0,303}{0,96 \times 20,16} + \frac{4,301}{20,16} + 0,7 \times \frac{0,031}{20,16}$$

$$\eta_2 = \frac{0,303}{0,56 \times 20,16} + 0,7 \times \frac{4,301}{20,16} + \frac{0,031}{20,16}$$

$$\eta_1 = 0,23 \leq 1$$

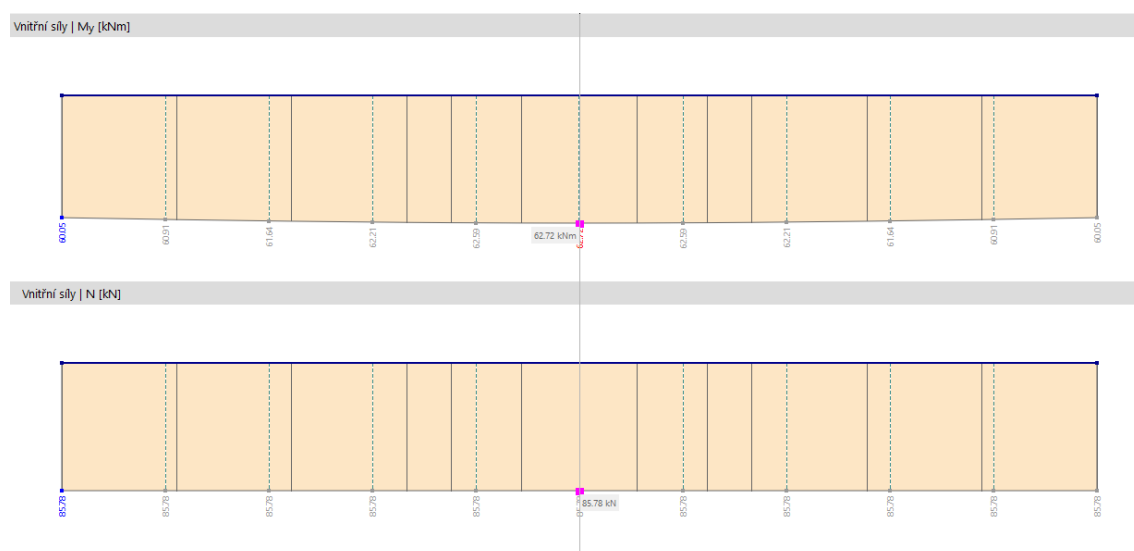
$$\eta_2 = 0,18 \leq 1$$

$$\eta = \max(\eta_1, \eta_2) = 0,23 \leq 1 \quad \rightarrow$$

VYHOVUJE

4.3.3.5. Posúdenie na klopenie

Posudok vychádza z 45. kombinácie zaťaženia.



Obrázok 35 - Priebeh vnútorných síl väznice

Zdroj: vlastné spracovanie

Návrhové vnútorné sily:

Návrhový ohybový moment: $M_{y,Ed} = 62,72 \text{ kNm}$

Hodnoty posudku:

Návrhová pevnosť v ohybe: $f_{m,d} = 20,16 \text{ MPa}$

Prierezový modul: $W_y = 0,0048 \text{ m}^3$

Návrhové napätie v ohybe: $\sigma_{m,y,d} = 13,069 \text{ MPa}$

Moment zotrvačnosti okolo osi y: $I_y = 0,00096 \text{ m}^4$

Moment zotrvačnosti okolo osi z: $I_z = 0,000194 \text{ m}^4$

Torzny moment: $I_{tor} = \frac{B^3 \times H}{3} \left(1 - 0,63 \frac{B}{H}\right)$

$$I_{tor} = \frac{0,18^3 \times 0,4}{3} \left(1 - 0,63 \frac{0,18}{0,4}\right)$$

$$I_{tor} = 0,000557 \text{ m}^4$$

Kritickú dĺžku stanovíme podľa:

Tabuľka 9 - Efektívna dĺžka pre stanovenie kritického ohybového momentu

Typ nosníka	Typ zaťaženia	ℓ_{ef}/ℓ^a
Prosto podoprený	konštatný moment	1,0
	spojité zaťaženie	0,9
	sústredná sila v strede rozpätia	0,8
Konzola	spojité zaťaženie	0,5
	sústredná sila na voľnom konci	0,8

^a Pomer medzi účinnou dĺžkou ℓ_{ef} a rozpätím ℓ platí pre nosník, ktorý je zaistený proti krúteniu v podporách a zaťažovaný v ťažisku. Pokiaľ zaťaženie pôsobí na tlačnom okraji nosníku, má sa ℓ_{ef} zvýšiť o $2h$ a môže sa znížiť o $0,5h$ pre zaťaženie na ťahanom okraji nosníka.

Zdroj: vlastné spracovanie

Efektívna dĺžka: $L_{ef} = L + 2 \times h$

$$L_{ef} = 4 + 2 \times 0,4$$

$$L_{ef} = 4,8 \text{ m}$$

Kritické ohybové napätie: $\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} \times I_z \times G_{05} \times I_t}}{L_{ef} \times W_y}$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \sqrt{10500 \times 0,000194 \times 540 \times 0,000557}}{4,8 \times 0,0048}$$

$$\sigma_{m,crit} = 106,927 \text{ MPa}$$

Relatívna štíhlosť okolo osi y: $\lambda_{rel} = 0,51$

Súčiniteľ klopenia sa stanoví podľa vzťahu v kapitole 4.3.2.5:

Súčiniteľ klopenia: $k_{crit} = 1$ (nosník sa neklopí)

Posudok:

$$\eta = \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \times f_{m,d}}$$

$$\eta = \frac{13,069}{1 \times 20,16}$$

$$\eta = 0,648 \leq 1$$

→

VYHOVUJE

4.3.4. Statický návrh základovej pätky

4.3.4.1. Vstupné údajové charakteristiky pre výpočet :

Pre drevo:

Tabuľka so vstupnými charakteristickými hodnotami použitého dreva pre statické posúdenie je uvedená v kapitole 4.3.1.1

Pre kolík S235 JR:

Pevnosť kolíka v ťahu: $f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}$

Všeobecné:

Dĺžka trvania zaťaženie: krátkodobé

Trieda použitia: 2

Modifikačný súčiniteľ: $k_{mod} = 0,9$

Parciálny súčiniteľ spoľahlivosti: $\gamma_M = 1,25$

Geometria stojky:

Uvedená v kapitole 4.3.1.1.

Geometria vsadenej ocele:

Hrúbka: $T = 10 \text{ mm}$

Geometria spojovacieho prvku:

Priemer kolíka: $d_x = 16 \text{ mm}$

Dĺžka kolíka: $L = 195 \text{ mm}$

Počet radov : $n_{rad} = 3$

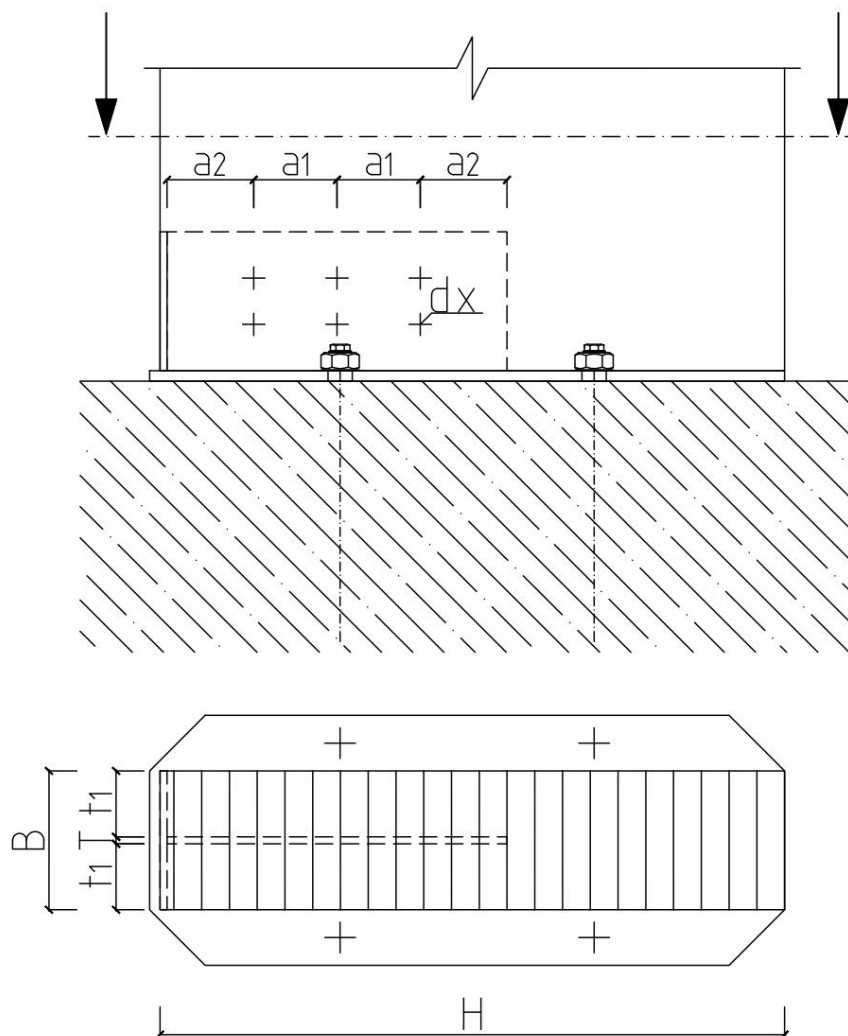
Počet kolíkov v rade: $n = 2$

Rozstup kolíkov: $a_1 = 120 \text{ mm}$

Od kraja: $a_2 = 125 \text{ mm}$

Konštrukčná geometria:

Zostatok dreva: $t_1 = t_2 = 90 \text{ mm}$



Obrázok 36 - Základová päťka so spojovacími prostriedkami
 Zdroj: vlastné spracovanie

4.3.4.2. Posúdenie spoja:

Posudok vychádza z 57. kombinácie zaťaženia.

Návrhové hodnoty:

Návrhová normálová sila: $N_{Ed} = 213,3 \text{ kN}$

Hodnoty posudku:

Plastický moment kolíka: $M_{y,RK} = 0,3 \times f_{u,k} \times d^{2,6}$

$M_{y,RK} = 0,3 \times 360 \times 16^{2,6}$

$M_{y,RK} = 145927 \text{ Nmm}$

$$\begin{aligned}
 \text{Pevnosť stien otvorov:} \quad f_{h,k,1} &= 0,082 \times (1 - 0,01 \times d) \times \rho \\
 f_{h,k,1} &= 0,082 \times (1 - 0,01 \times 16) \times 425 \\
 f_{h,k,1} &= 29,274 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

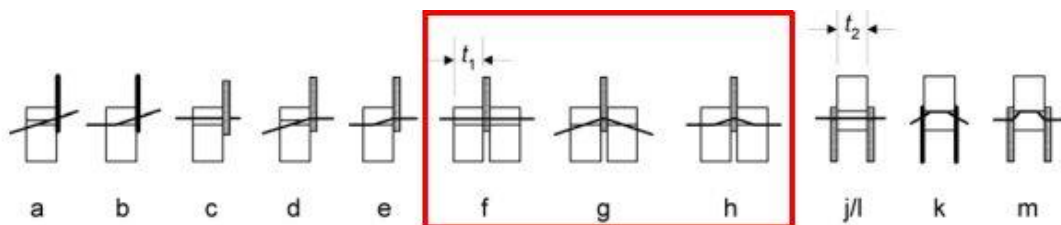
Charakteristická únosnosť 1 spojovacieho prostriedku:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1} \times t_1 \times d \\ f_{h,1,k} \times t_1 \times d \times \left(\sqrt{2 + \frac{4 \times M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \times d \times t_1^2}} - 1 \right) \\ 2,3 \times \sqrt{M_{y,Rk} \times f_{h,1,k} \times d} \end{cases}$$

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 29,274 \times 95 \times 16 \\ 29,274 \times 95 \times 16 \times \left(\sqrt{2 + \frac{4 \times 145927}{29,274 \times 16 \times 95^2}} - 1 \right) \\ 2,3 \times \sqrt{145927 \times 29,274 \times 16} \end{cases}$$

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 44496,48 \text{ N} \\ 47469,32 \text{ N} \\ 34254,49 \text{ N} \end{cases}$$

$$F_{v,Rk} = 34254,49 \text{ N}$$



Obrázok 37 - Mód zlyhania spojovacích prostriedkov
Zdroj: vlastné spracovanie

$$\begin{aligned}
 \text{Návrhová odolnosť kolíka v strihu:} \quad F_{v,Rd} &= \frac{2 \times F_{v,Rk} \times k_{mod}}{\gamma_M} \\
 F_{v,Rd} &= \frac{2 \times 34254,49 \times 0,9}{1,25} \\
 F_{v,Rd} &= 49326,463 \text{ N} \\
 \text{Odolnosť spoja:} \quad R_{N,d} &= n \times n_{rad} \times F_{v,Rd} \\
 R_{N,d} &= 2 \times 3 \times 49326,5 \\
 R_{N,d} &= 240662,1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Posudok:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{R_{N,d}}$$

$$\eta = \frac{213,3}{240,6}$$

$$\eta = 0,88 \leq 1$$

→

VYHOVUJE**4.3.5. Statický posudok spoja rámového rohu**

Dvojkříbová konstrukcia rámu si vyžaduje nepoddajné spojenie v rámovom rohu medzi stojkou a priečlou. Na základe toho sme sa rozhodli rámový roh realizovať prostredníctvom vlepéním 3 opieskovaných oceľových platní do zafrézovanej škáry v nosníkoch. Túto odfrézovanú hmotu z nosníkov sme museli odpočítat' z celkovej šírky materiálu. Spojivo medzi drevom a oceľou je dvojzložkové epoxidové lepidlo od firmy Rothoblaas pod označením XEPOX. Výrobca si stráži zloženie lepidla a prístup k bližším informáciám je obmedzený. Po registrácii na ich webovej stránke, človek dostane k dispozícii excelovský súbor na posúdenie spojov. Vypracovaný súbor je obsiahnutý v prílohe.

4.3.5.1. Vstupné údajové charakteristiky pre výpočet :**Pre drevo:**

Tabuľka so vstupnými charakteristickými hodnotami použitého dreva pre statické posúdenie je uvedená v kapitole 4.3.1.1

Pre oceľ:

Tabuľka 10 - Vlastností materiálových charakteristík pre oceľ S275

Vlastnosť	Značka	Jednotka	S275
Medza klzu	f_y	Mpa	275
Medza pevnosti	f_u	Mpa	450

Zdroj: vlastné spracovanie

Dĺžka trvania zaťaženie: krátkodobé

Trieda použitia: 2

Pre drevo:

Modifikačný súčiniteľ:	$k_{mod} =$	0,9
Parciálny súčiniteľ spoľahlivosti:	$\gamma_M =$	1,25

Pre oceľ:

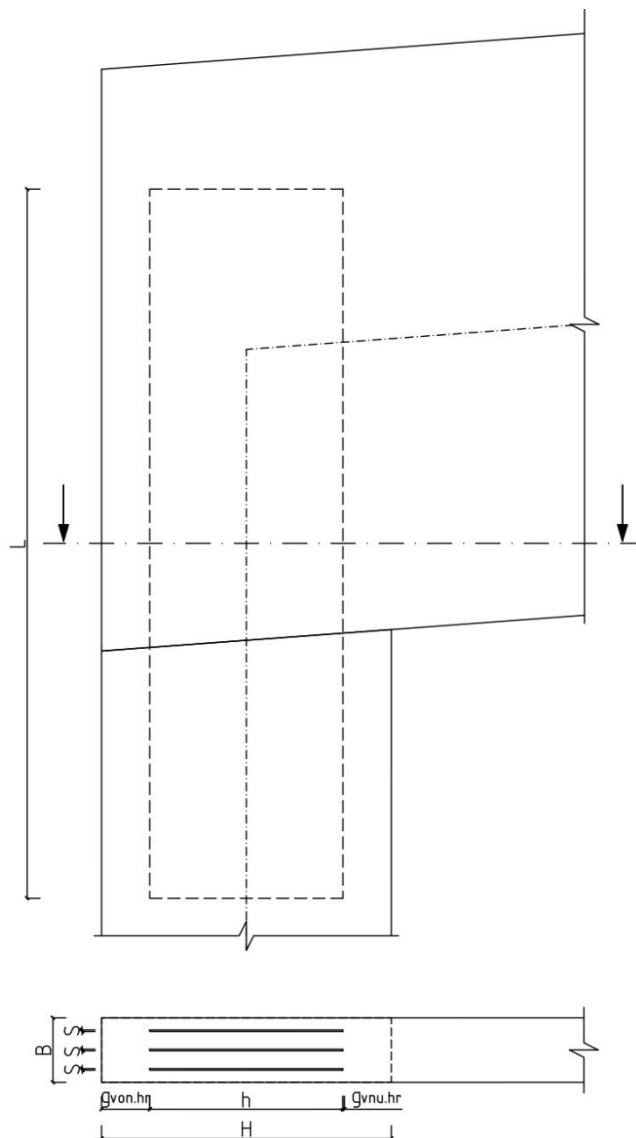
Parciálny súčiniteľ spoľahlivosti:	$\gamma =$	1
------------------------------------	------------	---

Geometria drevených prvkov

Šírka :	$B =$	200mm
Výška:	$H =$	900mm
Uhol stojky voči horizontálnej osi:	90°	
Uhol priečle voči horizontálnej osi:	184°	

Geometria vlepéných oceľových platní

Počet oceľových platní:	$n =$	3
Hrúbka oceľovej platne:	$S =$	5 mm
Výška oceľovej platne:	$h =$	600mm
Odsadenie platne a dreva od vonkajšieho kraja: $g_{von.hr.} =$		150mm
Odsadenie platne a dreva od vnútorného kraja: $g_{vnu.hr.} =$		5mm
Celková dĺžka oceľovej platne:	$L =$	2000mm



Obrázok 38 - schematický obrázok rohového spoja
Zdroj: vlastné spracovanie

Návrhové vnútorné sily:

Návrhová normálová sila: $N_{Ed} = -127,1 \text{ kN}$

Návrhová šmyková sila: $V_{Ed} = -146,8 \text{ kN}$

Návrhový ohybový moment: $M_{Ed} = -284 \text{ kNm}$

Hodnoty posudku

Návrhové napätie v oceli (Von Mises): $\sigma_s = 210,2 \text{ MPa}$

Návrhová pevnosť v ohybe: $f_{m,d} = 20,16 \text{ MPa}$

Návrhové napätie v ohybe: $\sigma_{m,,d} = 14,79 \text{ MPa}$

Návrhová pevnosť v šmyku:	$f_{c,d} =$	20,16 MPa
Návrhové napätie v tlaku:	$\sigma_{c,d} =$	0,79 MPa
Návrhová pevnosť v šmyku:	$f_{v,z,d} =$	2,52 MPa
Návrhové šmykové napätie:	$\tau_{xz,d} =$	0,76 MPa
Návrhová pevnosť vo valivom šmyku:	$f_{r,d} =$	0,864 MPa
Návrhové napätie vo valivom šmyku:	$\tau_{r,d} =$	0,17MPa
Súčiniteľ závislý na tvare prierezu:	$k_{shape} =$	$1 + 0,15 \frac{H}{B}$
	$k_{shape} =$	$1 + 0,15 \frac{0,9}{0,2}$
	$k_{shape} =$	1,675
Návrhové torzné napätie:	$\tau_{tor} =$	1,62 MPa

Posudky pre drevo:

Ohyb + tlak:

$$\eta = \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \quad \eta = \frac{\sigma_{c,d}}{f_{c,d}} \quad \eta = \frac{\sigma_{c,d}}{f_{c,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}}$$

$$\eta = \frac{14,79}{20,16} \quad \eta = \frac{0,79}{20,16} \quad \eta = \frac{0,79}{20,16} + \frac{14,79}{20,16}$$

$$\eta = 0,73 \leq 1 \quad \eta = 0,04 \leq 1 \quad \eta = 0,77 \leq 1 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Šmyk:

$$\eta = \frac{\tau_{xz,d}}{f_{v,z,d}} \quad \eta = \frac{\tau_{r,d}}{f_{r,d}}$$

$$\eta = \frac{0,76}{2,52} \quad \eta = \frac{0,17}{0,864}$$

$$\eta = 0,30 \leq 1 \quad \eta = 0,20 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Krútenie:

$$\eta = \frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} \times f_{v,z,d}}$$

$$\eta = \frac{1,62}{1,675 \times 2,52}$$

$$\eta = 0,37 \leq 1 \quad \rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posudok pre ocel'ové platne:

$$\eta = \frac{\sigma_s}{f_{y,d0}}$$

$$\eta = \frac{210,2}{275}$$

$$\eta = 0,76 \leq 1$$

→

VYHOVUJE

4.3.6. Statický posudok zavetrovacieho prútu

Zavetrenie strechy a stien je vytvorené prostredníctvom ocel'ových ťahadiel. Ťahadlá spadajú pevnostnú kategóriu S355. V konštrukcii sú pripevňované v osiach hlavných nosných elementov.

4.3.6.1. Vstupné údajové charakteristiky pre výpočet :

Pre oceľ:

Tabuľka 11 - Vlastností materiálových charakteristík pre oceľ S355

Vlastnosť	Značka	Jednotka	S275
Medza klzu	f_y	Mpa	355
Medza pevnosti	f_u	Mpa	510

Zdroj: vlastné spracovanie

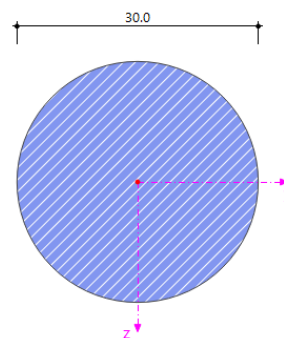
Dĺžka trvania zaťaženie: krátkodobé

Trieda použitia: 2

Parciálny súčiniteľ spoľahlivosti: $\gamma_M =$ 1

Geometria prvkov:

Priemer: d = 30mm



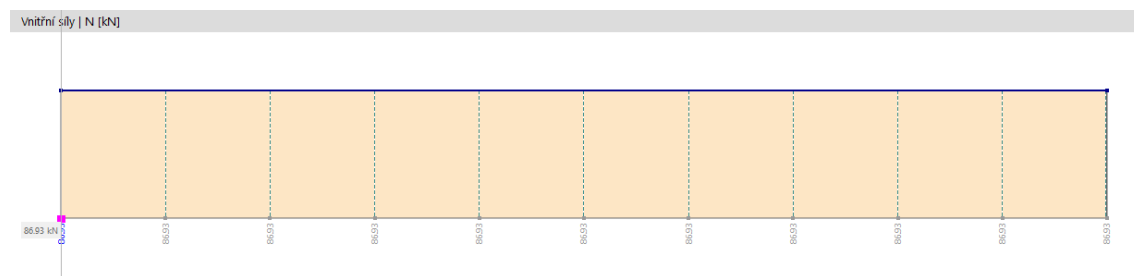
Obrázok 39 - Prierez ťahadla

Zdroj: Vlastné spracovanie

4.3.6.2. Posúdenie na ťah:

Návrhové vnútorné sily:

Návrhová normálová sila: $N_{Ed} = 86,93 \text{ kN}$



Obrázok 40 - Priebeh vnútorných síl ťahadla

Zdroj: vlastné spracovanie

Hodnoty posudku

Plastická osová únosnosť: $N_{pl} = 250,985 \text{ kN}$

Návrhová plastická osová únosnosť: $N_{pl,Rd} = \frac{N_{pl}}{\gamma_M}$

$$N_{pl,Rd} = \frac{250,985}{1}$$

$N_{pl,Rd} = 250,985 \text{ kN}$

Posudok:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

$$\eta = \frac{86,93}{250,985}$$

$$\eta = 0,346 \leq 1$$

→

VYHOVUJE

5. Vyhodnotenie návrhu

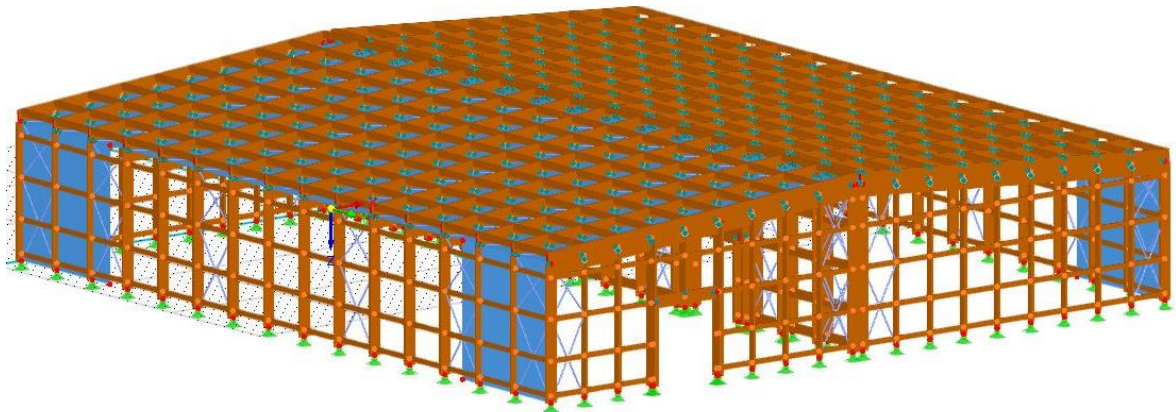
Pre vytvorenie nosnej konštrukcie rámu sme museli využiť dvojloďový systém usporiadania. Nutnosť využiť takýto systém pramení z požiadaviek investora. Ten plánuje najskôr postaviť jednu časť haly a s časovým rozdielom približne 3 rokov pristaviť druhú časť. Jedna loď je zrkadlová kópia druhej a je tvorená z 16 dvojklbových rámov – celkovo 32 rámov. Rámy sú od seba osovo vzdialené 4m. Táto vzdialenosť nám taktiež reprezentuje zaťažovaciu šírku, ktorá nám neskôr vstupuje do výpočtov zaťaženi pôsobiacich na objekt. Celková hala zastrešuje plochu o rozmere 56,2x60,6m. Sklon strešnej konštrukcie zodpovedá 4°.

Vo všeobecnosti nám na skladovú halu pôsobia 3 druhy zaťaženi – stále zaťaženie, zaťaženie vyvolané pôsobením snehu a zaťaženie od vetra. Veľkosť zaťaženi sme určili podľa normy STN EN 1991. Stále zaťaženie nám vplyva na konštrukciu po celú dobu jej životnosti. V našom prípade sa jedná najmä o konštrukciu strechy a prídavné fotovoltaické panely. Zaťaženie snehom a vetrom nám vychádzajú zo samotného geografického umiestnenia stavby. Zaťaženie snehom bolo zastúpené 3 rozdielnymi scenármi pôsobenia, kde sme vzali do úvahy symetrické a nesymetrické alternatívy uloženia snehu na streche. Kvôli veľkosti objektu a s tým spojeného rozdielneho pôsobenia vetru na steny a strechu objektu sme museli prerozdeliť plochy, na ktoré nám pôsobí vietor pre 4 rôzne alternatívy samostatne. Jednotlivé zaťaženia sme vložili do statického programu RFEM Dlubal.

Výsledky zo zaťaženi nám vypočítali celkové pôsobenie síl v konštrukcii. Na základe týchto údajov sme mohli stanoviť jednotlivé spoje v konštrukčných detailoch. Aby sa zachovala jednota použitých materiálov a prierezov stojky rámu zdieľajú rovnaký rozmer prierezu 200x900mm z G128h. Priečle sú obdobne plnostenné nosníky prierezu 200x1800mm z G128h. V statických posudkoch vyšli stojky a priečle do 75% využitia, a preto by sme mohli ďalej uvažovať buď s redukciov rozmerov prierezov alebo zvoliť materiál nižších pevnostných vlastností (kvôli úspore financií). Rámový roh je vyhotovený ako lepený s vlepovanými oceľovými platňami. Spoj vyšiel ako predimenzovaný ale z dôvodu lepšieho prenosu síl zo strechy do základov sme sa rozhodli spoj ponechať. Stĺpy sú pripevňované k základom cez atypické oceľové pätky. Stojka je s pätkou spriahnutá za pomoci 6 oceľových kolíkov (S275).

Priestorové stuženie konštrukcie bolo zabezpečené prostredníctvom oceľových ťahadiel a väzníc. Väznice boli navrhnuté z prierezu 180x400mm z G128h. Osová vzdialenosť väzníc v strešnej rovine je 3m a ich horná hrana tvorí jednu výškovú úroveň s hranou priečle. Konštrukciu ešte spevňuje trapézový plech TN-135, s ktorým ale vo výpočtoch stability neuvažujeme. Ťahovú zložku z horizontálnych účinkov vetra preberajú oceľové ťahadlá z materiálu S355o priemere 30mm umiestnené v osiach namáhaných prvkov. Stenové stuženie je zabezpečené prostredníctvom horizontálnych priehradových prútov o priemere 140x280mm z G128h umiestnenými medzi stôjkami.

Štítová stena je vytvorená zo stĺpov o rozmere 180x400mm z G128h (obdobne ako väznice). Medzi jednotlivými stĺpmi sa nachádzajú priehradové prúty o priemere 140x280mm z G128h. Stĺpy preberajú najmä zaťaženie od vetra, ktoré je následne prostredníctvom ťahadiel a väzníc prenášané medzi priečle.



Obrázok 41 - Výsledný 3D model haly v programe RFEM Dlubal
Zdroj: vlastné spracovanie

6. Záver

Cieľom diplomovej práce bolo navrhnuť drevenú nosnú konštrukciu skladovej haly, s tým že budú zachované pôvodné rozmery, architektúra a požiadavky investora. Pred samotným návrhom bolo potrebné si naštudovať staticko-konštrukčné princípy veľkorozponových objektov. Nasledovalo zvolenie konštrukcie. Pri výbere sme vychádzali z viacerých alternatív, až napokon sme sa rozhodli pre dvojloďový systém pozostávajúci z dvojkĺbových rámov. Výpočet zaťaženi bol uskutočnený podľa odpovedajúcich noriem STN EN 1991.

Návrhy prierezov boli vypočítané a posúdené podľa STN EN 1998-1-1. Vstupné hodnoty návrhových vnútorných síl vyplývajúcich zo zadaných zaťažení boli použité pri posudzovaní prierezov v statickom programe. Všetky posudzované prvky a spojovacie materiály vyhoveli na medzný stav použiteľnosti a medzný stav únosnosti.

Z tejto diplomovej práce vyplýva, že drevo je viac než vhodný materiál na vyhotovovanie veľkorozponových konštrukcií. Tento trend sa v západných krajinách používa s obľubou dlhú dobu. Najfrekvencovanejší materiál je lepené lamelové drevo (LLD), v praxi známe ako BSH. Tento materiál sa vyznačuje lepšimi materiálovými charakteristikami ako masívne drevo. Výhodou je možnosť vytvorenia rôznych tvarov nosníkov.

Bibliografia

- [1] ANGST, V., AUGUSTIN, M., BELL, K. 2008. *Příručka 1 – Dřevěné konstrukce*, Leonardo da Vinci Pilot Project, CZ/06/B/F/PP/168007, Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures
- [2] KULÍK, P. 2005. *Dřevěné konstrukce*. Praha: technická knihovna, 171 s. ISBN 80-86769-72-0
- [3] ŠTEFKO, J.- REINPRECHT, L.- KUKLÍK, P. 2009. *Dřevěné stavby – konstrukce, ochrana a údržba..* Bratislava: JAGA GROUP, spol. s.r.o, 2009. 196 s. ISBN 978-80-8076-080-9.
- [4] SOYKA, R. *Skriptá drevostavby*. Zvolen 2015
- [5] SOYKA, R. *Rámy 2022 – Prednáška z predmetu „Halové a mostové konštrukcie“*. [PDF dokument] Získané z: Microsoft Teams.
- [6] BŘEZINA, M. 2019. *Návrh a optimalizace rámových rohů dřevěných hal* : diplomová práce. Praha : ČVUT, 2019. 125s
- [7] KOŽELUCH, B. 1998. *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5 STEP 1*, Zlín : KODR, 1998, ISBN 80-238-2620-4

Normy:

- [8] SLOVENSKÝ ÚSTAV TECHNICKEJ NORMALIZÁCIE, 2008, Eurokód 5 Navrhovanie drevených konštrukcií - STN 1998-1-1+A1 (73 1701), Bratislava: Slovenský ústav technickej normalizácie, 2008. 114 s.
- [9] STN EN 1991-1-1 : 2012: Eurokód 1, Zaťaženia konštrukcií, Časť 1-1: Všeobecné zaťaženia, Objemová tiaž, vlastná tiaž a úžitkové zaťaženia budov
- [10] STN EN 1991-1-3 : 2012: Eurokód 1, Zaťaženia konštrukcií, Časť 1-3: Všeobecné zaťaženia, Zaťaženia snehom
- [11] STN EN 1991-1-4/NA : 2012: Eurokód 1, Zaťaženia konštrukcií, Časť 1-4: Všeobecné zaťaženia, Zaťaženia vetrom
- [12] STN EN 14080:2013: Drevené konštrukcie. Lepené lamelové drevo a lepené masívne drevo. Požiadavky.

Internetové zdroje:

- [13] Katalóg produktov spoločnosti SIMPSON Strong-Tie. Dostupné na: <https://www.calameo.com/read/000764082865e12fe30f0>

- [14] Katalóg produktov spoločnosti Rothoblaas, Dostupné na:
<https://issuu.com/rothoblaas/docs/skrutky-a-konektory-do-dreva-sk-sk?mode=embed>
- [15] Wikipédia pre statiku od spoločnosti Dlubal. Dostupné na:
<https://www.dlubal.com/cs/reseni/online-sluzby/glosar/000365>
- [16] KATUNSKÝ, D. 2003. *Priemyselné halové objekty: vývoj konštrukcií a funkčné požiadavky*. Košice: Technická Univerzita v Košiciach, November 2003. ISBN 80-8073-001-6. Dostupné na:
https://www.researchgate.net/publication/290440357_Priemyselne_halove_objekty_vyvoj_konstrukcii_a_funkcne_poziadavky
- [17] DAŇKOVÁ, D. 2008. *Zastrešenie hál a telocviční pomocou drevených konštrukcií*. [online]. Dostupné na:
<https://www.istavebnictvo.sk/clanky/zastresenie-hal-a-telocvicni-pomocou-drevenych-kon>
- [18] JIRKA, V. 2011. *Konstrukční systémy pozemních staveb: Stavební soustavy halových objektů namáhané převážně tlakem*. [online]. Praha: Český vysoký učení technický v Praze. 2011. Dostupné na internete:
<http://docplayer.cz/24055582-Konstrukcni-systemy-pozemnich-staveb-stavebni-soustavy-halovych-objektu-namahane-prevazne-tlakem.html>

Prílohy:

Príloha A : Výkresová dokumentácia

- Pôdorysy
- Konštrukčné výkresy
- Pohľady
- Detaily
- Výrobné výkresy

Príloha B : Výstup zo statického programu Dlubal RFEM

- Základné objekty
- Zaťažovacie stavy
- Výsledky statickej analýzy
- Posúdenie drevených konštrukcií
- Posúdenie oceľových konštrukcií

Príloha C : Statický posudok rámového rohu – Rothoblaas