

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270017 – Konstruování strojů a technických zařízení

Studijní specializace: Konstruování vozidel a manipulačních zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Posouzení konstrukčního návrhu ocelové konstrukce s ohledem na různé přístupy k jejímu dimenzování

Autor: Bc. Pavel NOVÝ

Vedoucí práce: Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.

Akademický rok 2022/2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel NOVÝ**
Osobní číslo: **S21N0061P**
Studijní program: **N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení**
Specializace: **Konstruování vozidel a manipulačních zařízení**
Téma práce: **Posouzení konstrukčního návrhu ocelové konstrukce s ohledem na různé přístupy k jejímu dimenzování**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Osnova práce:

1. Konstrukční návrh konstrukce podle zadaných požadavků
2. Vyhodnocení konstrukce s ohledem na dovozená napětí
3. Vyhodnocení konstrukce s ohledem na mezní stavy
4. Vyhodnocení získaných poznatků

Rozsah diplomové práce: **40-60**
Rozsah grafických prací: **podle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

MACHÁČEK, Josef. *Navrhování ocelových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-8 ; Navrhování hliníkových konstrukcí : příručka k ČSN EN 1999-1*. Praha
HOLICKÝ, Milan, Jana MARKOVÁ a Miroslav SÝKORA. *Zatížení stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1991*. Praha
PILGR, Milan. *Kovové konstrukce: navrhování prvků ocelových konstrukcí*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019.
ČSN EN 1991-1-1
ČSN EN 1993-1-1
ČSN EN 1990-1-1

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání diplomové práce: **30. listopadu 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2023**

L.S.

Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.
děkan

Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Nový	Jméno Pavel	
STUDIJNÍ PROGRAM	N0715A270017 – Konstruování strojů a technických zařízení		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Prof. Ing. Lašová, Ph.D.	Jméno Václava	
PRACOVISŤE	ZČU - FST – KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Posouzení konstrukčního návrhu ocelové konstrukce s ohledem na různé přístupy k jejímu dimenzování		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2023
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	76	TEXTOVÁ ČÁST	61	GRAFICKÁ ČÁST	15
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce obsahuje srovnání dvou přístupů k dimenzování ocelových konstrukcí – metoda mezních stavů a metoda dovolených napětí. Srovnání je zde provedeno formou rešerše a aplikací na konkrétním příkladu. Modely, výpočty a výkresy jsou vytvořeny pomocí programů Dlubal Rstab, Fin Ec a Siemens NX.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Ocelová konstrukce, MKP, CAD, dimenzování

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Nový	Name Pavel	
STUDY PROGRAMME	N0715A270017 – Design of machines and technical equipment		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Prof. Ing. Lašová, Ph.D.	Name Václava	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Assessment of the structural design of a steel structure with regard to different approaches to dimensioning		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KKS	SUBMITTED IN	2023
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	76	TEXT PART	61	GRAPHICAL PART	15
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Diploma thesis discusses the comparison of two approaches to the calculation of steel structures – the limit state method and the permissible stress method. The comparison is made by means of a research and application to a concrete example. Models, calculations and drawings are created using Dlubal Rstab, Fin Ec, Siemens NX and AutoCad.
KEY WORDS	Steel structure, FEM, CAD, calculations

Poděkování

Rád bych poděkoval Prof. Ing. Václavě Lašové Ph.D. za cenné rady, vstřícnost a celkovou pomoc při psaní této diplomové práce. Děkuji také Ing. Františku Sedláčkovi Ph.D. a Ing. Petru Keslovi Ph.D. za věcné připomínky a jejich čas, který mi věnovali při konzultacích.

Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	4
Seznam obrázků	5
Seznam tabulek	6
1 Úvod.....	8
2 Představení konstrukce.....	9
2.1 Ideový návrh autora	9
2.2 Účel a umístění konstrukce.....	10
2.3 Realizace.....	10
2.4 Posouzení postupu výpočtu konstrukce.....	11
3 Obecná teorie návrhu konstrukcí.....	12
3.1 Spolehlivost	12
3.2 Princip navrhování.....	12
4 Metoda dovolených napětí	13
5 Metoda mezních stavů.....	15
5.1 Jednoduchý příklad a popis	16
5.2 Druhy mezních stavů	17
5.3 Návrhové situace	17
5.4 Klasifikace zatížení.....	18
5.4.1 Klasifikace dle původu zatížení	18
5.4.2 Klasifikace dle působení v čase	18
5.4.3 Klasifikace dle proměnlivosti v prostoru	18
5.4.4 Klasifikace dle povahy zatížení a odezvy konstrukce.....	18
5.5 Postup statického výpočtu	19
5.5.1 Obecné schéma postupu statického výpočtu.....	19
5.5.2 Zatěžovací stavy.....	19
5.5.3 Kombinace zatěžovacích stavů	20
5.6 Přehled Eurokódů	22
6 Konstrukční návrh.....	24
6.1 Upřesnění – změny v návrhu	24
6.2 Prvotní návrh konstrukce haly	24
6.3 Ukotvení konstrukce.....	25
7 Určení zatížení na konstrukci	26
7.1 Vlastní váha	26

7.2	Zatížení od vlastní tíhy skleněných tabulí	26
7.3	Zatížení od vlastní tíhy dřevěné podlahy.....	27
7.4	Zatížení od vystavovaných předmětů a zatížení vzniklé osobami	28
7.5	Zatížení zábradlí	30
8	Zvolené postupy posouzení konstrukce	31
8.1	Postup při vzájemném porovnání více výpočtových modelů	31
8.1.1	Vlastní hmotnost konstrukce	32
8.1.2	Modální analýza – vlastní tvary konstrukce.....	32
8.1.3	Reakce podpor při působení pouze vlastní váhy konstrukce	32
8.1.4	Zadání zatěžovacích účinků	33
9	První typ posouzení – účinky zatížení.....	40
9.1	Porovnání vstupních parametrů	40
9.1.1	Vlastní váha konstrukce	40
9.1.2	Vlastní tvary konstrukce.....	40
9.1.3	Reakce podpor – zatížení pouze vlastní vahou konstrukce.....	40
9.2	Metoda dovolených napětí.....	41
9.2.1	Prutový výpočtový model	41
9.2.2	Zatěžovací stavy	42
9.2.3	Výsledky výpočtu.....	42
9.2.4	Výpočtový model – 2D a 3D síť	44
9.2.5	Posouzení svarového spoje dle ČSN 05 0120.....	46
9.3	Metoda mezních stavů	48
9.3.1	Prutový výpočtový model	48
9.3.2	Zatěžovací stavy	48
9.3.3	Práce s kombinacemi.....	49
9.3.4	Výsledky výpočtu.....	50
9.4	Zhodnocení výsledků obou metod.....	51
10	Druhý typ posouzení – dimenzování.....	52
10.1	Porovnání vstupních parametrů	52
10.1.1	Vlastní váha konstrukce	52
10.1.2	Vlastní tvary konstrukce.....	52
10.1.3	Reakce podpor – zatížení pouze vlastní vahou konstrukce.....	53
10.2	Metoda dovolených napětí.....	53
10.2.1	Zatěžovací stavy	54
10.2.2	Postup dimenzování	54

10.2.3	Výsledky.....	55
10.3	Metoda mezních stavů	56
10.3.1	Zatěžovací stavy.....	56
10.3.2	Výsledky.....	57
10.4	Zhodnocení výsledků obou metod.....	59
11	Závěr.....	61
12	Seznam použitých zdrojů	62
PŘÍLOHA č. 1.....		i
13	Lehké tenkostěnné ocelové konstrukce.....	ii
13.1	Přednosti LGSF konstrukcí.....	ii
13.1.1	Vysoká přesnost a rychlost výroby	ii
13.1.2	Nízká hmotnost a vysoká pevnost.....	ii
13.1.3	Dlouhá životnost a vysoká odolnost.....	iii
13.1.4	Rozměrová stabilita.....	iii
13.2	Postup výroby	iii
13.2.1	Polotovary	iii
13.2.2	Činnost speciálního válcovacího stroje.....	iv
13.2.3	Sestavování dílců.....	v
13.3	Využití LGSF konstrukcí.....	vi
13.3.1	Konstrukce rodinných domů, přístaveb a vestaveb.....	vi
13.3.2	Konstrukce vícepatrových bytových a administrativních staveb a průmyslové stavby	vi
13.3.3	Nosné konstrukce – příhradové nosníky, rámové konstrukce a podobné	vi
13.3.4	Konstrukce Tiny house.....	vii
13.4	Transport a manipulace na stavbě.....	viii
13.5	Porovnání nosníků	ix
PŘÍLOHA č. 2.....		x

Přehled použitých zkratek a symbolů

AS FST	Akademický senát FST
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
EU	Evropská unie
FST	Fakulta strojní
IS/STAG	Informační systém STAG
KKS	Katedra konstruování strojů
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni
DP	Diplomová práce
ČKAIT	Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě
MSÚ	Mezní stav únosnosti
MSP	Mezní stav použitelnosti
LGSF	Light gauge steel framing (lehká tenkostěnná ocelová konstrukce)
MKP	Metoda konečných prvků

Seznam obrázků

Obr. 1: Ideový návrh autora [1].....	9
Obr. 2: Hlavní rozměry konstrukce-ideový návrh [1].....	10
Obr. 3: Realizace konstrukce - DEPO 2015 [2]	10
Obr. 4: Realizace konstrukce - pohled uvnitř konstrukce [3]	11
Obr. 5: Obecné schéma postupu návrhu konstrukcí.....	12
Obr. 6: Schéma dílčích součinitelů [4].....	15
Obr. 7: Postup statického výpočtu [5].....	19
Obr. 8: Prutový model konstrukce haly	24
Obr. 9: Rozdělení konstrukce haly na podsestavy	25
Obr. 10: Zatížení od skleněných tabulí	27
Obr. 11: Zatížení od vlastní tíhy dřevěné podlahy	27
Obr. 12: Užité zatížení	29
Obr. 13: Grafické schéma postupu posouzení konstrukce	31
Obr. 14: 80x80x5, Obr. 15: ČSN EN 10219-2: 80x80x5.....	32
Obr. 16: Vlastní hmotnost konstrukce haly v závislosti na detailu průřezu.....	32
Obr. 17: Generátor zatížení – reakce podpor ve směru Z	33
Obr. 18: Generování liniového zatížení	34
Obr. 19: Generátor zatížení – průběh zatížení a deformace na prutu č.1	34
Obr. 20: Generátor zatížení – průběh zatížení a deformace na prutu č.2.....	34
Obr. 21: Příklad výpočtu liniového zatížení dle zatěžovacích šířek	35
Obr. 22: Rozložení dle zatěžovacích šířek – reakce podpor ve směru Z	36
Obr. 23: Rozložení dle zatěžovacích šířek – průběh zatížení a deformace na prutu č.1	36
Obr. 24: Rozložení dle zatěžovacích šířek – průběh zatížení a deformace na prutu č.2.....	37
Obr. 25: Schéma postupu při zadávání zatížení jednotkovou silou	37
Obr. 26: Zatížení jednotkovou silou – reakce podpor ve směru Z.....	38
Obr. 27: Zatížení jednotkovou silou – deformace prutu č.1.....	38
Obr. 28: Zatížení jednotkovou silou – deformace prutu č.2.....	39
Obr. 29: FIEN EC – Vlastní tvar č.1: 5,669 Hz	
Obr. 30: Siemens NX – Vlastní tvar č.1: 5,856 Hz.....	40
Obr. 31: Zobrazení zvolených styčnicků konstrukce k porovnání.....	41
Obr. 32: Prutový model zasít'ovaný 1D sítí	41
Obr. 33: Celkové zatížení konstrukce všemi čtyřmi typy zatížení.....	42
Obr. 34: Reakce Fz.....	43
Obr. 35: Posunutí.....	43

Obr. 36: Průběh napětí	43
Obr. 37: Symetrie – definované vazby a použití sítě	44
Obr. 40: Zadání jednotkové síly na jednotlivá pole	45
Obr. 41: LGSF konstrukce domu [9]	ii
Obr. 42: Polotovar – kotouče svinutých plechů	iii
Obr. 43: Odvíjecí zařízení	iv
Obr. 44: Stroj FrameCAD F325iT-L [8]	iv
Obr. 45: Stroj FrameCAD F325iT-L – pohled dovnitř stroje	v
Obr. 46: Stroj FrameCAD F325iT-L – při provozu	v
Obr. 47: vizualizace LGSF konstrukce domu [9]	vi
Obr. 48: vizualizace LGSF konstrukce vícepatrové stavby [9]	vi
Obr. 49: LGSF příhradové nosníky [9]	vii
Obr. 50: Tiny house.....	vii
Obr. 51: Přeprava prefabrikovaných dílců – vertikálně	viii
Obr. 52: Přeprava prefabrikovaných dílců – horizontálně	viii
Obr. 53: Stavba vícepodlažního domu – Porirua, Nový Zéland	ix

Seznam tabulek

Tabulka 1: příklady účinků zatížení a odolnosti [4].....	12
Tabulka 2: Model stanovení minimálního koeficientu bezpečnosti dle J.P.Visodic. [5].....	13
Tabulka 3: Pomocný model dle Pugsley, A.G – tabulka 1 [5].....	14
Tabulka 4: Pomocný model dle Pugsley, A.G – tabulka 2 [5].....	14
Tabulka 5: Užité kategorie [9]	28
Tabulka 6: Charakteristické hodnoty užitého zatížení [9]	29
Tabulka 7: Porovnání přístupů k rozložení plošného zatížení na liniové	39
Tabulka 8: Porovnání vlastní váhy konstrukce	40
Tabulka 9: Porovnání vlastních tvarů kmitání	40
Tabulka 10: Tabulka pro výpočet jednotkového zatížení	42
Tabulka 11: Převodní součinitele svarového spoje [11]	46
Tabulka 12: Zatěžovací stavy.....	48
Tabulka 13: Kombinace pro posouzení mezního stavu únosnosti (MSÚ).....	48
Tabulka 14: Kombinace pro posouzení mezního stavu použitelnosti (MSP)	49
Tabulka 15: Porovnání výsledků obou metod.....	51
Tabulka 16: Kombinace č.2 pro posouzení mezního stavu únosnosti	51

Tabulka 17: Porovnání vlastní váhy konstrukce	52
Tabulka 18: Porovnání vlastních tvarů kmitání	52
Tabulka 19: Vyhodnocení výsledků – metoda dovolených napětí	55
Tabulka 20: Zatěžovací stavy	56
Tabulka 21: Některé kombinace pro posouzení mezního stavu únosnosti (MSÚ)	57
Tabulka 22: Některé kombinace pro posouzení mezního stavu použitelnosti (MSP)	57
Tabulka 23: Kombinace č.5 (MSÚ) - rozhodující zatěžovací případ	58
Tabulka 24: Vyhodnocení výsledků – metoda mezních stavů	59
Tabulka 25: Porovnání výsledků obou metod	59

1 Úvod

Pokud chceme vytvořit určitý výrobek/produkt, první a zcela zásadní otázkou je – pro jaký účel bude využíván – k čemu bude sloužit. Od této první charakteristiky se odvíjí všechny následující kroky. Například volba oboru, který se danou problematikou zabývá. Někdy však ani toto základní rozdělení není tak úplně zřejmé. U ocelových konstrukcí je to obdobné. Známe například účel a využití konstrukce, může ale nastat situace, kdy nejsme schopni jasně definovat do jakého oboru daná problematika spadá. Může se totiž stát, že využití konstrukce je něčím specifické a je na pomezí dvou oborů – v našem případě oborů strojírenství a stavebnictví. Obory strojní a stavební jsou velice rozsáhlé a vzájemně se v některých oblastech protínají. Je tomu tak i u ocelových konstrukcí. Oba obory mají však k vyhodnocení a dimenzování ocelových konstrukcí odlišné přístupy.

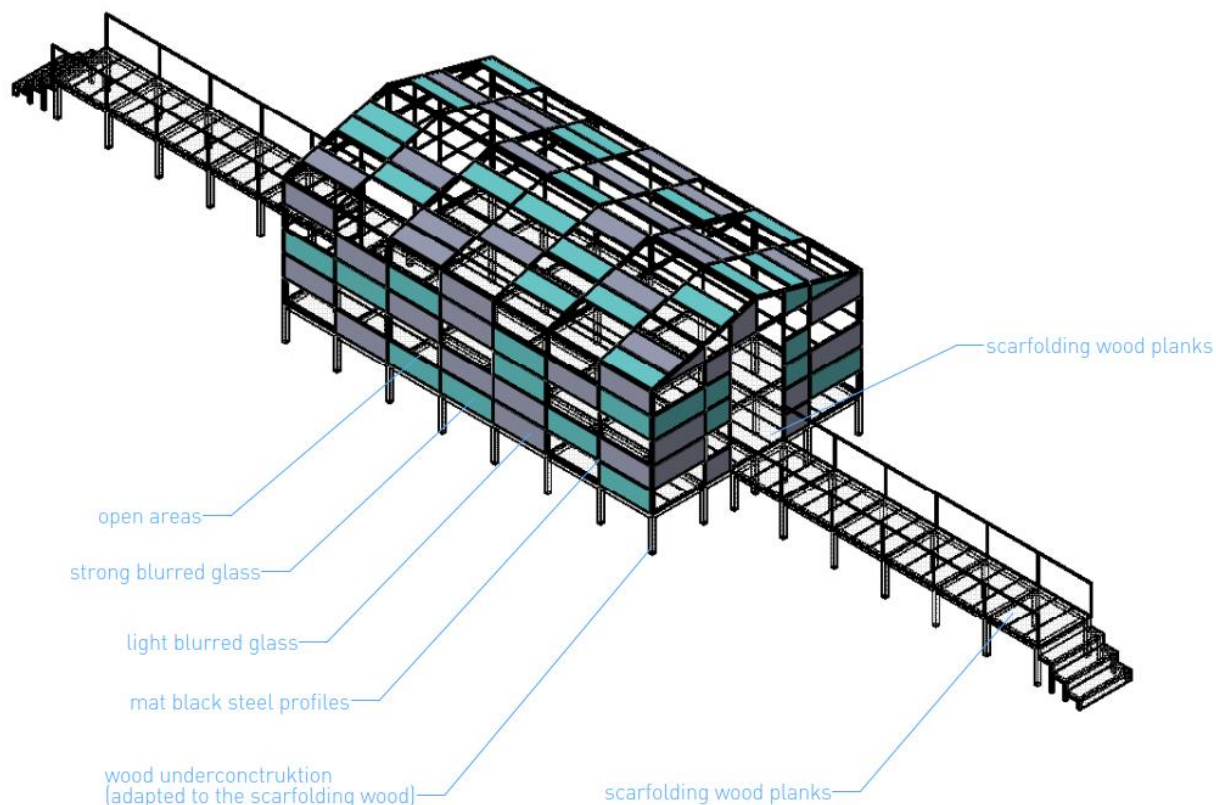
Tato diplomová práce se zabývá posouzením obou přístupů k dimenzování konkrétní ocelové konstrukce, jejíž účel se právě na tomto pomyslném pomezí nachází. Na začátku práce je představen ideový návrh konstrukce a zadané požadavky. Dále jsou popsány obě metody dimenzování – metoda s ohledem na dovolená napětí (uvažováno jako pohled strojní) a metoda s ohledem na mezní stavy (uvažováno jako pohled stavební). V této části jsou uvedeny jak obecné principy obou metod, tak i jejich konkrétní aplikace. Jsou zde definovány dva konkrétní typy posouzení, které mají za cíl obě metody zřetelně porovnat. První typ posouzení se zaměřuje na průběhy napětí, deformace a velikost reakcí v závislosti na dílčích součinitelích. Druhý typ posouzení spočívá ve snaze dimenzovat vybranou konstrukci na minimální možné průřezy a porovnat napříč oběma metodami.

Celá práce je doplněna o schémata a obrázky konstrukčních prvků a výpočtových modelů. Výkresy jsou umístěny v příloze, kde se také nachází orientační porovnání svařované ocelové konstrukce s lehkou tenkostěnnou ocelovou konstrukcí.

2 Představení konstrukce

Pro porovnání strojního a stavebního přístupu k dimenzování byla zvolena ocelová konstrukce zvaná Greenhouse, která vznikla v rámci výstavy Domus jako součást projektu Plzeň – Evropské hlavní město kultury 2015. Autorem této konstrukce, která ukrývala instalace předních českých i zahraničních designerů, byl německý designér Werner Aisslinger. Právě autorův ideový návrh konstrukce Greenhouse slouží v této práci jako výchozí zadání pro její následný konstrukční návrh a dimenzování.

2.1 Ideový návrh autora



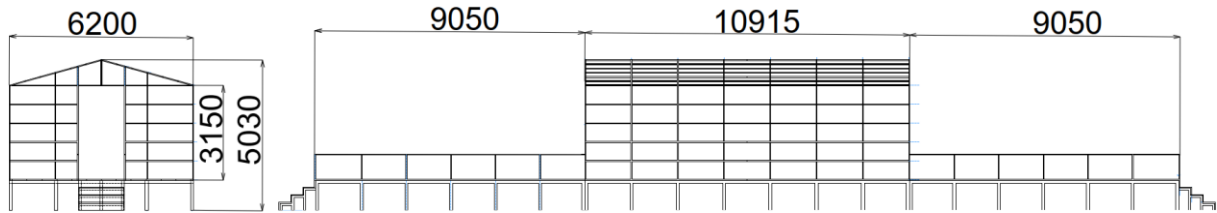
Obr. 1: Ideový návrh autora [1]

Výkres ideového návrhu autora viz příloha 1.

Konstrukci lze rozdělit do tří částí: středová a dvě boční části. Středová část se skládá z ocelové konstrukce obdélníkového půdorysu se sedlovou střechou. Dále budeme používat pro tuto část konstrukce název hala. Stěny a střecha jsou tvořeny ocelovými profily spojenými do tvaru obdélníkového rastru, jehož některé pole jsou vyplněny skleněnými tabulemi. Konstrukce střechy je spojena se stěnami a je samonosná – v prostoru pod střechou se nenacházejí žádné vertikální podpory (sloupy). V čelních stěnách jsou umístěny otvory pro průchod osob. Podlaha je také tvořena jako roznášecí rošt – čtvercový rastr ocelových profilů, který má být vyplněn dřevěnými podlahkami. Celá konstrukce haly je díky ocelovým sloupkům vyvýšena o necelý metr nad okolním terénem. Tyto sloupky jsou pravidelně umístěny vždy v uzlech rastru ocelových profilů podlahy.

Obě boční části konstrukce jsou totožné, pouze zrcadlově otočené. Jsou to ve své podstatě můstky s nástupními schody a jsou ve stejné výšce jako střední část konstrukce – hala. Tyto můstky budeme dále nazývat nástupní rampy. Podlaha nástupní rampy je tvořena stejně jako podlaha haly – čtvercový rastr z ocelových profilů vyplněný dřevěnými podlahkami. Šířka

rampy odpovídá šířce otvoru pro průchod osob do útrob haly, ke které jsou obě nástupní rampy připojeny. Součástí rampy je také zábradlí, které je po obou stranách.



Obr. 2: Hlavní rozměry konstrukce-ideový návrh [1]

2.2 Účel a umístění konstrukce

Konstrukce byla umístěna uvnitř bývalé výrobní haly, která je zrekonstruovaná a je využívána jako kulturní centrum. Jedná se tedy o vnitřní prostor, který je chráněn od vnějších přírodních vlivů jako je déšť, sníh, vítr a mráz. Konstrukce sloužila jako galerie – uvnitř byly umístěny různé designové produkty (sochy, obrazy, nábytek) a lidé mohli celou konstrukcí procházet.

2.3 Realizace

Konstrukce byla zrealizována a zpřístupněna v dubnu roku 2015 v rámci výstavy Domus v areálu DEPO 2015 v Plzni.



Obr. 3: Realizace konstrukce - DEPO 2015 [2]



Obr. 4: Realizace konstrukce - pohled uvnitř konstrukce [3]

2.4 Posouzení postupu výpočtu konstrukce

Pokud chceme pro takovou konstrukci začít tvořit konstrukční návrh a správně ji dimenzovat, je důležité si určit, do jaké oblasti ji můžeme zahrnout. Proto je důležité se nejprve zaměřit na její ideový návrh, účel a umístění. Z ideového návrhu autora vyplývá, že se jedná o atypickou ocelovou svařovanou konstrukci, která je umístěna ve vnitřním uzavřeném prostoru a není tak zatěžována vnějšími přírodními vlivy. Pokud by konstrukce byla umístěna ve venkovním prostoru, zcela jistě bychom na ní ihned nahlíželi jako na určitý druh stavby dle stavebního zákona. V tomto případě by byl proveden výpočet dle zásad navrhování a zatížení stavebních konstrukcí dle Eurokódů – metoda mezních stavů. Konstrukce je však umístěna ve vnitřním uzavřeném prostoru, a tudíž na ní nebudou působit žádné klimatické zatěžovací účinky jako na běžné stavební konstrukce. Díky těmto skutečnostem lze uvažovat, zda by nebylo vhodné tento konkrétní případ vnímat jako spíše konstrukci strojní a pro výpočet využít metodu dovolených napětí.

3 Obecná teorie návrhu konstrukcí

Bez ohledu na oborové zaměření můžeme tvrdit, že návrh konstrukce provádíme vždy v závislosti účinků, které na danou konstrukci působí. Tyto účinky mohou být obecně vlastní váha, stálé zatížení, proměnné zatížení a další různé účinky působící na konstrukci.

3.1 Spolehlivost

Cílem návrhu je zajistit spolehlivost konstrukce. Spolehlivost je schopnost systému zachovávat požadované vlastnosti po celou dobu jeho technického života. Jednotlivými složkami spolehlivosti jsou například trvanlivost, použitelnost a bezpečnost. Velká část úloh zohledňující spolehlivost konstrukcí bývá obecně formulována jako srovnání dvou hodnot: účinek zatížení a odolnosti. Značení těchto dvou hodnot se liší dle jednotlivých výpočtových metod. Obecně lze označit účinek zatížení E či σ a odolnost jako R či σ_D . Jednoduchá rovnice spolehlivosti je tedy splněna, pokud platí:

$$E \leq R \text{ čili } \sigma \leq \sigma_D$$

[4]

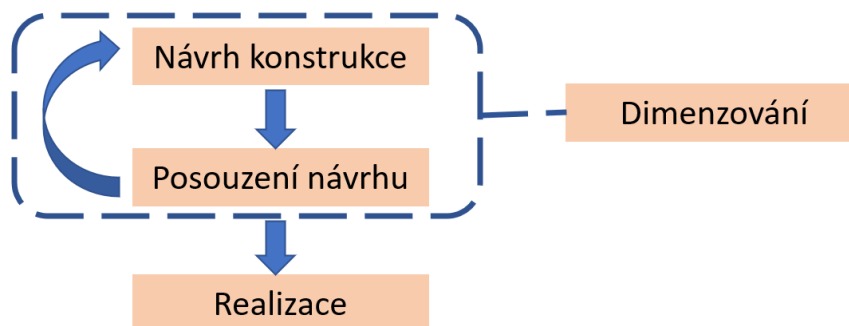
Příklady konkrétních účinků zatížení a odolnosti jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 1: příklady účinků zatížení a odolnosti [4]

Účinek zatížení – E, σ	Odolnost - R, σ_D
Ohybový moment v určitém místě průřezu nosníku	Ohybová únosnost průřezu
Maximální průhyb nosníku od daného zatížení	Dovolený průhyb nosníku

3.2 Princip navrhování

Při návrhu konstrukce je nejprve nutné určit a vypočítat účinky zatížení – zejména při řešení netypických konstrukcí je tato fáze často velmi problematická, protože výpočtář musí vytvořit určitý idealizovaný model zatěžovacích účinků, ve kterém by se měl co nejvíce přiblížit reálnému stavu. To však vyžaduje značné schopnosti a zkušenosti výpočtáře, protože se často některé účinky musejí zjednodušovat, nahrazovat či zanedbávat. Poté se vypočítá odolnost konstrukce a za pomoci různých výpočtových metod se výsledné hodnoty porovnávají.



Obr. 5: Obecné schéma postupu návrhu konstrukcí

4 Metoda dovolených napětí

Metoda dovolených napětí vychází z podmínky, že hodnota maximálního namáhání materiálu σ_{MAX} je nižší než hodnota dovoleného namáhání materiálu σ_D .

$$\sigma_{MAX} \leq \sigma_D$$

Hodnota dovoleného namáhání σ_D se nejčastěji určí pomocí meze kluzu materiálu R_e a součinitele bezpečnosti k , který zohledňuje výpočtové nejistoty (například nejistoty při stanovení účinku zatížení či nejistoty odolnosti materiálu).

$$\sigma_D = \frac{\sigma_{KRIT}}{k} = \frac{R_e}{k}$$

Vhodné určení součinitele k je obecně velmi komplikované – je to odpovědná a složitá úloha. V tomto součiniteli by se totiž měly zohlednit různé výpočtové, materiálové, výrobní, montážní či provozní chyby a nepřesnosti. Vysoký součinitel bezpečnosti často vede k bezpečnějšímu návrhu na úkor vyšší hmotnosti – ceny. V ideálním případě je tento součinitel zadán například přímo od zadavatele či je přímo definován normou. Například v oblasti kolejové dopravy bychom v normách našli konkrétní součinitele bezpečnosti pro danou oblast prvků a součástí. Často však rozhodnutí závisí na konstruktérovi/výpočtáři. Vždy je zásadní znalost navrhovaného produktu a zhodnocení působících a okolních vlivů. V odborné literatuře byly publikovány některé pomocné modely, které se stanovením odpovídajícího koeficientu bezpečnosti k zabývají.

1. Pomocný model dle J.P.Visodic [5]

Tabulka 2: Model stanovení minimálního koeficientu bezpečnosti dle J.P.Visodic. [5]

Doporučený koeficient bezpečnosti k pro tažné materiály založený na mezi kluzu.				
Koeficient bezpečnosti	Znalost zatížení	Znalost dovoleného napětí	Znalost vlastností materiálu	Znalost prostředí
1.2-1.5	Přesná	Přesná	Velmi dobrá	Plně pod kontrolou
1.5-2.0	Dobrá	Dobrá	Velmi dobrá	Neměnná
2.0-2.5	Dobrá	Dobrá	Průměrná	Běžná
2.5-3.0	Průměrná	Průměrná	Náhodně testovaná	Běžná
3.0-4.0	Průměrná	Průměrná	Nezkoušená	Běžná
3.0-4.0	Neurčitá	Neurčitá		Neurčitá

2. Pomocný model dle Pugsley, A.G [4]

Tato metoda doporučuje stanovit součinitel bezpečnosti k jako součin dvou dílčích koeficientů: $k = SF1 \cdot SF2$. Dílčí součinitele jsou funkcí několika parametrů, které se hodnotí:

- A = parametr úrovně zpracování materiálu a jeho kvality, údržby a servisních prohlídek.
- B = kontrola nad případným přetížením
- C = přesnost analýzy napětí
- D = riziko ohrožení lidských životů při selhání součásti

- E = ekonomický dopad při případném selhání součásti

Tabulka 3: Pomocný model dle Pugsley, A.G – tabulka 1 [5]

Parametr A	Parametr C	Parametr B			
		B=1	B=2	B=3	B=4
A=1	C=1	1,10	1,30	1,50	1,70
	C=2	1,2	1,45	1,7	1,95
	C=3	1,3	1,6	1,9	2,2
	C=4	1,4	1,75	2,1	2,45
A=2	C=1	1,30	1,55	1,80	2,05
	C=2	1,45	1,75	2,05	2,35
	C=3	1,6	1,95	2,3	2,65
	C=4	1,75	2,15	2,55	2,95
A=3	C=1	1,50	1,80	2,10	2,40
	C=2	1,7	2,05	2,4	2,75
	C=3	1,9	2,3	2,7	3,1
	C=4	2,1	2,55	3	3,45
A=4	C=1	1,70	2,15	2,40	2,75
	C=2	1,95	2,35	2,75	3,15
	C=3	2,2	2,65	3,1	3,55
	C=4	2,45	2,95	3,45	3,95

U tabulky 1 platí hodnocení: 1 (velmi dobré) až 4 (špatné)

Tabulka 4: Pomocný model dle Pugsley, A.G – tabulka 2 [5]

Parametr D	Parametr E		
	E=1	E=2	E=3
D=1	1.0	1.0	1.2
D=2	1.2	1.3	1.4
D=3	1.4	1.5	1.6

U tabulky 2 platí hodnocení: 1 (minimální), 2 (dobré), 3 (velmi vážné)

Součinitel k však není jediným součinitelem udávající (zvyšující) bezpečnost výpočtu. Například u svarových spojů se používají převodní součinitele α , které rovněž ovlivňují výslednou hodnotu σ_D .

5 Metoda mezních stavů

Metoda mezních stavů je dnes celoevropskou základní metodou ověřování spolehlivosti stavebních konstrukcí – jinak také zvanou metoda dílčích součinitelů. Impulsem pro vytvoření metody mezních stavů byla snaha zohlednit ve výpočtu za pomoci dílčích součinitelů nejistoty základních vstupních veličin a výpočtových modelů jako jsou například:

Náhodnosti – přirozená proměnlivost veličin

Statické nejistoty – nedostatek dat

Modelové nejistoty – nepřesnosti v modelování případů

Neurčitosti – nepřesnosti definic

Hrubé chyby – lidský činitel

Neznalosti – nové materiály a podmínky

Nedokonalosti – výrobní a montážní imperfekce

Celý přístup dílčího systému zohledňuje jednotlivé nejistoty v podobě součinitelů, které násobí a upravují návrhové hodnoty a přímo tak ovlivňují konečnou hodnotu, kterou k návrhu konstrukce využíváme.

Podstata této metody je založena na posudku porovnání návrhové hodnoty maximálního účinku zatížení E_d a návrhové hodnoty minimální odolnosti konstrukce R_d .

$$\text{Podmínka spolehlivosti: } E_d \leq R_d$$

$$\text{kde: } E_d = \gamma_F \cdot E_k$$

$$R_d = R_k / \gamma_M$$

$$\text{platí tedy: } \gamma_F \cdot E_k \leq R_k / \gamma_M$$

E_d – návrhová hodnota zatížení

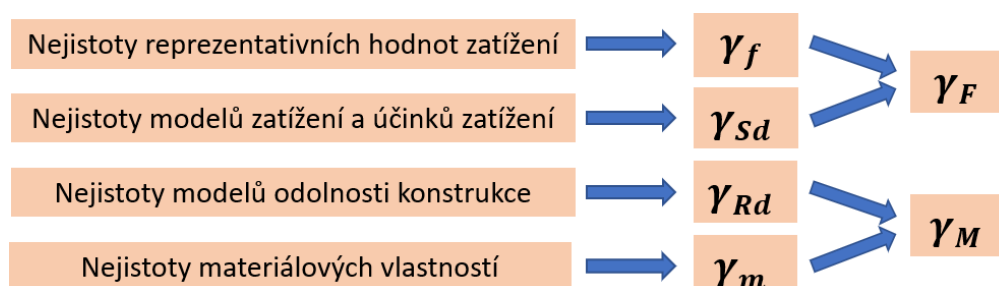
R_d – návrhová hodnota odolnosti

γ_F – dílčí součinitel vyjadřující rozptyl účinků zatížení

γ_M – dílčí součinitel vyjadřující rozptyl odolnosti konstrukce

E_k – charakteristická hodnota zatížení

R_k – charakteristická hodnota odolnosti



Obr. 6: Schéma dílčích součinitelů [4]

Jednotlivé součinitele jsou normativní hodnoty, které jsou pro konkrétní případy definované v normách ČSN EC – neboli eurokódech.

5.1 Jednoduchý příklad a popis

Pro tento ukázkový příklad výpočtu metodou mezních stavů budeme uvažovat prostý tah, kde působí osová síla N v ploše průřezu A . Napětí v tahu je $\sigma = N/A$

$$E_d \leq R_d$$

Zatížení E_d :

$$\sigma = N_d/A$$

$$N_d = N_{rep} \cdot \gamma_f = N_k \cdot \gamma_f$$

- **N_d – návrhová hodnota síly** – (neboli výpočtová hodnota) – na tuto hodnotu navrhujeme. Tuto hodnotu určíme z hodnot reprezentativních násobených součinitelem zatížení.
- **N_{rep} – reprezentativní hodnoty** – jsou vybrané z hodnot charakteristických, které jsou nejvíce nejnepříznivější.
- **N_k – charakteristické hodnoty síly** – jsou hodnoty normativní. Jsou stanoveny normou, anebo výpočtem dle normy.
- **γ_f – součinitel zatížení** – normativní hodnota. Výběr konkrétních součinitelů dle norem.
- **A – plocha průřezu**

Odolnost R_d :

$$\sigma_u = \sigma_k/\gamma_m$$

- **σ_u – mezní návrhové hodnoty napětí** – Tyto hodnoty napětí určíme z charakteristických hodnot násobených součinitelem zatížení.
- **σ_k – charakteristická hodnota napětí** – jsou hodnoty normativní. Jsou stanoveny normou, anebo výpočtem dle normy.
- **γ_m – součinitel materiálu** – normativní hodnota. Výběr konkrétních součinitelů dle norem.

Po dosazení:

$$\frac{N_d}{A} \leq \sigma_u$$
$$\frac{N_{rep} \cdot \gamma_f}{A} \leq \frac{\sigma_u}{\gamma_m}$$

[6]

5.2 Druhy mezních stavů

Tato metoda je založena na pravděpodobnostním přístupu na takzvané „filozofii mezních stavů“ – v průběhu životnosti konstrukce může docházet k mezním stavům, které na konstrukci působí. Při překročení mezních stavů přestává konstrukce plnit návrhové požadavky na užité vlastnosti. Obecně rozlišujeme dvě skupiny mezních stavů:

- **Mezní stav únosnosti (MSÚ) – 1. mezní stav**

Jedná se o nejvyšší míru závažnosti – havárie (ohrožená bezpečnost lidí)

- Částečné nebo úplné zřícení
- Ztráta stability jako celku (například sesuv objektu)
- Porušení celistvosti (například přetržení)

Překročení MSÚ má za následek vážné porušení konstrukce a často vyvolá potřebu značné opravy konstrukce či její odstranění.

Při výpočtu MSÚ pracujeme s tzv. mezními (návrhovými) hodnotami – zohlednění extrémních provozních podmínek

Rozlišují se čtyři druhy MSÚ:

- **EQU:** Ztráta statické rovnováhy konstrukce
- **STR:** Vnitřní porucha nebo nadměrná deformace konstrukce
- **GEO:** Porucha nebo nadměrná deformace základové půdy
- **FAT:** Únavová porucha konstrukce nebo nosných prvků

- **Mezní stav použitelnosti (MSP) – 2. mezní stav**

Na konstrukci jsou znatelné deformace, ale stále nehrozí její zřícení

- Deformace a posuvy (například ovlivnění vzhledu nebo účinné využití konstrukce)
- Kmitání (například způsobení nepohodlí osob)
- Lokální poškození (například ovlivnění životnosti)

Překročení MSP obvykle nevede k vážným následkům. Po odstranění zatížení (která vyvolávají překročení MSP) lze často konstrukci dále používat.

Při výpočtu MSP pracujeme s tzv. provozními hodnotami – zohlednění běžných provozních podmínek

5.3 Návrhové situace

Mezní stavy se vždy vztahují k návrhovým situacím, které se dle normy EN 1990 klasifikují jako:

- **trvalé návrhové situace** – vztahují k podmínkám běžného používání (například váha osob, nábytku, ...)
- **dočasné návrhové situace** – vztahují k dočasným podmínkám, kterým je konstrukce vystavena (například během výstavby nebo opravy)

- **mimořádné návrhové situace** – vztahují k výjimečným podmínkám, kterým je konstrukce vystavena (například požár, výbuch, ...)
- **seizmické návrhové situace** – vztahují k podmínkám při zemětřesení

5.4 Klasifikace zatížení

Zatížení staveb se klasifikuje dle normy EN 1990 v závislosti na jejich typu působení:

5.4.1 Klasifikace dle původu zatížení

- **Přímé zatížení** – na konstrukci působí přímo jako síla (břemeno) nezávisle na vlastnostech konstrukce
- **Nepřímé zatížení** – na konstrukci působí jako vynucené deformace: způsobené například změnou teplot, proměnlivou vlhkostí nebo nerovnoměrným “sedáním“ základů

5.4.2 Klasifikace dle působení v čase

- **Stálá zatížení G** – všechny stálé působící účinky
 - Nosné a nenosné konstrukce (vlastní tíha)
 - Pevné zařízení a vybavení (například radiátor)
 - Zemní a vodní tlak
 - Předpětí konstrukce
- **Proměnná zatížení Q** – účinky, které působí proměnlivě
 - Užitná (na podlaze) – například hmotnost osob
 - Zatížení sněhem
 - Zatížení větrem
 - Zatížení teplotou
 - Technologie – jeřáby, stroje, vozíky, doprava
- **Mimořádná zatížení A** – účinky, které mohou mimořádně nastat
 - Požár
 - Náraz
 - Výbuch

5.4.3 Klasifikace dle proměnlivosti v prostoru

- **Pevná zatížení** – má na konstrukci neměnnou polohu (například vlastní váha)
- **Volná zatížení** – může působit na konstrukci kdekoliv v určitém omezeném prostoru (například zatížení od halového jeřábu)

5.4.4 Klasifikace dle povahy zatížení a odezvy konstrukce

- **Statická zatížení**

- **Dynamická zatížení** – vyvolávají významná zrychlení konstrukce nebo konstrukčních prvků (například stroje, doprava)

[6] [7]

5.5 Postup statického výpočtu

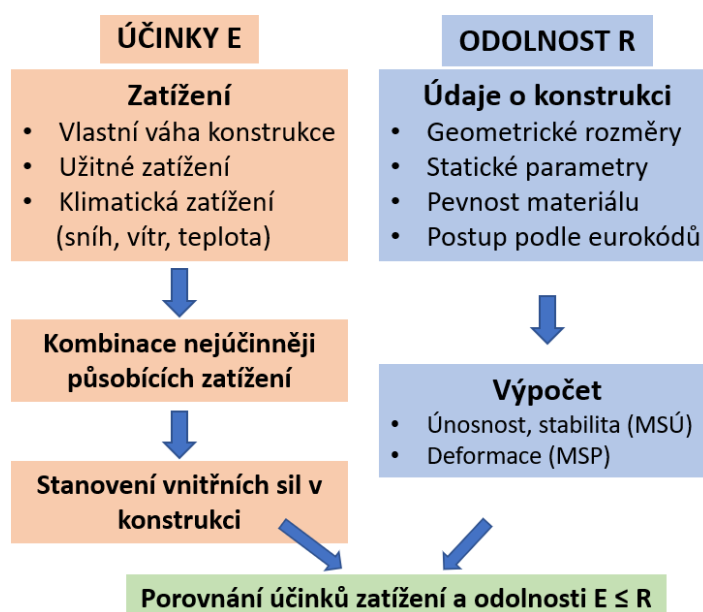
5.5.1 Obecné schéma postupu statického výpočtu

Postup statického výpočtu opět vychází z jednoduché rovnice porovnání účinků zatížení a odolnosti: $E \leq R$

Účinky E: Nejprve musíme stanovit všechna zatížení působící na konstrukci. Poté vytvoříme nejnepríznivější kombinace, které na konstrukci mohou působit – součet zatížení, které mohou společně nastat (kombinace zatížení se nazývají zatěžovací stavy – viz kapitola 5.5.2). Výsledek těchto kombinací slouží jako podklad pro stanovení vnitřních sil v konstrukci.

Odolnost R: Při řešení odolnosti konstrukce pracujeme například s geometrickými rozměry konstrukce (rozměry, průřezy, ...) a charakteristickými hodnotami pevností materiálů. Pro výpočet postupujeme dle eurokódů, kde využíváme konkrétní normativní hodnoty součinitelů.

Porovnání: Vnitřní síly v konstrukci, které byly stanoveny na základě nejnepríznivějších kombinací (zatěžovacích stavů), následně porovnáváme se stanovenou odolností konstrukce.



Obr. 7: Postup statického výpočtu [6]

5.5.2 Zatěžovací stavy

Zatěžovací stav je množina zatížení, která působí na konstrukci vždy pohromadě. Každé zatížení je součástí určitého zatěžovacího stavu. Každý zatěžovací stav má svůj název a číslo. V praxi jsou tři parametry, které jednotlivé zatěžovací stavy charakterizují:

- **Kód zatěžovacího stavu** – Jedná se o přiřazený kód ke každému zatěžovacímu stavu, který popisuje druh zatížení obsažená v tomto zatěžovacím stavu. Rozlišujeme čtyři kódy zatěžovacích stavů: silový, deformační, vlastní tíha a oteplení.
- **Charakter působení zatížení** – Rozlišujeme charakter dlouhodobý a krátkodobý.
- **Součinitelé:**

Dílčí součinitelé zatížení – Slouží ke stanovení návrhových hodnot zatížení (viz kapitola 5).

Kombinační součinitele – Slouží pro stanovení reprezentativní hodnoty zatížení: součinitel násobí charakteristickou hodnotu zatížení. Kombinační součinitelé mohou například zohledňovat možnost výskytu více zatěžovacích stavů v zatěžovací kombinaci.

ψ_0 - Součinitel kombinační hodnoty – Používá se zejména při sestavování kombinací pro MSÚ a nevratné stavy MSP.

ψ_1 - Součinitel časté hodnoty – Používá se zejména při sestavování kombinací pro MSÚ obsahující mimořádná zatížení a vratné stavy MSP.

ψ_2 - Součinitel kvazistálé hodnoty – Používá se zejména při sestavování kombinací pro MSÚ obsahující mimořádná zatížení a vratné stavy MSP. Také slouží k vyjádření dlouhodobých účinků zatížení.

[8]

5.5.3 Kombinace zatěžovacích stavů

Kombinace zatěžovacích stavů vznikají sečtením několika zatěžovacích stavů, které jsou následně vynásobeny kombinačními součiniteli. Kombinace znázorňují situace, kdy na konstrukci působí více různých zatížení najednou (například: vlastní váha + užité zatížení + sníh + vítr). Pro výpočet se vytvářejí odděleně kombinace pro MSÚ a MSP, které jsou dále dělené dle řešení teorie 1. a 2. řádu a pro kombinace pro výpočet lineární stability.

5.5.3.1 Druhy kombinací pro MSÚ

Pro mezní stavy únosnosti je možné sestavit tyto druhy kombinací:

- **Základní** – Sestavuje základní kombinace pro MSÚ dle vztahu 6.10 z normy EN 1990 – v tomto vztahu se uvažují všechny zatěžovací stavy neredukovány (nevyskytuje se zde žádný součinitel, který by zatížení redukoval). Z tohoto důvodu je tento druh kombinace velmi neekonomický a v praxi je tedy málo používán.
- **Alternativní** – Sestavuje kombinace pro MSÚ dle vztahů 6.10a a 6.10b z normy EN 1990. Tato varianta sestavuje dvojnásobný počet kombinací než základní varianta. Ve vztahu 6.10a je redukována hodnota hlavního proměnného zatížení a ve vzorci 6.10b je redukována hodnota stálého zatížení.

- **Mimořádná** – Sestavuje mimořádné kombinace pro mezní stav únosnosti dle vztahu 6.11 z normy EN 1990. U tohoto druhu kombinací je možné zadat mimořádný zatěžovací stav, který bude použit v těchto kombinacích.

[8]

5.5.3.2 Druhy kombinací pro MSP

Pro mezní stavy použitelnosti je možné sestavit tyto druhy kombinací:

- **Charakteristická** – kombinace dle vztahu 6.14 normy EN 1990
- **Častá** – kombinace dle vztahu 6.15 normy EN 1990
- **Kvazistálá** – kombinace dle vztahu 6.16 normy EN 1990

[8]

5.6 Přehled Eurokódů

Jak již bylo zmíněno, Eurokódy jsou založeny na metodě mezních stavů. Záměrem Evropské komise pro normalizaci je, aby byl v jednotlivých zemích Evropy nastaven jednotný postup výpočtů - pouze s rozdílnými numerickými hodnotami. Zaváděním Eurokódů do soustavy českých norem se zabývá Český normalizační institut. Soubor 57 evropských norem pro navrhování stavebních konstrukcí je nazýván "Eurokódy pro stavební konstrukce". [7]

Příklad rozdělení souborů Eurokódů [7]:

EN 1990: Zásady navrhování

EN 1991: Eurokód 1 - Zatížení konstrukcí

EN 1992: Eurokód 2 - Navrhování betonových konstrukcí

EN 1993: Eurokód 3 - Navrhování ocelových konstrukcí

EN 1994: Eurokód 4 - Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí

EN 1995: Eurokód 5 - Navrhování dřevěných konstrukcí

EN 1996: Eurokód 6 - Navrhování zděných konstrukcí

EN 1997: Eurokód 7 - Navrhování geotechnických konstrukcí

EN 1998: Eurokód 8 - Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení

EN 1999: Eurokód 9 - Navrhování hliníkových konstrukcí

Z důvodu zaměření této práce na návrh ocelové konstrukce je zde pro porozumění rozsáhlosti Eurokódů představen soubor Eurokódu EN 1993 - Navrhování ocelových konstrukcí. [6]

EN 1993-1-1 Obecná pravidla

EN 1993-1-2 Navrhování konstrukcí na účinky požáru

EN 1993-1-3 Tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily

EN 1993-1-4 Konstrukce z korozivzdorné oceli

EN 1993-1-5 Odolnost a stabilita rovinných deskostěnových konstrukcí
bez příčného zatížení

EN 1993-1-6 Odolnost a stabilita skořepinových konstrukcí

EN 1993-1-7 Odolnost a stabilita rovinných deskostěnových konstrukcí
s příčným zatížením

EN 1993-1-8 Navrhování styčnicků

EN 1993-1-9 Únavová odolnost ocelových konstrukcí

EN 1993-1-10 Výběr materiálů pro stanovení lomové odolnosti

EN 1993-1-11 Použití vysokopevnostních kabelů

EN 1993-1-12 Dodatečná pravidla pro vysokopevnostní oceli

EN 1993-2 Mosty

EN 1993-3-1 Věže, stožáry a komíny – Věže a stožáry

- EN 1993-3-2 Věže, stožáry a komíny – Komíny
- EN 1993-4-1 Zásobníky, nádrže a potrubí – Zásobníky
- EN 1993-4-2 Zásobníky, nádrže a potrubí – Nádrže
- EN 1993-4-3 Zásobníky, nádrže a potrubí – Potrubí
- EN 1993-5 Piloty
- EN 1993-6 Jeřábové dráhy

6 Konstrukční návrh

Při konstrukčním návrhu vycházíme z ideového návrhu autora. V našem případě jsou v ideovém návrhu definované vnější rozměry konstrukce a velikosti skel. Autor záměrně použil kótování k osám jednotlivých profilů, aby nechal prostor konstruktérovi / výpočtáři pro detailní návrh a dimenzování konstrukce. Cílem konstrukčního návrhu je upravit konstrukci tak, aby splňovala několik základních předpokladů:

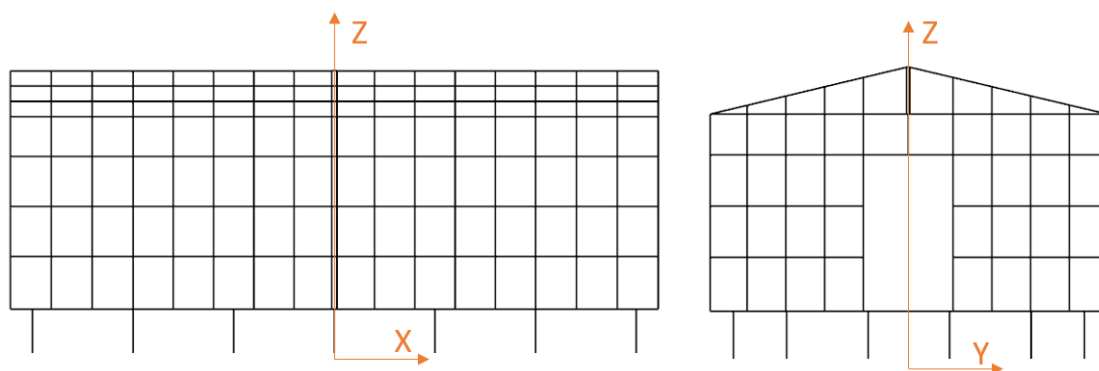
- Konstrukce musí být funkční a bezpečná
- Konstrukce musí splňovat estetické požadavky autora – architekta
- Konstrukce a všechny její jednotlivé části musí být vyrobitelné a smontovatelné
- Musí být možné ji po částech převést z výroby do haly, kde bude postavena
- Použitý materiál a výroba konstrukce by neměla být příliš drahá

6.1 Upřesnění – změny v návrhu

Největší viditelnou změnou oproti prvotnímu ideovému návrhu autora jsou rozměry skleněných tabulí. Z původně plánovaného rozměru 1550 x 620 mm byly dle požadavků autora skleněné tabule zmenšeny na rozměr 560 x 750 mm. To samozřejmě ovlivnilo ocelovou konstrukci haly, která se musela těmto rozměrům přizpůsobit. Další zásadní požadavky, které by se lišily od původního zadání, již nenastaly.

6.2 Prvotní návrh konstrukce haly

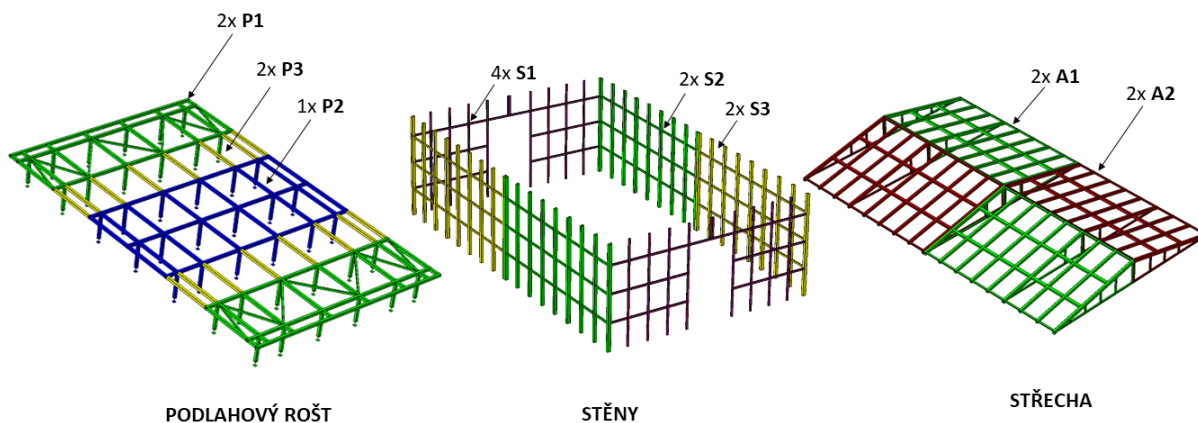
Jako prvotní návrh konstrukce byl vytvořen prutový model, který byl v souladu s rozměry ideového návrhu a dalšími připomínkami autora návrhu. Byl zde kladen důraz na dvě roviny symetrie (ZY a ZX), dle kterých je konstrukce symetrická. Tato skutečnost byla dále využita při dělení jednotlivých konstrukčních celků na podsestavy. To bylo nezbytné, aby mohly být splněny dva ze základních předpokladů: vyrobitelnost konstrukce a možnost jejího převozu po částech do uvařeného prostoru (bývalá výrobní hala) a její následné sestavení.



Obr. 8: Prutový model konstrukce haly

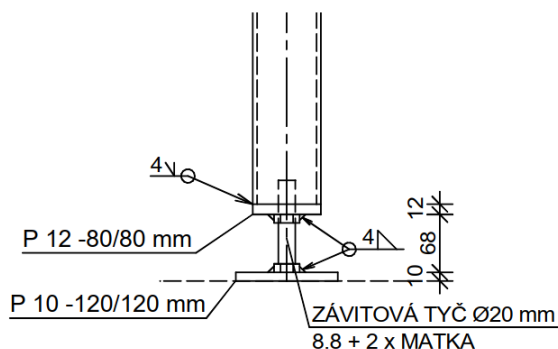
Následně byly prutům přiřazeny konkrétní průřezy, a to s ohledem na konstrukční funkčnost, vyrobitelnost, možnost upevnění skleněných tabulí a v neposlední řadě také na možnosti sestavení jednotlivých podsestav do konstrukce jako celku. Bylo také nutné si definovat způsob spojení jednotlivých profilů. Byly zvoleny převážně svarové spoje. Tento prvotní model byl následně v softwaru FIN EC podroben zatěžovacím vlivům (viz kapitola 7) a na základě vypočtených průběhů napětí, deformací, vlastních tvarů a stability byl různě upravován (změna některých průřezů a přidání vzpěr). V této fázi byl takto upravený výpočtový

model použit jako vstupní zadání pro detailní posouzení účinků zatížení, které je dále popsáno v kapitole 8.



Obr. 9: Rozdělení konstrukce haly na podsestavy

6.3 Ukotvení konstrukce



Obr. 10: Ukotvení konstrukce

Definování ukotvení konstrukce je důležité zejména také pro výpočet, kde dle použitého typu ukotvení odebíráme příslušné stupně volnosti v podporách. V našem případě uvažujeme, že spodní deska bude přišroubována k betonové podlaze. Z toho vyplývá, že budeme odebírat stupně volnosti ve směru posunu v osách x,y,z a natočení kolem os x,y,z necháme volné.

7 Určení zatížení na konstrukci

Pro správný výpočet je nutné uvažovat všechny účinky zatížení, které na konstrukci působí anebo by působit mohly.

7.1 Vlastní váha

Základním účinkem zatížení, které působí na konstrukci, je zatížení vlastní vahou konstrukce. Zatížení je určeno tíhovou silou, která působí ve směru gravitace.

Výpočet vlastní tíhy:

$$F = m \cdot g [N]$$

m – hmotnost konstrukce [kg]

g – tíhové zrychlení = 9,8 [$m \cdot s^{-2}$]

7.2 Zatížení od vlastní tíhy skleněných tabulí

Tento zatěžovací účinek vzniká tíhovou silou skleněných tabulí, které jsou umístěny na stěnách a střeše konstrukce. Jedná se tedy o stálé silové zatížení. Autor ideového návrhu plánuje umístit skleněné tabule pouze do některých částí obdélníkového rastru konstrukce. Pro výpočet je však vhodné uvažovat výplň skleněnými tabulemi po celé ploše konstrukce. Zaprvé je nutné předpokládat, že při stavbě konstrukce může dojít k chybě v umístění. Zadruhé si tím jako výpočtáři vytváříme určitou rezervu, ve které je také zohledněna vlastní hmotnost upevňovacích prvků skel ke konstrukci.

Informace o tloušťce a druhu skel byla zadána.

ρ_{SKLO} – hustota použitého skla = 2500 [$kg \cdot m^{-3}$]

t – tloušťka skleněné tabule = 6 [mm] = 0,006 [m]

V – objem [m^3]

S – plocha [m^2]

Pro výpočet je uvažováno, že na celou plochu střechy působí rovnoměrné plošné zatížení (skleněné tabule zatěžují příčky v obou směrech), zatímco na stěnách působí zatížení od skleněných tabulí pouze na horizontální příčky – jedná se tedy o liniové zatížení.

Výpočet plošného zatížení působící na střešní profily:

$$p = \rho_{SKLO} \cdot t \cdot g = 2500 \cdot 0,006 \cdot 9,8 = 0,147 [N \cdot m^{-2}]$$

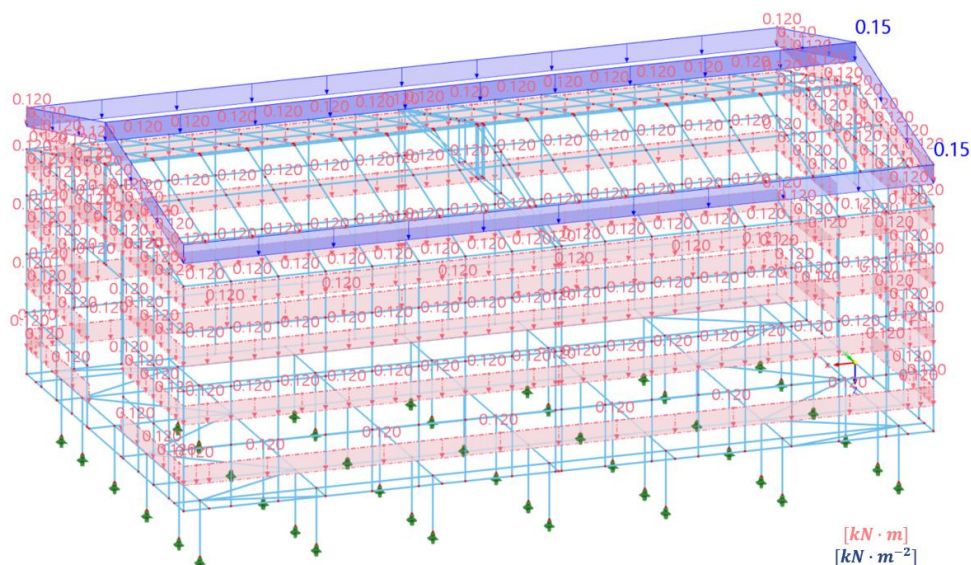
$$p = 0,147 [kN \cdot m^{-2}]$$

Výpočet liniového zatížení působící na horizontální příčky stěn:

h – výška skleněných tabulí na stěnách = 0,77 [m]

$$f = \rho_{SKLO} \cdot t \cdot h \cdot g = 2500 \cdot 0,006 \cdot 0,77 \cdot 9,8 = 0,115 [N \cdot m]$$

$$f = 0,115 [kN \cdot m]$$



Obr. 11: Zatížení od skleněných tabulí

7.3 Zatížení od vlastní tíhy dřevěné podlahy

Tento zatěžovací účinek vzniká tíhovou silou dřevěné podlahy, která je umístěna v podobě podlážek v jednotlivých polích podlahového roštu – čtvercového rastru podlahy. Podlážky jsou ze smrkových prken o tloušťce 40 mm. To jsou pro výpočet dostačující informace, protože se jedná o plošné zatížení.

$$\rho_{SMRK} - \text{ hustota smrkového dřeva} = 470 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

$$t - \text{ tloušťka podlahy} = 40 \text{ [mm]} = 0,04 \text{ [m]}$$

$$V - \text{ objem [m}^3]$$

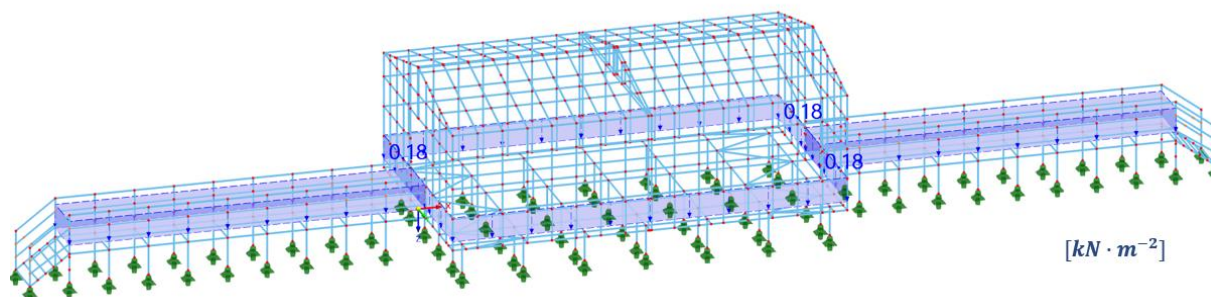
$$S - \text{ plocha [m}^2]$$

Při výpočtu je uvažováno, že vlastní tíha dřevěné podlahy působí přímo na všechny pruty podlahového roštu a rampy s výjimkou prutů vyztužovacích.

Výpočet plošného zatížení:

$$p = \rho_{SMRK} \cdot V \cdot g = 470 \cdot 0,04 \cdot 9,8 = 183,9 \text{ [N} \cdot \text{m}^{-2}]$$

$$p = 0,184 \text{ [kN} \cdot \text{m}^{-2}]$$



Obr. 12: Zatížení od vlastní tíhy dřevěné podlahy

7.4 Zatížení od vystavovaných předmětů a zatížení vzniklé osobami

Tento zatěžovací účinek není možné přesně numericky definovat, protože nemáme informace o předmětech, které budou uvnitř konstrukce umístěny a o maximálním počtu lidí, kteří mohou být v jeden moment uvnitř konstrukce. V případě stavebního pohledu se jedná o zatížení užité, které je definované v eurokódu EN 1991-1-1. V těchto případech se využívá tabulka, která je v tomto eurokódu uvedena a definuje velikost výpočtového užitého zatížení dle druhu staveb.

Tabulka 5: Užité kategorie [9]

Kategorie	Stanovené použití	Příklad
A	obytné plochy a plochy pro domácí činnosti	místnosti obytných budov a domů; lůžkové pokoje a čekárny v nemocnicích; ložnice hotelů a ubytoven, kuchyně a toalety
B	kancelářské plochy	
C	plochy, kde může docházet ke shromažďování lidí (kromě ploch uvedených v kategoriích A, B a D1)	<p>C1: plochy se stoly atd., např. plochy ve školách, kavárnách, restauracích, jídelnách, čítárnách, recepcích.</p> <p>C2: plochy se zabudovanými sedadly, např. plochy v kostelech, divadlech nebo kinech, v konferenčních sálech, přednáškových nebo zasedacích místnostech, nádražních a jiných čekárnách.</p> <p>C3: plochy bez překážek pro pohyb osob, např. plochy v muzeích, ve výstavních sálích a přístupové plochy ve veřejných a administrativních budovách, hotelích, nemocnicích, železničních nádražních halách.</p> <p>C4: plochy určené k pohybovým aktivitám, např. taneční sály, tělocvičny, jeviště, atd.</p> <p>C5: plochy, kde může dojít k vysoké koncentraci lidí, např. budovy pro veřejné akce jako koncertní sítě, sportovní haly, včetně tribun, terasy a přístupové plochy, železniční nástupiště</p>
D	obchodní plochy	

Z následující tabulky vyplývá, že pro náš konkrétní případ je definován jako kategorie **C3** – plochy bez překážek pro pohyb osob (plochy v muzeích, ve výstavních sálích, ...).

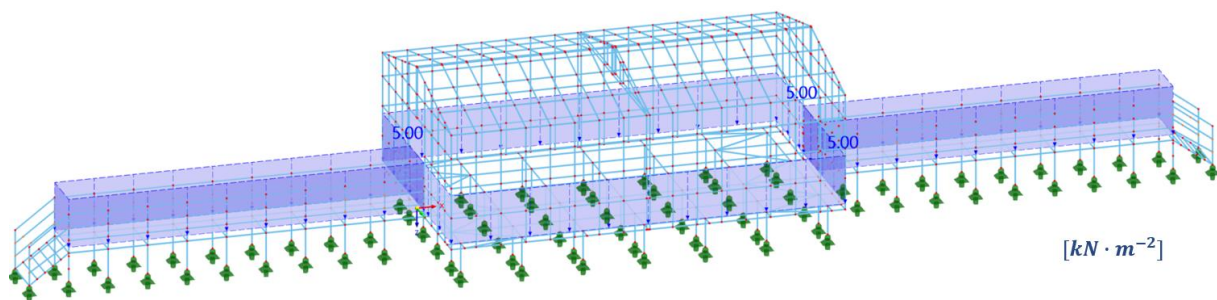
POZNÁMKA: Hodnoty pro q_k a Q_k jsou uvedeny v následující tabulce. Pokud je v této tabulce uvedeno rozmezí, hodnoty je možné stanovit v národní příloze. Hodnoty doporučené pro použití jsou podtržené. Pro stanovení obecných účinků se používá q_k a pro účinky lokální Q_k . Národní příloha může definovat jiné podmínky pro používání této tabulky. [9]

Tabulka 6: Charakteristické hodnoty užitého zatížení [9]

Kategorie zatěžovaných ploch	q_k [$kN \cdot m^{-2}$]	Q_k [kN]
kategorie A		
– stropní konstrukce	1,5 až <u>2,0</u>	<u>2,0</u> až 3,0
– schodiště	<u>2,0</u> až 4,0	<u>2,0</u> až 4,0
– balkóny	<u>2,5</u> až 4,0	<u>2,0</u> až 3,0
kategorie B	2,0 až <u>3,0</u>	1,5 až <u>4,5</u>
kategorie C		
– C1	2,0 až <u>3,0</u>	3,0 až <u>4,0</u>
– C2	3,0 až <u>4,0</u>	2,5 až 7,0 (<u>4,0</u>)
– C3	3,0 až <u>5,0</u>	<u>4,0</u> až 7,0
– C4	4,5 až <u>5,0</u>	3,5 až <u>7,0</u>
– C5	<u>5,0</u> až 7,5	3,5 až <u>4,5</u>
kategorie D		
– D1	<u>4,0</u> až 5,0	3,5 až 7,0 (<u>4,0</u>)
– D2	4,0 až <u>5,0</u>	3,5 až <u>7,0</u>

Z tabulky vyplývá, že v našem případě je vhodné počítat s užitným zatížením $q_k = 5$ [$kN \cdot m^{-2}$].

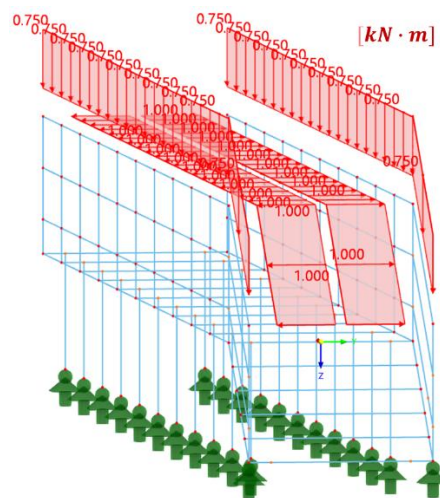
Při výpočtu je uvažováno, že užité zatížení působí přímo na všechny pruty podlahového roštu a rampy s výjimkou prutů vyztužovacích.



Obr. 13: Užité zatížení

7.5 Zatížení zábradlí

Na zábradlí působí s ohledem na normu ČSN 74 3305 vodorovné zatížení o velikosti $f_v = 1 \text{ kN/m}$ a zatížení svislé o velikosti $f_s = 0,75 \text{ kN/m}$.



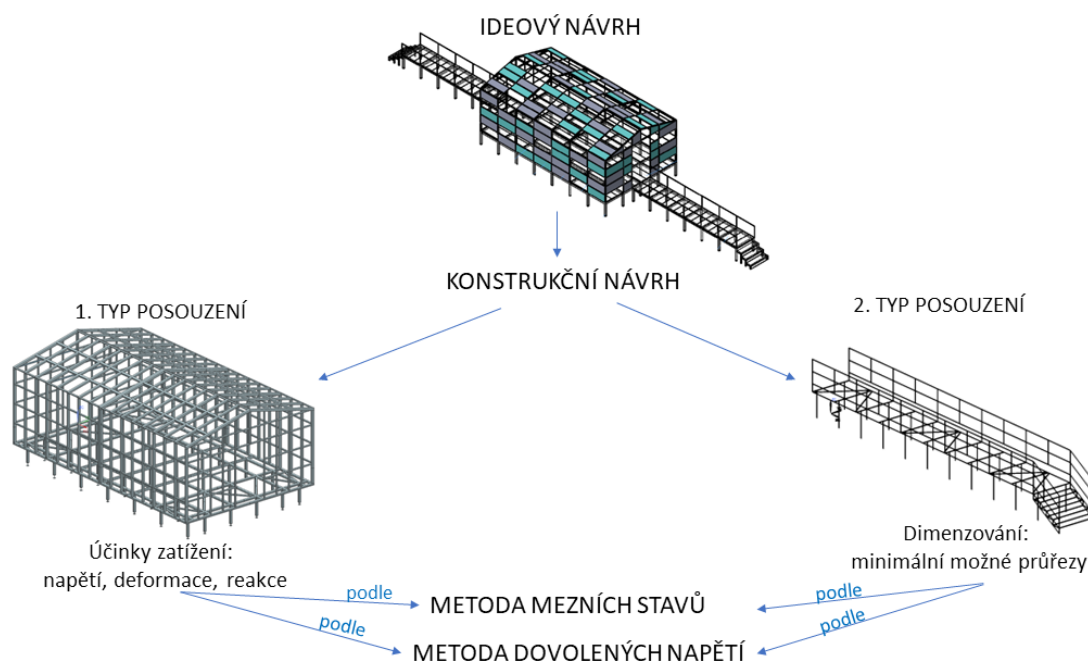
Obr. 14: Zatížení zábradlí

8 Zvolené postupy posouzení konstrukce

V této diplomové práci je kladen důraz na dva rozdílné přístupy vyhodnocení konstrukce – a to vyhodnocení s ohledem na dovolená napětí (typický v oblasti strojního inženýrství) a vyhodnocení s ohledem na mezní stavy (typický v oblasti stavebního inženýrství). Samotné přístupy jsou dále rozděleny v závislosti na konkrétní posuzované části konstrukce na dva konkrétní typy posouzení.

První typ posouzení se zaměřuje na středovou část konstrukce – halu. V tomto případě jsou posuzovány průběhy napětí, reakce, deformace, a některé další účinky. Jako výpočtový model je použito konstrukční řešení haly, které bylo navrženo s ohledem na požadavky architekta, konstrukční detaily a prvotní zjednodušené výpočty (více v kapitole 6 - Konstrukční návrh). Posouzení tohoto konstrukčního řešení je provedeno oběma přístupy vyhodnocení (přístup s ohledem na dovolená napětí a přístup s ohledem na mezní stavy), které budou mít totožné okrajové podmínky (rozměry a použitý materiál jednotlivých profilů, působící zatížení a typy vazeb).

Druhý typ posouzení se zaměřuje na boční část konstrukce – nástupní rampu. V tomto případě je cílem dimenzovat – najít minimální možné průřezy vybraných profilů a následně toto řešení posoudit oběma přístupy. Posuzovaný parametr je v tomto případě využitelnost materiálu – bezpečnost.



Obr. 15: Grafické schéma postupu posouzení konstrukce

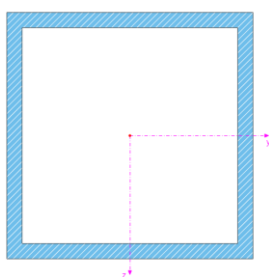
8.1 Postup při vzájemném porovnání více výpočtových modelů

V našem případě porovnáváme výpočtové modely dvou konstrukcí a v závislosti na druhu metody posouzení k tomu využíváme příslušné výpočtové programy. Prvním předpokladem k možnosti porovnání výsledků jsou shodné okrajové podmínky. Proto je vhodné si tyto vstupní okrajové podmínky před samotným výpočtem definovat.

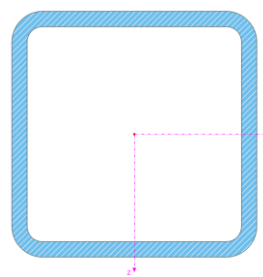
8.1.1 Vlastní hmotnost konstrukce

Prvním parametrem, který je nutné po sestavení 3D modelů v odlišných softwarech zkontrolovat, je vlastní hmotnost. Pokud je například vytvořen prutový model konstrukce, kde je jednotlivým prutům následně přiřazen profil a materiál – je vhodné u průřezu profilu zohlednit i takové detaily, jako je například rádius zaoblení hran. Při výpočtu se z důvodu snížení výpočtových časů některé prvky často zjednodušují, a tak při snaze definovat stejné okrajové podmínky pro více výpočtových modelů je vhodné toto zjednodušení provádět u všech výpočtových modelů totožné.

Pokud například vytvoříme prutový model středové části naší konstrukce (haly) ve dvou různých výpočtových softwarech, kdy jeden nám umožňuje přiřadit prutům průřezy dutých obdélníkových profilů, včetně rádiusů zaoblení hran a druhý pouze s ostrými hranami, tak z důvodu velkých rozměrů konstrukce nám již zde na začátku vznikne určitý rozdíl celkové hmotnosti.



Obr. 16: 80x80x5



Obr. 17: ČSN EN 10219-2: 80x80x5

Vlastní hmotnost střední části konstrukce – haly (10 x 4,5 m)		
Celková hmotnost Průřezy se zaoblenými hranami	Celková hmotnost Průřezy s ostrými hranami	Rozdíl
6589 kg	6844 kg	255 kg

Obr. 18: Vlastní hmotnost konstrukce haly v závislosti na detailu průřezu

Při použití těchto dvou typů průřezů v naší konstrukci haly o velikosti přibližně 10 x 4,5 metru vznikne rozdíl celkové hmotnosti 255 kg. Je tedy vhodné sjednotit průřez u všech výpočtových modelů, protože i tento na první pohled malý detail vzhledem k velikosti celé konstrukci může změnit vstupní podmínky obou výpočtů.

8.1.2 Modální analýza – vlastní tvary konstrukce

Při výpočtu modální analýzy zjistíme hodnoty vlastních frekvencí konstrukce a průběhy vlastních tvarů. To je vhodné pro kontrolu spojení všech prvků, jejich vzájemných vazeb a chování konstrukce jako celku.

8.1.3 Reakce podpor při působení pouze vlastní váhy konstrukce

Dalším vhodným krokem pro kontrolu vstupních podmínek u více modelů je porovnání reakce podpor při působení pouze vlastní váhy konstrukce. Součet všech reakcí se musí rovnat celkové hmotnosti konstrukce přenásobenou tíhovým zrychlením. Také je vhodné porovnat reakce podpor jednotlivě – tím můžeme zkontrolovat, zda je tok napětí v konstrukci totožný.

8.1.4 Zadání zatěžovacích účinků

Pokud pracujeme v různých výpočtových softwarech, které jsou ještě navíc různě přizpůsobené pro konkrétní obor (například strojíni či stavební), často se setkáme s odlišnými způsoby zadávání zatěžovacích účinků. Některé softwary nabízejí různé generátory zatížení, zatímco jiné mohou být v tomto ohledu více omezené. Je tedy nutné zvolit vhodný způsob zadání zatěžovacích účinků na konstrukci u všech porovnávaných výpočtových modelů.

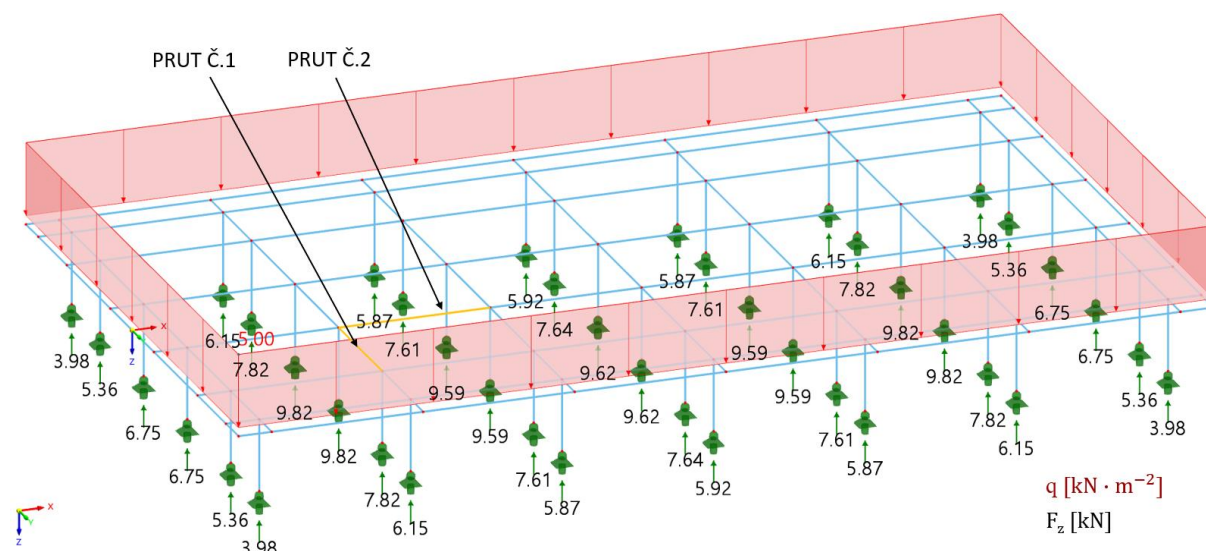
Zadání plošného zatížení na konstrukci

Typickým příkladem této problematiky může být zadávání plošného zatížení na konstrukci. Například známe hodnotu plošného zatížení [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$] a my ho chceme zadat (rozložit) na konstrukci. Obdobný příklad může být také působení objemové tíhy tělesa na konstrukci – objemovou tíhu lze jednoduše převést na plošné zatížení, a to je opět nutné vhodné zadat na konstrukci.

V našem konkrétním případě se s tímto typem zadávání plošného zatížení na konstrukci setkáváme například u podlahového roštu haly, kde známe velikost užitečného zatížení konstrukce, které je definováno příslušnou normou jako $q_k = 5 \text{ [kN} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}$, které chceme rozložit na jednotlivé profily. K tomu lze použít několik přístupů.

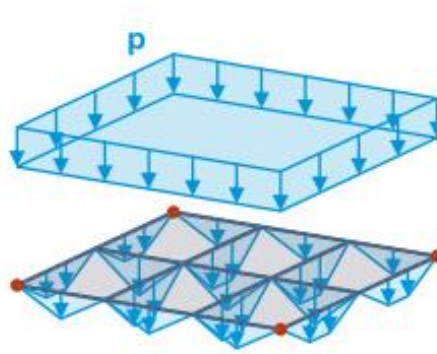
8.1.4.1 Převod plošného zatížení na liniové pomocí generátoru zatížení

K tomuto přístupu byl využit výpočtový software Dlubal RSTAB, který je vhodný k výpočtu prutových konstrukcí. Součástí softwaru je také generátor zatížení, který převádí plošné zatížení [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$] na zatížení liniové [$\text{N} \cdot \text{m}$] jednotlivých prutů. Generátor rozloží na jednotlivé pruty liniové zatížení s ohledem na jejich geometrické uspořádání v celkové konstrukci (viz následující obrázek).



Obr. 19: Generátor zatížení – reakce podpor ve směru Z

Pro orientační porovnání s dalšími metodami zadání plošného zatížení na konstrukci použijeme hodnotu součtu všech reakcí podpor ve směru Z: $\Sigma (-F_z) = 298,15 \text{ kN}$.

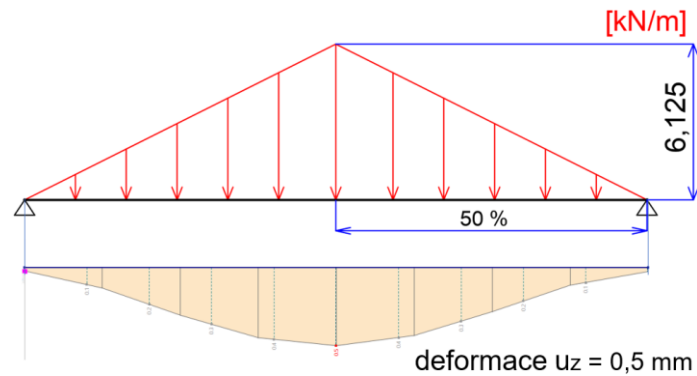


Obr. 20: Generování liniového zatížení

Průběh zatížení na prutu č. 1:

Délka prutu $l = 1255$ mm

Deformace $u_z = 0,5$ mm – za předpokladu: průřez $80 \times 80 \times 5$ mm + materiál S235

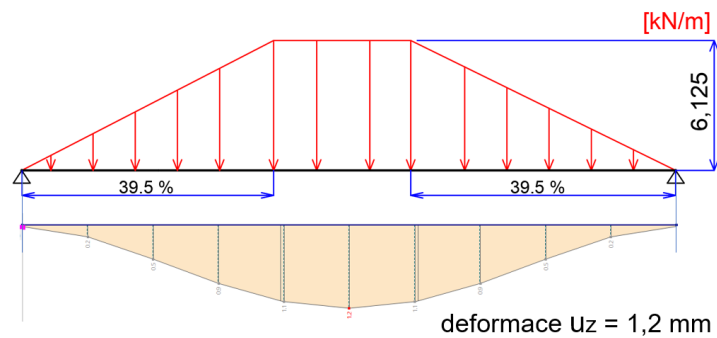


Obr. 21: Generátor zatížení – průběh zatížení a deformace na prutu č.1

Průběh zatížení na prutu č. 2:

Délka prutu $l = 1550$ mm

Deformace $u_z = 1,2$ mm – za předpokladu: průřez $80 \times 80 \times 5$ mm + materiál S235



Obr. 22: Generátor zatížení – průběh zatížení a deformace na prutu č.2

8.1.4.2 Rozložení plošného zatížení dle zatěžovacích šířek

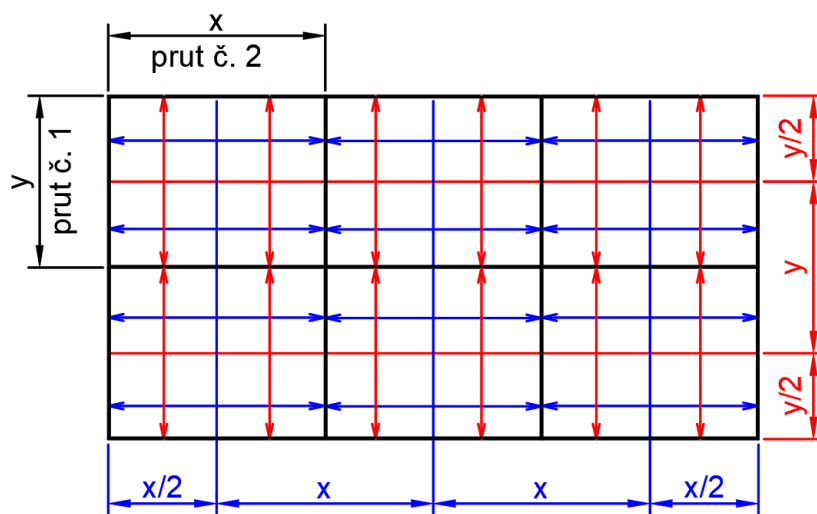
Tato metoda je v porovnání s ostatními nejméně přesná, a to z důvodu obecně větších liniových zatížení, která jsou pro jednotlivé pruty rozdělena. Jedná se tedy o více konzervativní přístup, který nám dává pro výpočet určitou rezervu – bezpečnost. Vzhledem ke způsobu zadávání liniových zatížení – kdy se jednotlivá liniová zatížení z prutů sčítají ve styčnicích, vzniká v těchto místech značné (dvojnásobné) zatížení. Tuto metodu lze použít pro posouzení prutů s určitou vyšší bezpečností, ale v případě posouzení reakcí styčniců a podpor je spíše tato metoda spíše zavádějící.

Příklad výpočtení liniového zatížení f [$\text{kN} \cdot \text{m}$] dle zatěžovacích šířek.

Uvažujme plošné zatížení na celé konstrukci $q_k = 5$ [$\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$]

Délka prutu č.1: $y = 1,225$ m

Délka prutu č.2: $x = 1,55$ m



Obr. 23: Příklad výpočtu liniového zatížení dle zatěžovacích šířek

Při výpočtu je nutné rozlišit krajní a vnitřní pruty:

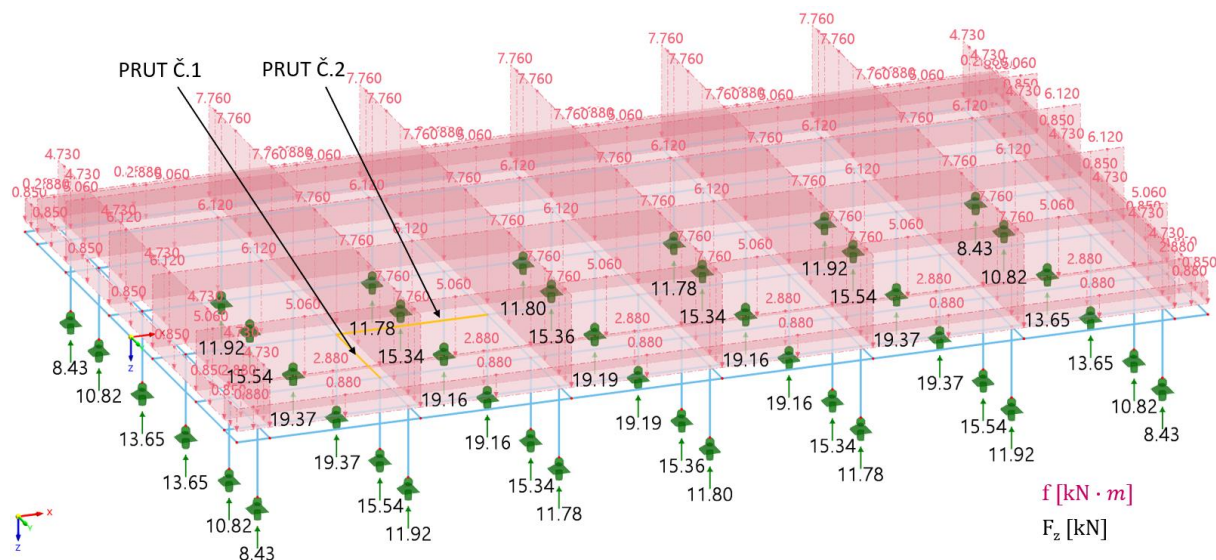
$$\text{Výpočet liniového zatížení krajních prutů č.1: } f_{xk} = \frac{y \cdot q_k}{2} = \frac{1,225 \cdot 5}{2} = 3,88 \text{ [kN} \cdot \text{m]}$$

$$\text{Výpočet liniového zatížení vnitřních prutů č.1: } f_{xn} = y \cdot q_k = 1,225 \cdot 5 = 7,75 \text{ [kN} \cdot \text{m]}$$

$$\text{Výpočet liniového zatížení krajních prutů č.2: } f_{yk} = \frac{x \cdot q_k}{2} = \frac{1,55 \cdot 5}{2} = 3,06 \text{ [kN} \cdot \text{m]}$$

$$\text{Výpočet liniového zatížení vnitřních prutů č.2: } f_{yn} = x \cdot q_k = 1,55 \cdot 5 = 6,125 \text{ [kN} \cdot \text{m]}$$

Tímto způsobem byla vypočtena také další liniová zatížení, která působí na jednotlivé pruty podlahového roštu haly. Zatížení poté bylo v softwaru Dlubal Rstab přiřazeno jednotlivým prutům.



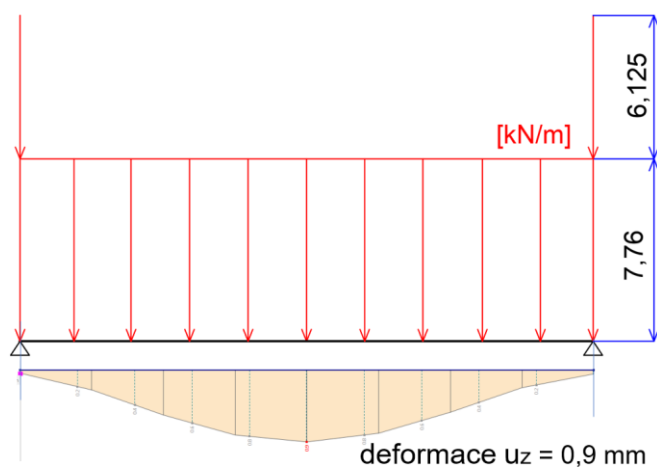
Obr. 24: Rozložení dle zatěžovacích šířek – reakce podpor ve směru Z

Pro orientační porovnání s dalšími metodami zadání plošného zatížení na konstrukci použijeme hodnotu součtu všech reakcí podpor ve směru Z: $\Sigma (-F_z) = 596,71 \text{ kN}$.

Průběh zatížení na prutu č. 1:

Délka prutu $l = 1255 \text{ mm}$

Deformace $u_z = 0,9 \text{ mm}$ – za předpokladu: průřez $80 \times 80 \times 5 \text{ mm}$ + materiál S235

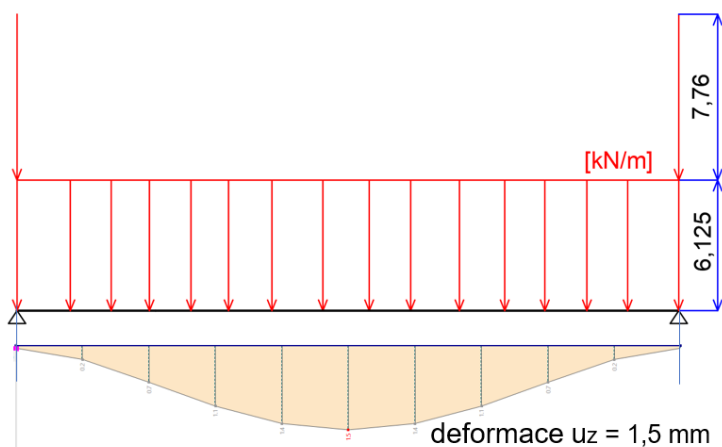


Obr. 25: Rozložení dle zatěžovacích šířek – průběh zatížení a deformace na prutu č.1

Průběh zatížení na prutu č. 2:

Délka prutu $l = 1550 \text{ mm}$

Deformace $u_z = 1,5 \text{ mm}$ – za předpokladu: průřez $80 \times 80 \times 5 \text{ mm}$ + materiál S235



Obr. 26: Rozložení dle zatěžovacích šířek – průběh zatížení a deformace na prutu č.2

8.1.4.3 Zatížení jednotkovou silou

K tomuto přístupu byl využit výpočtový software NX Nastran, který disponuje možností geometrickým rozložením jednotkové síly, která působí v těžišti námi vybraných profilů. Je tedy nutné si spočítat velikost jednotkové síly, která připadá na každé konkrétní pole roštu.

Uvažujeme plošné zatížení na celé konstrukci $q_k = 5 \text{ [kN} \cdot \text{m}^{-2}]$

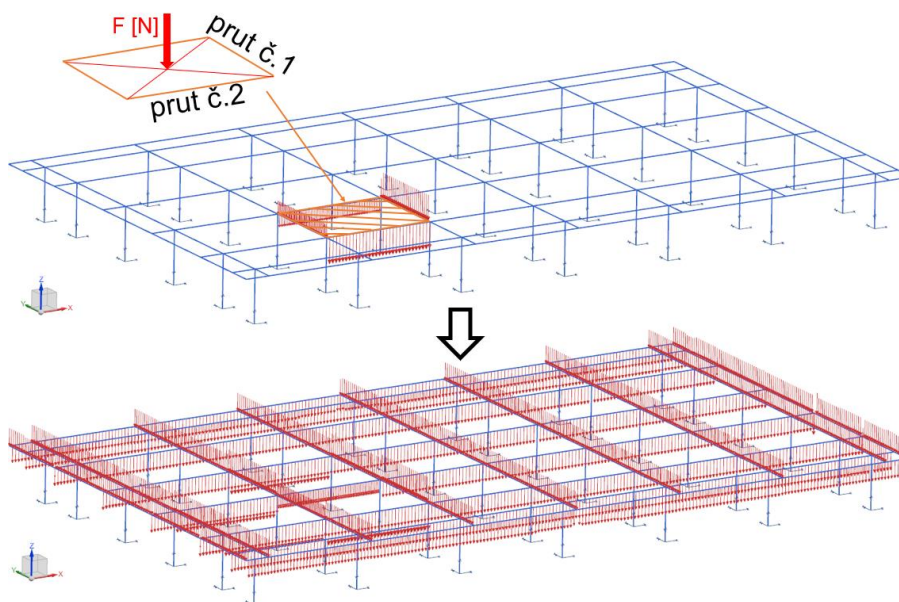
Výpočet jednotkové síly pole s pruty č.1 a č.2 (viz následující obrázek):

Délka prutu č.1: $y = 1,225 \text{ m}$

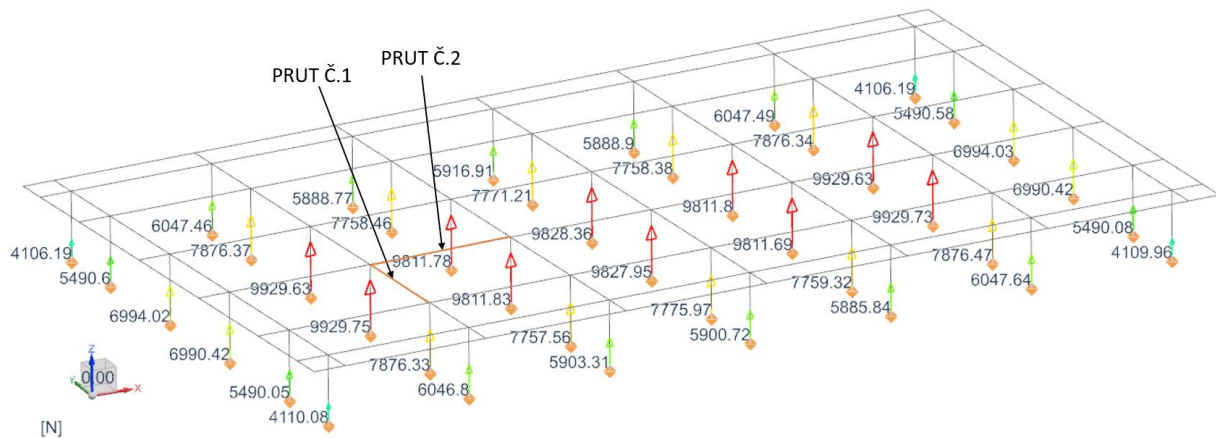
Délka prutu č.2: $x = 1,55 \text{ m}$

$$F = S_{pole} \cdot q_k = (1,225 \cdot 1,55) \cdot 5 = 9,726 \text{ kN}$$

Tímto způsobem byly vypočítány také další síly pro jednotlivá pole roznášecího roštu haly a s vybranými pruty polí byly zaneseny do výpočtového modelu.



Obr. 27: Schéma postupu při zadávání zatížení jednotkovou silou



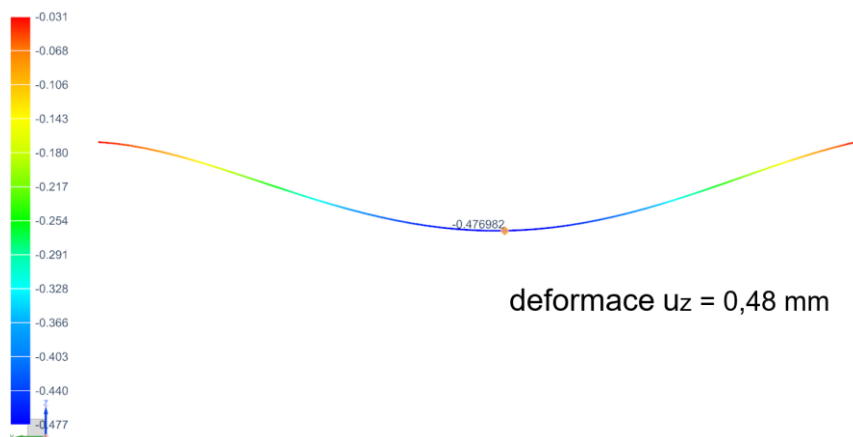
Obr. 28: Zatížení jednotkovou silou – reakce podpory ve směru Z

Pro orientační porovnání s dalšími metodami zadání plošného zatížení na konstrukci použijeme hodnotu součtu všech reakcí podpory ve směru Z: $\Sigma F_z = 302,64 \text{ kN}$.

Průběh zatížení na prutu č. 1:

Délka prutu $l = 1255 \text{ mm}$

Deformace $u_z = 0,48 \text{ mm}$ – za předpokladu: průřez $80 \times 80 \times 5 \text{ mm}$ + materiál S235

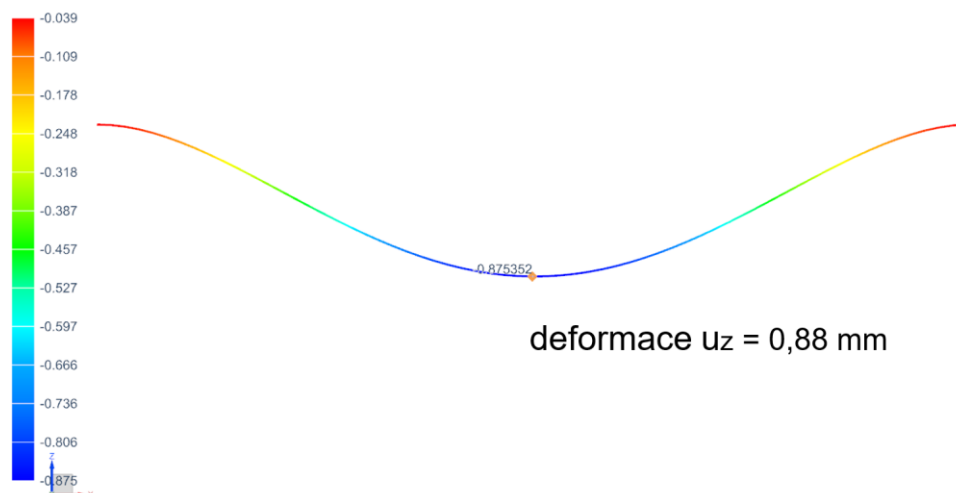


Obr. 29: Zatížení jednotkovou silou – deformace prutu č.1

Průběh zatížení na prutu č. 2:

Délka prutu $l = 1550 \text{ mm}$

Deformace $u_z = 1,5 \text{ mm}$ – za předpokladu: průřez $80 \times 80 \times 5 \text{ mm}$ + materiál S235



Obr. 30: Zatížení jednotkovou silou – deformace prutu č.2

8.1.4.4 Porovnání přístupů k rozložení plošného zatížení na liniové

Tabulka 7: Porovnání přístupů k rozložení plošného zatížení na liniové

Přístup dle	Generátor zatížení	Zatěžovací šířky	Jednotkové síly
Součet reakcí Fz [kN]	298,15	593,71	302,64
Deformace uz prutu č.1 [mm]	0,5	0,9	0,5
Deformace uz prutu č.2 [mm]	1,2	1,5	0,9

Z porovnání vyplývá, že metoda dle zatěžovacích šířek je zcela jasně nejvíce konzervativní. (působící hodnoty reakcí ve styčnicích jsou oproti skutečným hodnotám zdvojnásobeny). Naopak metody dle jednotkové síly a generátorem zatížení jsou si velice podobné – rozdíl nastává ve velikosti deformace delšího prutu. To může být způsobeno jiným rozložením liniového zatížení na prut – bližší rozbor však není součástí této diplomové práce.

9 První typ posouzení – účinky zatížení

9.1 Porovnání vstupních parametrů

Nejprve je vhodné porovnat vytvořené modely konstrukce haly, abychom se ujistili, zda jsou vytvořené modely a vstupní okrajové podmínky pro obě metody výpočtu dostatečně shodné.

9.1.1 Vlastní váha konstrukce

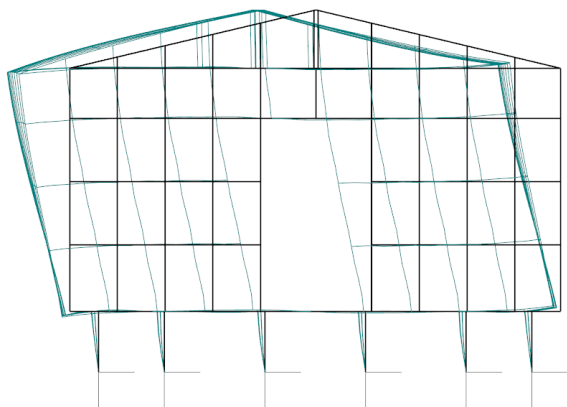
Tabulka 8: Porovnání vlastní váhy konstrukce

Prutová konstrukce v programu Dlubal RSTAB	Prutová konstrukce v programu Siemens NX
6844 kg	6822 kg

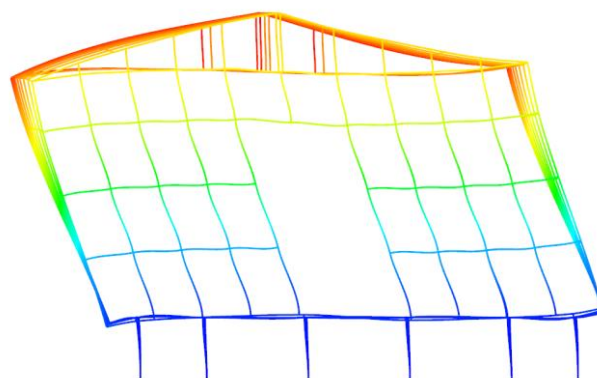
9.1.2 Vlastní tvary konstrukce

Tabulka 9: Porovnání vlastních tvarů kmitání

	Dlubal FIN EC	Siemens NX	Podobnost deformace
Vlastní tvar č. 1	5,669 Hz	5,856 Hz	ANO
Vlastní tvar č. 2	8,548 Hz	9,387 Hz	NE
Vlastní tvar č. 3	9,143 Hz	10,496 Hz	ANO
Vlastní tvar č. 4	18,052 Hz	17,785 Hz	ANO
Vlastní tvar č. 5	20,103 Hz	19,912 Hz	ANO



Obr. 31: FIEN EC – Vlastní tvar č.1: 5,669 Hz

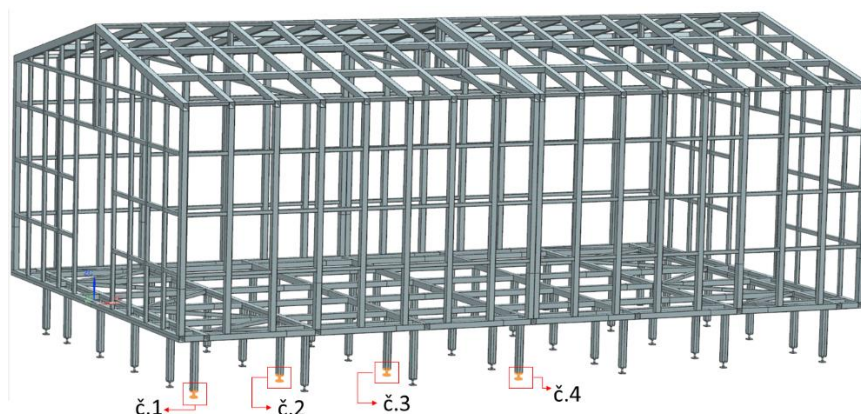


Obr. 32: Siemens NX – Vlastní tvar č.1: 5,856 Hz

9.1.3 Reakce podpory – zatížení pouze vlastní vahou konstrukce

Pro porovnání hodnot reakcí byly zvoleny čtyři podpory – styčníky. Nyní jsou tyto podpory porovnávány pouze z hlediska působení vlastní váhy konstrukce.

Pro přehlednost jsou porovnávány podpory označené čísly 1 až 4 a jsou znázorněné na následujícím obrázku.



Obr. 33: Zobrazení zvolených styčníků konstrukce k porovnání

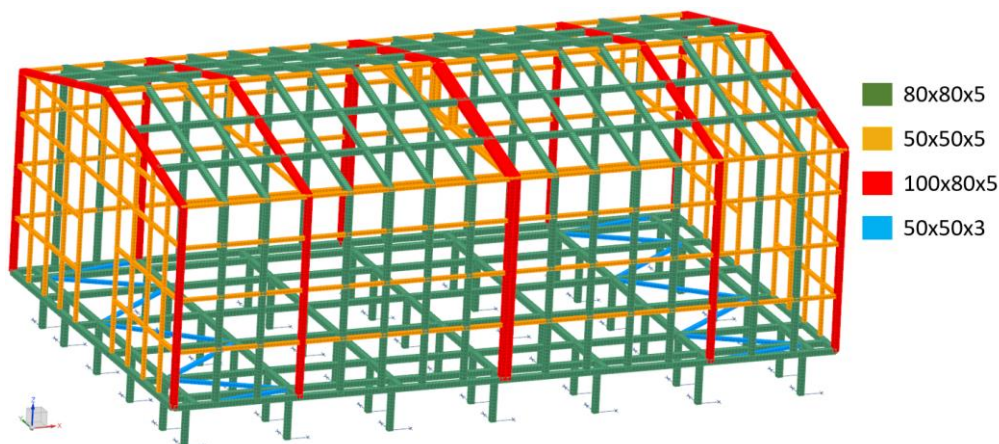
Styčník	Dlubal RSTAB Reakce F_z [kN]	Siemens NX Reakce F_z [kN]
č. 1	3,50	3,37
č. 2	-0,31	-0,25
č. 3	-0,22	-0,18
č. 4	5,62	5,46

Z výsledků porovnání obou vytvořených modelů konstrukce vyplývá, že porovnávané hodnoty jsou dostatečně shodné a tím pádem jsou také dostatečně shodné i oba vstupní výpočtové modely.

9.2 Metoda dovolených napětí

9.2.1 Prutový výpočtový model

V programu Siemens NX byl nejprve vytvořen prutový model konstrukce haly, kde byly jednotlivé pruty následně zasítovány 1D sítí typu CBEAM s definovaným průřezem a materiálem. Jako nahrazení ukotvení patek sloupků k podlaze byly vybrány koncové uzly sítě sloupků a byly jim odebrány stupně volnosti ve směru posuvu x, y, z.



Obr. 34: Prutový model zasítovaný 1D sítí

9.2.2 Zatěžovací stavy

Při výpočtu uvažujeme, že na konstrukci působí současně čtyři zatížení:

- G1 – vlastní tíha konstrukce
- G2 – vlastní tíha od skleněných tabulí
- G3 – vlastní tíha od dřevěné podlahy
- G4 – užité zatížení

Tato zatížení jsou popsána v kapitole 7 - Určení zatížení na konstrukci. Pro zadání působících zatížení do výpočtového modelu byl zvolen přístup zadávání zatížení jednotkovou silou, kdy bylo nejdříve vypočteno působící zatížení na konkrétní oblast konstrukce (jednotlivá pole) a poté bylo do výpočtového modelu zadáno jako jednotková síla, kterou software NX při výpočtu zatíží zvolené pruty. Tato metoda je více popsána v kapitole 8.1.4.3 - Zatížení jednotkovou silou.

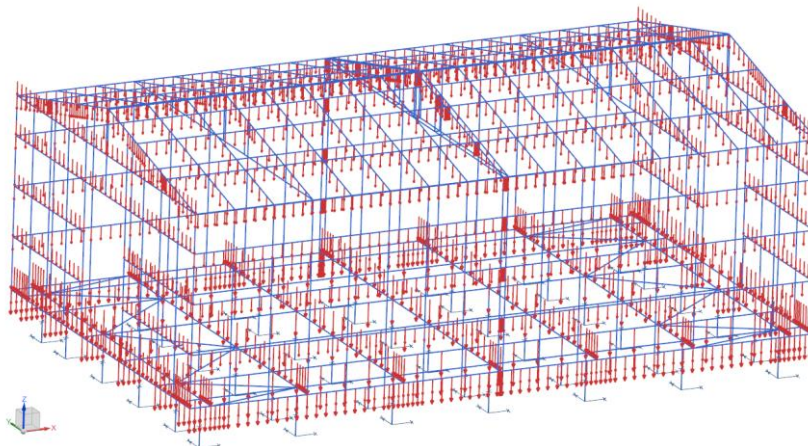
Velikost všech jednotkových sil byla vypočítána v tabulkovém softwaru Excel a následně zadána na příslušné pruty ve výpočtovém modelu.

Tabulka 10: Tabulka pro výpočet jednotkového zatížení

ROZMĚR POLE [mm x mm]	1255	x	1550
Plošné zatížení	5		[kN · m ⁻²]
Zatížení jednotkovou silou	9726.25		[N]

Jednotlivé působící zatížení byly rozřizeny do samostatných podskupin (subcase) a následně byla vytvořena skupina, ve které jsou již zahrnuta všechna zatížení dohromady – výsledky z této skupiny budou pro nás rozhodující.

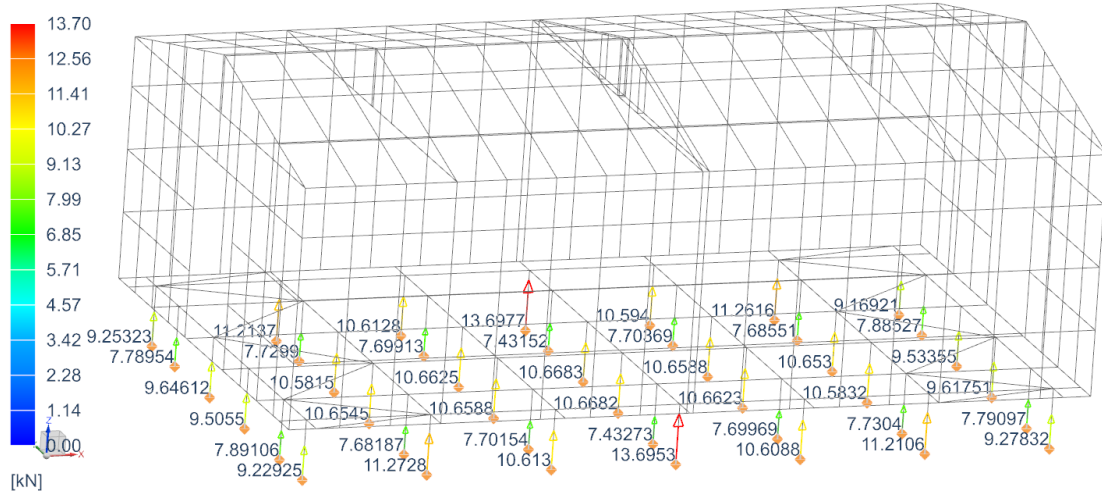
Výsledné působící zatížení na konstrukci: $\Sigma G_i = G_1 + G_2 + G_3 + G_4$



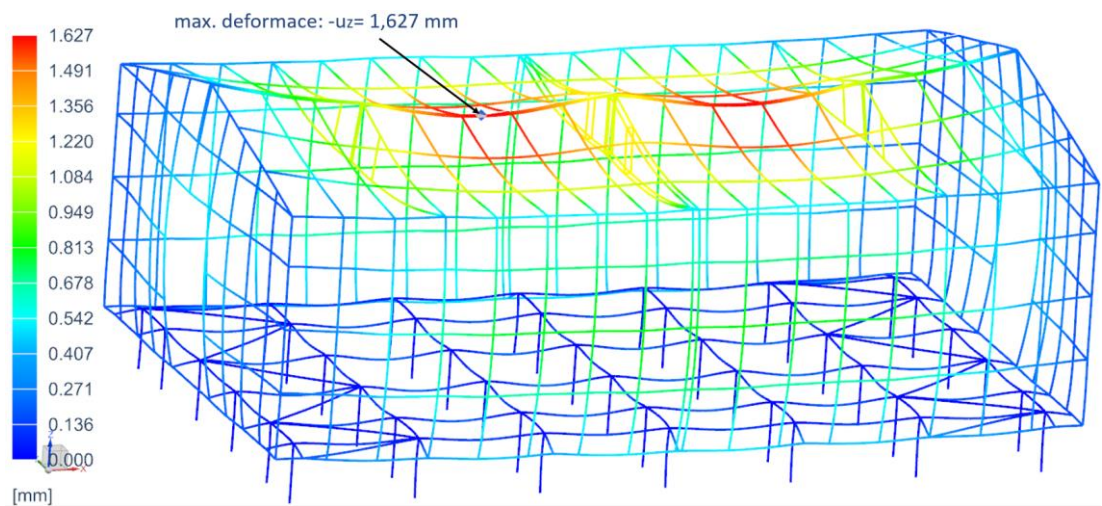
Obr. 35: Celkové zatížení konstrukce všemi čtyřmi typy zatížení

9.2.3 Výsledky výpočtu

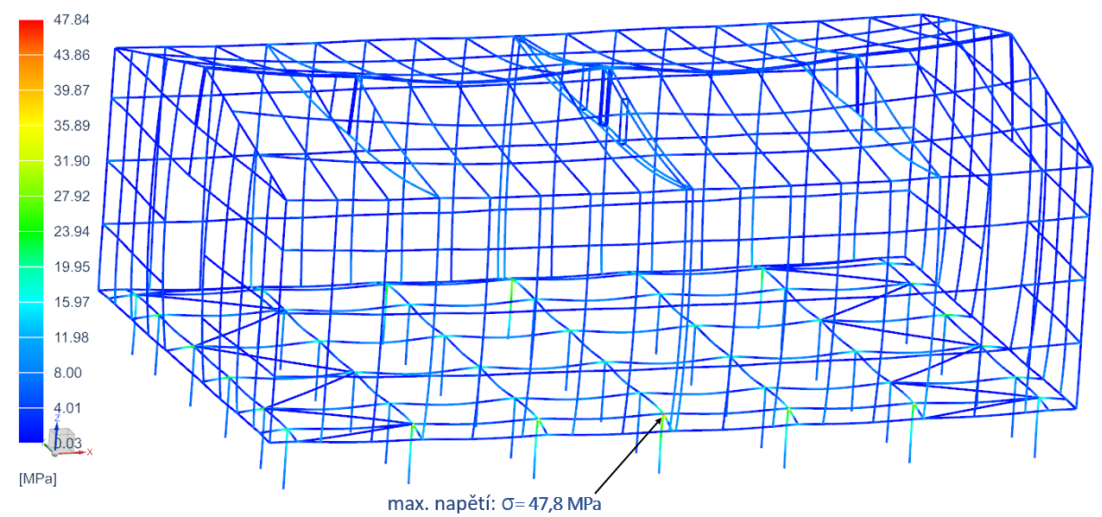
- Lineární stabilita = **-48,5**
- Součet reakcí podpor ve směru Z: $\Sigma F_z = 404,31 \text{ kN}$
- Maximální posunutí – deformace: $u_z = 1,627 \text{ mm}$
- Maximální napětí (von Mises): $\sigma_{\max} = 47,8 \text{ kN}$



Obr. 36: Reakce Fz



Obr. 37: Posunutí – deformace



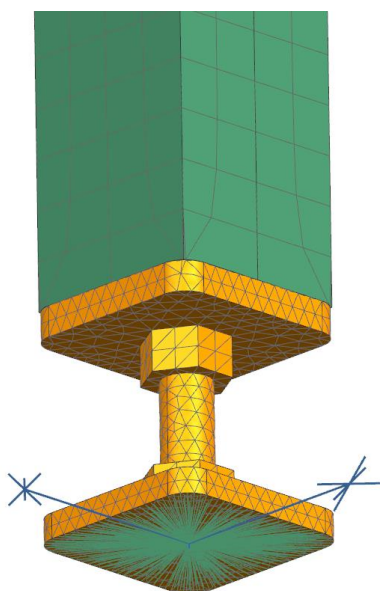
Obr. 38: Průběh napětí

9.2.4 Výpočtový model – 2D a 3D sítě

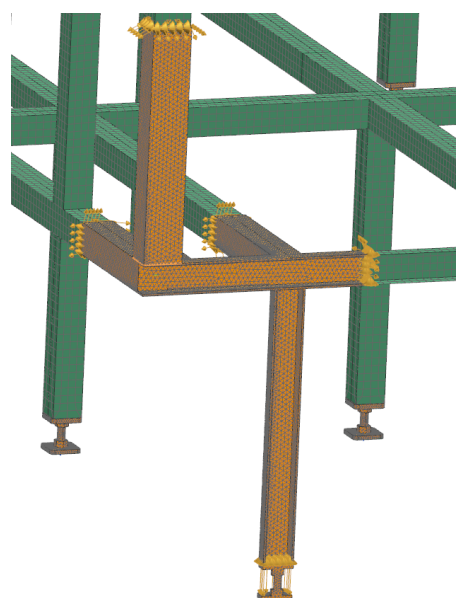
Z důvodu maximálního napětí v místě svaru bylo nutné toto místo posoudit z hlediska bezpečnosti svarového spoje. Abychom však mohli určit výpočtovou hodnotu napětí v místě svaru – bylo nutné vytvořit vhodný model. V následujícím výpočtovém modelu byly vytvořeny střednicové plochy profilů, které byly následně spojeny. V kritickém místě byly profily ponechány jako objemová tělesa. Pro snížení výpočtových časů, byly využity dvě roviny symetrie, podle kterých je model rozdělen.



Obr. 39: Symetrie – definované vazby a použití sítě



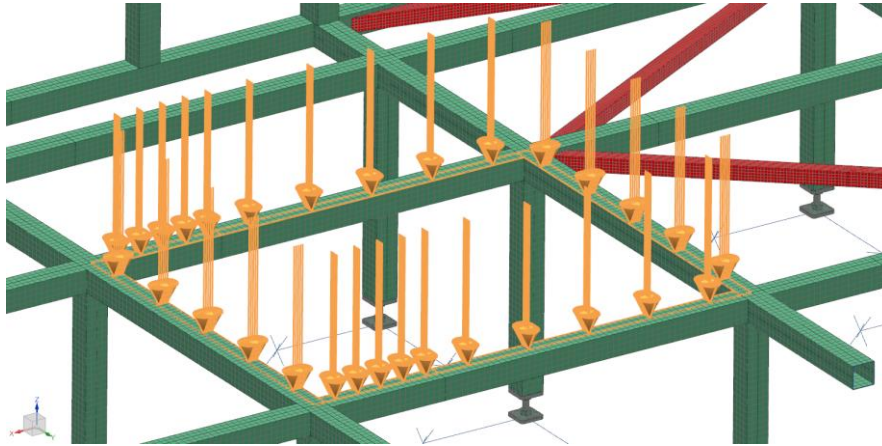
Obr. 40: 1D rúžice a odebrání stupňů volnosti v x,y,z



Obr. 41: Spojení 3D a 2D sítě – gluing

Způsob zadání zatížení na konstrukci byl stejný jako u prutového modelu – zatížení jednotkovou silou. Horní střednicové plochy profilů, na které zatížení přímo působí, byly

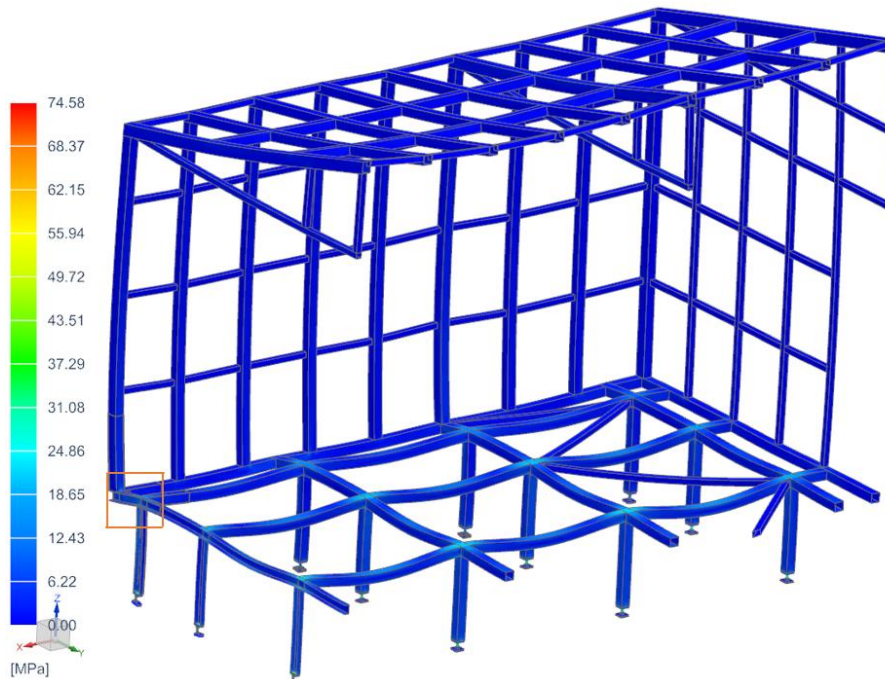
naseknuty na dvě poloviny. To lze vidět na následujícím obrázku, kde je také vidět grafické rozložení jednotkové síly na vybrané plochy profilů.



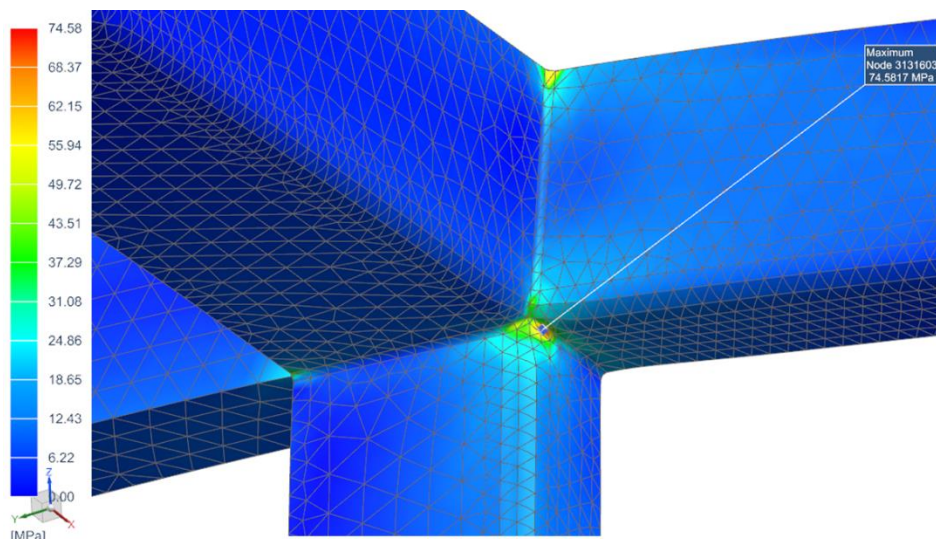
Obr. 42: Zadání jednotkové síly na jednotlivá pole

Jednotlivé působící zatížení byly opět roztřízeny do samostatných podskupin (subcase) a následně byla vytvořena skupina, ve které jsou zahrnuta všechna zatížení dohromady – výsledky z této skupiny budou pro nás rozhodující.

Výsledné působící zatížení na konstrukci: $\Sigma G_i = G_1 + G_2 + G_3 + G_4$



Obr. 43: Průběh napětí



Obr. 44: Detail spoje

9.2.5 Posouzení svarového spoje dle ČSN 05 0120

Použití tohoto přístupu posouzení svarů je dle normy platné pro nelegované oceli s pevností 343 až 510 MPa a zároveň v rozmezí provozních teplot mezi -20 °C až 150 °C. Při MKP analýzách je běžné považovat svarové spoje za dokonale provedené – svařovaná konstrukce je tak považována za celistvou. Z míst, kde se svarové spoje nacházejí, se odečte hodnota napětí a svař se na tuto hodnotu posoudí. [10]

Platí vzorec:

$$\sigma_{D \text{ svaru}} \geq \sigma_{max}$$

$$\sigma_{D \text{ svaru}} = \frac{\alpha \cdot R_e}{k} \text{ [MPa]}$$

α – převodní součinitel svarového spoje

R_e [MPa] – mez kluzu základního materiálu

k – koeficient bezpečnosti (více popsáno v kapitole 4)

σ_{max} [MPa] – hodnota z výpočtového modelu z místa posuzovaného svarového spoje (běžně se maximální hodnota napětí neuvažuje ve špičce napětí, ale v jejím okolí)

Tabulka 11: Převodní součinitele svarového spoje [11]

Druh svaru	Druh namáhání	Převodní součinitel α
Tupý	Tlak	1,00
	Tah, ohyb	0,85
	Smyk	0,70
Koutový	Čelní	0,75
	Boční	0,65

Pro tento konkrétní příklad uvažujeme základní materiál S355:

$$\alpha = 0,65$$

$$R_e = 355 \text{ MPa}$$

$k = 1,5$ (součinitel nebyl definován a nejedná se o velmi důležitý spoj – zvoleno 1,5)

$\sigma_{max} = 65 \text{ MPa}$ (hodnota v okolí špičky napětí)

$$\sigma_{D \text{ svaru}} \geq \sigma_{max}$$

$$\frac{\alpha \cdot R_e}{k} \geq \sigma_{max}$$

$$\frac{0,65 \cdot 355}{1,5} \geq 65$$

$$153,8 \geq 65 \text{ [MPa]}$$

Svarový spoj vyhovuje

Výpočet bezpečnosti svarového spoje:

$$k = \frac{\alpha \cdot R_e}{\sigma_{max}}$$

$$k = \frac{0,65 \cdot 355}{65}$$

$$k = 3,55$$

9.3 Metoda mezních stavů

9.3.1 Prutový výpočtový model

V softwaru Dlubal Rstab byl nejprve vytvořen prutový model konstrukce haly. Jednotlivým prutům byly přiřazeny definované průřezy a materiál. Uzlovým podporám sloupeků byly rovněž odebrány stupně volnosti ve směru posuvu x, y, z. Jedinou patrnou odlišností oproti modelu ze softwaru Siemens NX je způsob zadávání plošného zatížení. V tomto případě bylo plošné zatížení zadáno pomocí generátoru zatížení, který je součástí programu Dlubal Rstab.

9.3.2 Zatěžovací stavy

Zatěžovací stavy a jejich velikosti zatížení, která na konstrukci působí jsou stejná jako u metody dovolených napětí (detailně popsáno v kapitole 7). V tomto případě jsou však jednotlivé zatěžovací stavy dle normy ČSN EN 1990 specifikovány v závislosti na jejich typu působení a jsou jim tak přiřazeny příslušné dílčí a kombinační součinitele (viz následující tabulka).

Tabulka 12: Zatěžovací stavy

č.	Název	Kód	Typ	Y _f (Y _{f,inf})*	Součinitele pro kombinace				
					ξ	Kateg.**	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂
1	G1 vlastní tíha-stálé	Vlastní tíha	Stálé	1,35(0,90)	0,85	-	-	-	-
2	G2 silové-stálé: Vlastní tíha skel	Silové	Stálé	1,35(0,90)	0,85	-	-	-	-
3	G3 silové-stálé: Vlastní tíha dřevěné podlahy	Silové	Stálé	1,35(0,90)	0,85	-	-	-	-
4	Q4 silové-proměnné dlouhodobé: Užité zatížení	Silové	Proměnné dlouhodobé	1,50	-	C	0,70	0,70	0,60

* Y_{f,inf} pro příznivě působící stálá zatížení

** Kategorie proměnných zatížení podle tabulky A1.1 v EN 1990

Při generování kombinací zatěžovacích stavů pro mezní stav únosnosti (MSÚ) byly využity kombinace základní, alternativní a mimořádné.

Při generování kombinací zatěžovacích pro mezní stav použitelnosti (MSP) byly využity kombinace charakteristické, časté a kvazistálé.

Tabulka 13: Kombinace pro posouzení mezního stavu únosnosti (MSÚ)

Číslo	Název a druh kombinace Složení
1	G1+G2+G3; základní kombinace $Y_{f,sup,1}(1,35)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*G2 + Y_{f,sup,3}(1,35)*G3$
2	Q4:G1+G2+G3; základní kombinace $Y_{f,sup,1}(1,35)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*G2 + Y_{f,sup,3}(1,35)*G3 + Y_{f,sup,4}(1,50)*Q4$
3(a)	G1+G2+G3; alternativní - základní kombinace s redukcí zatížení $Y_{f,sup,1}(1,35)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*G2 + Y_{f,sup,3}(1,35)*G3$
3(b)	G1+G2+G3; alternativní - základní kombinace s redukcí zatížení $Y_{f,sup,1}(1,35)*\xi_1(0,85)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*\xi_2(0,85)*G2 + Y_{f,sup,3}(1,35)*\xi_3(0,85)*G3$
4(a)	Q4:G1+G2+G3; alternativní - základní kombinace s redukcí zatížení $Y_{f,sup,1}(1,35)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*G2 + Y_{f,sup,3}(1,35)*G3 + Y_{f,sup,4}(1,50)*\psi_{0,4}(0,70)*Q4$
4(b)	Q4:G1+G2+G3; alternativní - základní kombinace s redukcí zatížení $Y_{f,sup,1}(1,35)*\xi_1(0,85)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*\xi_2(0,85)*G2 + Y_{f,sup,3}(1,35)*\xi_3(0,85)*G3 + Y_{f,sup,4}(1,50)*Q4$
5	G1+G2+G3; mimořádná kombinace G1 + G2 + G3

6	Q4:G1+G2+G3; mimořádná kombinace $G1 + G2 + G3 + \psi_{1,4}(0,70)*Q4$
7	G1+G2+G3; základní kombinace $Y_{f,sup,1}(1,35)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*G2 + Y_{f,sup,3}(1,35)*G3$
8	Q4:G1+G2+G3; základní kombinace $Y_{f,sup,1}(1,35)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*G2 + Y_{f,sup,3}(1,35)*G3 + Y_{f,sup,4}(1,50)*Q4$
9(a)	G1+G2+G3; alternativní - základní kombinace s redukcí zatížení $Y_{f,sup,1}(1,35)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*G2 + Y_{f,sup,3}(1,35)*G3$
9(b)	G1+G2+G3; alternativní - základní kombinace s redukcí zatížení $Y_{f,sup,1}(1,35)*\xi_{,1}(0,85)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*\xi_{,2}(0,85)*G2 + Y_{f,sup,3}(1,35)*\xi_{,3}(0,85)*G3$
10(a)	Q4:G1+G2+G3; alternativní - základní kombinace s redukcí zatížení $Y_{f,sup,1}(1,35)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*G2 + Y_{f,sup,3}(1,35)*G3 + Y_{f,sup,4}(1,50)*\psi_{0,4}(0,70)*Q4$
10(b)	Q4:G1+G2+G3; alternativní - základní kombinace s redukcí zatížení $Y_{f,sup,1}(1,35)*\xi_{,1}(0,85)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*\xi_{,2}(0,85)*G2 + Y_{f,sup,3}(1,35)*\xi_{,3}(0,85)*G3 + Y_{f,sup,4}(1,50)*Q4$
11	G1+G2+G3; mimořádná kombinace $G1 + G2 + G3$
12	Q4:G1+G2+G3; mimořádná kombinace $G1 + G2 + G3 + \psi_{2,4}(0,60)*Q4$

Vysvětlivky: varianta (a) = varianta s kombinační hodnotou hlavního proměnného zatížení
varianta (b) = varianta s redukovánými hodnotami stálých zatížení

Tabulka 14: Kombinace pro posouzení mezního stavu použitelnosti (MSP)

Číslo	Název a druh kombinace Složení
1	G1+G2+G3; charakteristická kombinace $G1 + G2 + G3$
2	Q4:G1+G2+G3; charakteristická kombinace $G1 + G2 + G3 + Q4$
3	G1+G2+G3; častá kombinace $G1 + G2 + G3$
4	Q4:G1+G2+G3; častá kombinace $G1 + G2 + G3 + \psi_{1,4}(0,70)*Q4$
5	G1+G2+G3; kvazistálá kombinace $G1 + G2 + G3$
6	G1+G2+G3+Q4; kvazistálá kombinace $G1 + G2 + G3 + \psi_{2,4}(0,60)*Q4$
7	G1+G2+G3; konečná deformace kombinace $(1+k_{def})(1,80)*G1 + (1+k_{def})(1,80)*G2 + (1+k_{def})(1,80)*G3$
8	Q4:G1+G2+G3; konečná deformace kombinace $(1+k_{def})(1,80)*G1 + (1+k_{def})(1,80)*G2 + (1+k_{def})(1,80)*G3 + (1+\psi_{2,4}*k_{def})(1,48)*Q4$

9.3.3 Práce s kombinacemi

Po vytvoření kombinací MSÚ a MSP a zadání všech okrajových podmínek proběhl výpočet, který vypočetl průběhy vnitřních sil a deformace konstrukce při působení jednotlivých zatěžovacích stavů, jednotlivých kombinací a vytvořil obálku kombinací. To vše vždy pro oba mezní stavy: MSÚ a MSP. Obálku kombinací lze zjednodušeně definovat jako spojení extrémů vnitřních sil jednotlivých kombinací, které na konstrukční prvek působí. Samotné dimenzování tak probíhá právě na obálku vnitřních sil.

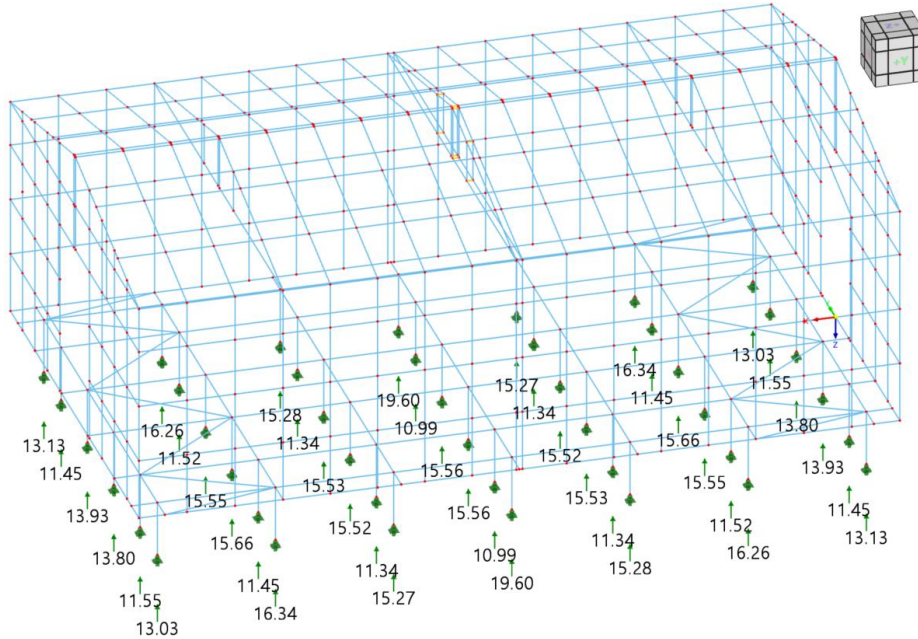
Obálka kombinací mezních stavů použitelnosti MSP se využívá pro posouzení průhybů.

Obálka kombinací mezních stavů únosnosti MSÚ se používá pro posouzení průběhu vnitřních sil, a tedy i k dimenzování konstrukčních prvků.

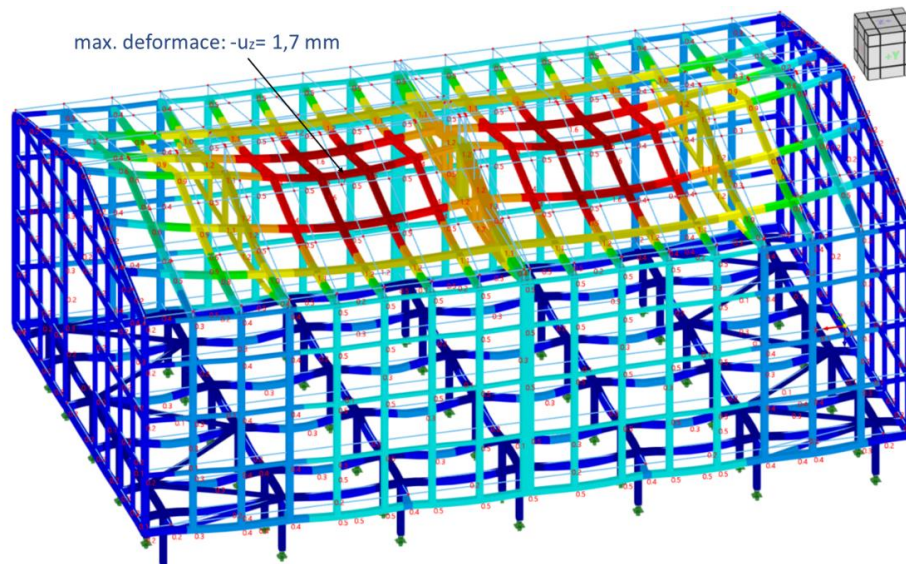
9.3.4 Výsledky výpočtu

Z výpočtu vyplývá, že nejnepriznivější kombinací pro konstrukci je kombinace č. 2 (z Tabulka 13) pro posouzení mezního stavu únosnosti.

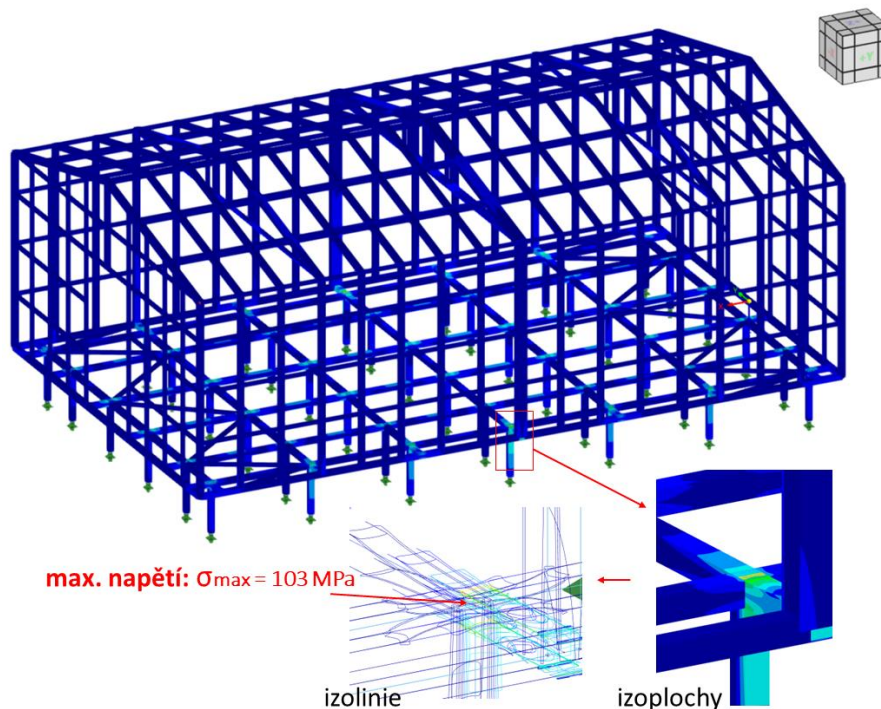
- Lineární stabilita = **-42,1**
- Součet reakcí podpor ve směru Z (dle obálky MSÚ): $\Sigma F_z = 588,2 \text{ kN}$
- Maximální posunutí – deformace (dle obálky MSP): $u_z = 1,7 \text{ mm}$
- Maximální napětí (dle obálky MSÚ): $\sigma_{\max} = 103 \text{ MPa}$



Obr. 45: Reakce F_z (dle obálky kombinací MSÚ)



Obr. 46: Posunutí – deformace (dle obálky kombinací MSP)



Obr. 47: Průběh napětí a maximálního napětí v místě svaru (dle obálky kombinací MSÚ)

9.4 Zhodnocení výsledků obou metod

Tabulka 15: Porovnání výsledků obou metod

	Metoda dovolených napětí	Metoda mezních stavů
Lineární stabilita	-48,5	-42,1
Součet reakcí Fz [kN]	404,31	588,2
Maximální posunutí [mm]	1,63	1,7
Maximální napětí [MPa]	74*	103**

*dle objemového 3D modelu

**dle prutového modelu (spíše orientační)

Rozdíl výsledných hodnot je důsledkem rozdílných zatěžujících účinků, které oba dva přístupy používají. Zatímco u metody dovolených napětí jsou zatěžující účinky pouze navzájem sečteny, u metody mezních stavů jsou dle různých kombinací sečteny, a navíc pronásobeny příslušnými součiniteli. Z vypočtené nejnepríznivější kombinace mezního stavu únosnosti lze tyto součinitele určit. Protože je v našem konkrétním příkladu použito pouze jedno proměnné zatížení – je kombinace č.2 nejnepríznivější pro všechny pruty a je tedy shodná s obálkou kombinací mezních stavů únosnosti MSÚ.

Tabulka 16: Kombinace č.2 pro posouzení mezního stavu únosnosti

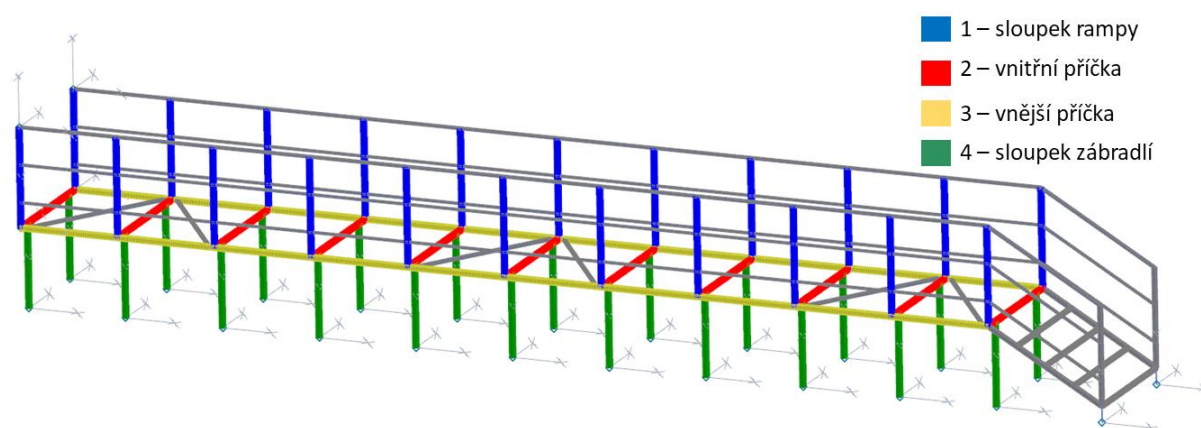
2	Q4:G1+G2+G3; základní kombinace
	$Y_{f,sup,1}(1,35)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*G2 + Y_{f,sup,3}(1,35)*G3 + Y_{f,sup,4}(1,50)*Q4$

Z této rovnice kombinace č.2 pro MSÚ vyplývají součinitele, které při výpočtu metodou mezních stavů znásobili působící zatížení oproti metodě dovolených napětí.

- Vlastní tíha konstrukce – součinitel $\gamma = 1,35$
- Vlastní tíha od skleněných tabulí – součinitel $\gamma = 1,35$
- Vlastní tíha od dřevěné podlahy – součinitel $\gamma = 1,35$
- Užité zatížení – součinitel $\gamma = 1,5$

10 Druhý typ posouzení – dimenzování

U tohoto typu posouzení bylo snahou dimenzovat vybrané prvky konstrukce rampy na minimální možný průřez a poté u obou metod porovnat tyto prvky z hlediska využití materiálu / bezpečnosti. Postup byl proveden oběma metodami – metodou mezních stavů a metodou dovolených napětí. Byly vybrány celkem čtyři nejvíce zatěžované prvky: sloupek rampy, vnitřní příčka, vnější příčka a sloupek zábradlí.



Obr. 48: Popis zvolených prvků k dimenzování

10.1 Porovnání vstupních parametrů

Nejprve je vhodné porovnat vytvořené modely konstrukce rampy, abychom se ujistili, zda jsou vytvořené modely a vstupní okrajové podmínky pro obě metody výpočtu dostatečně shodné.

10.1.1 Vlastní váha konstrukce

Tabulka 17: Porovnání vlastní váhy konstrukce

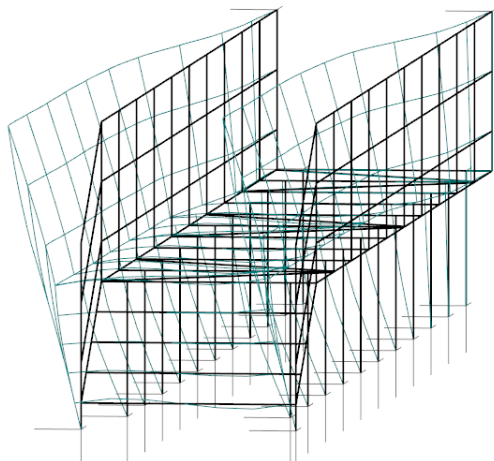
Prutová konstrukce v programu Dlubal RSTAB	Prutová konstrukce v programu Siemens NX
589 kg	591 kg

10.1.2 Vlastní tvary konstrukce

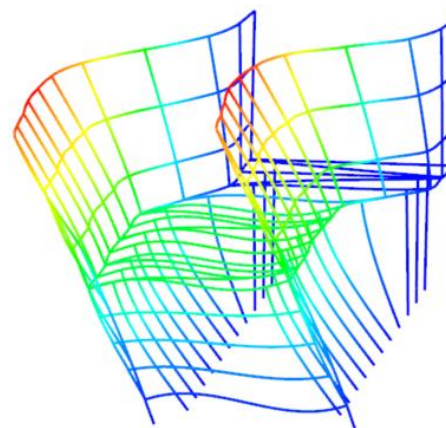
Tabulka 18: Porovnání vlastních tvarů kmitání

	Dlubal FIN EC	Siemens NX	Podobnost deformace
Vlastní tvar č. 1	12,357 Hz	12,612 Hz	ANO

Vlastní tvar č. 2	14,828 Hz	14,997 Hz	ANO
Vlastní tvar č. 3	23,063 Hz	24,009 Hz	ANO
Vlastní tvar č. 4	23,353 Hz	23,403 Hz	ANO
Vlastní tvar č. 5	24,773 Hz	24,772 Hz	ANO



Obr. 49: FIN EC – Vlastní tvar č.1: 12,357 Hz



Obr. 50: Siemens NX – Vlastní tvar č.1: 12,612 Hz

10.1.3 Reakce podpor – zatížení pouze vlastní vahou konstrukce

Pro porovnání hodnot reakcí byly zvoleny čtyři podpory – styčníky. Nyní jsou tyto podpory porovnávány pouze z hlediska působení vlastní váhy konstrukce.

Pro přehlednost jsou porovnávány podpory označené čísly 1 až 4 a jsou znázorněné na následujícím obrázku.

Obr. 51: Zobrazení zvolených styčnicků konstrukce k porovnání

Styčník	Dlubal RSTAB Reakce F_z [kN]	Siemens NX Reakce F_z [kN]
č. 1	3,50	3,37
č. 2	-0,31	-0,25
č. 3	-0,22	-0,18
č. 4	5,62	5,46

Z porovnání výsledků obou vytvořených modelů konstrukce vyplývá, že porovnávané hodnoty jsou dostatečně shodné a tím pádem jsou také dostatečně shodné i oba vstupní výpočtové modely.

10.2 Metoda dovolených napětí

V programu Siemens NX byl nejprve vytvořen prutový model konstrukce haly, kde byly jednotlivé pruty následně zasítovány 1D sítí typu CBEAM s definovaným průřezem a materiálem. Jako nahrazení ukotvení patek sloupků k podlaze byly vybrány koncové uzly sítě

sloupků a byly jim odebrány stupně volnosti ve směru posuvu x, y, z. Plošné zatížení bylo na pruty zadáno jednotkovou silou.

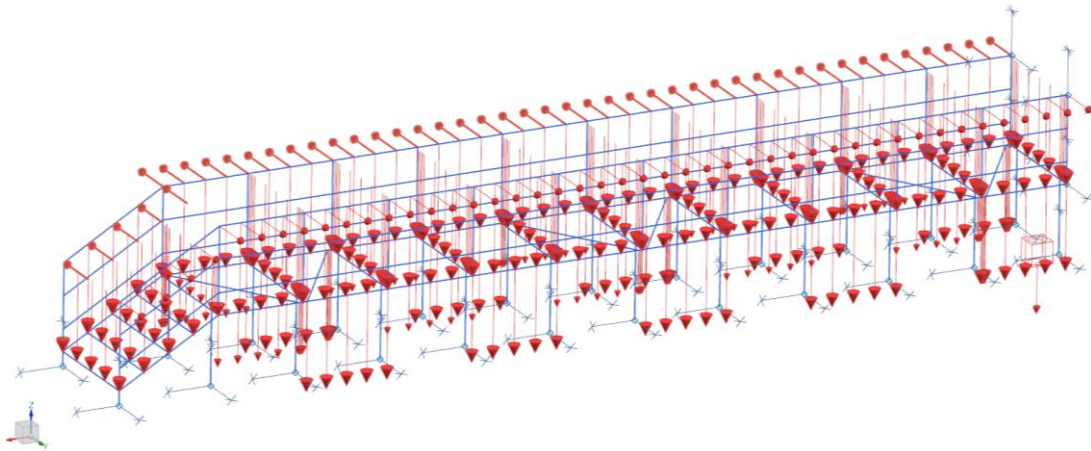
10.2.1 Zatěžovací stavy

Při výpočtu uvažujeme, že na konstrukci rampy působí současně čtyři zatížení:

- G1 – vlastní tíha konstrukce
- G3 – vlastní tíha od dřevěné podlahy
- G4 – užité zatížení
- G5 – zatížení zábradlí dle normy

Tato zatížení jsou popsána v kapitole 7 - Určení zatížení na konstrukci.

Výsledné působící zatížení na konstrukci: $\Sigma G_i = G_1 + G_3 + G_4 + G_5$



Obr. 52: Celkové zatížení konstrukce rampy čtyřmi typy zatížení

10.2.2 Postup dimenzování

Při dimenzování jsme postupovali tak, že jsme měnili průřezy vybraných prvků a sledovali jsme hodnotu maximálního napětí a porovnávali ji s hodnotou dovoleného napětí. Bylo nutné dodržet správné konstrukční řešení – zejména aby byly prvky stále vzájemně svařitelné. Zároveň bylo také nutné sledovat hodnotu lineární stability konstrukce.

Hodnota dovoleného napětí byla definována za předpokladu, že materiál všech porovnávaných prvků je S235.

$$\sigma_D \geq \sigma_{max}$$
$$\sigma_D = \frac{R_e}{k} [MPa]$$

$R_e [MPa]$ – mez kluzu základního materiálu, $R_e = 235 MPa$

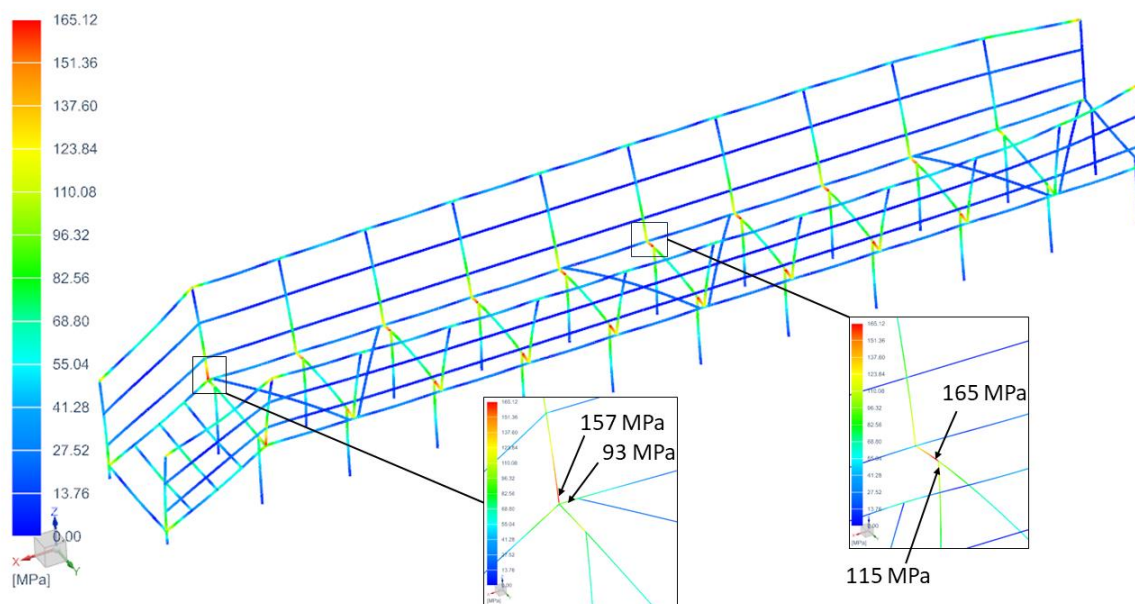
k – koeficient bezpečnosti (více popsáno v kapitole 4), volím $k=1,3$

$$\sigma_D = \frac{235}{1,3} = 180,8 [MPa]$$

10.2.3 Výsledky

Lineární stabilita = **15,3**

Maximální hodnota napětí: $\sigma_{max} = 165 \text{ MPa}$



Obr. 53: Průběh napětí – dimenzovaná konstrukce na minimální možné průřezy

V následující tabulce jsou uvedeny maximální hodnoty napětí pro vybrané prvky a jejich zvolené průřezy. Pro následující porovnání s metodou mezních stavů byla pro dané prvky vypočítána procentuální hodnota maximálního využití materiálu, která vychází z porovnání dovolené a maximální hodnoty napětí konkrétního prvku.

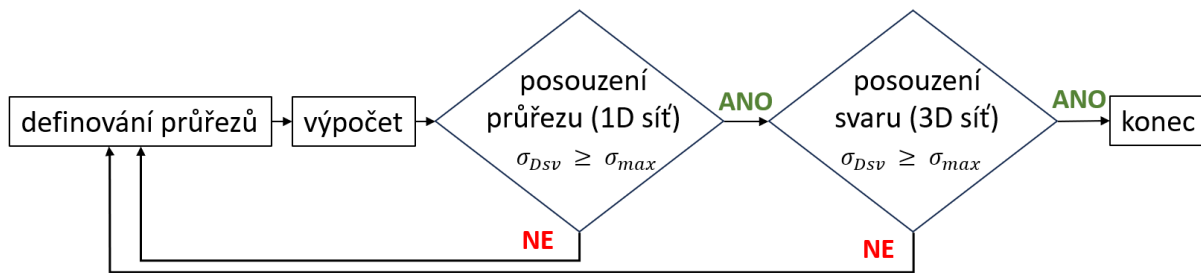
Maximální využití materiálu β_{max} :

$$\beta_{max} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_D} \cdot 100 [\%]$$

Tabulka 19: Vyhodnocení výsledků – metoda dovolených napětí

	Průřez [mm]	σ_{max}	β_{max}
Sloupek rampy	40 x 40 x 3	115 MPa	63,6 %
Vnitřní příčka	50 x 50 x 3	165 MPa	91,3 %
Vnější příčka	30 x 30 x 3	93 MPa	51,4 %
Sloupek zábradlí	50 x 50 x 3	157 MPa	86,8 %

Pro tento konkrétní příklad, kdy bylo cílem porovnat maximální využití materiálu u obou metod, již můžeme porovnávat tyto hodnoty. Pokud bychom však chtěli pokračovat v dimenzování této konstrukce dle metody dovolených napětí, bylo by nezbytné posoudit napětí v místech svaru z objemového MKP modelu (obdobně jako v kapitole 9.2.5 - Posouzení svarového spoje dle ČSN 05 0120). Takovýto postup je schematicky popsán v následujícím vývojovém diagramu (Obr. 54).



Obr. 54: Vývojový diagram – postup dimenzování

10.3 Metoda mezních stavů

V softwaru Fin EC byl nejprve vytvořen prutový model konstrukce rampy. Jelikož cílem tohoto výpočtu bylo porovnání výsledných hodnot využití materiálu u vybraných prvků, byly prutům přiřazeny definované průřezy a materiál dle výsledků dimenzování metodou dovolených napětí (viz Tabulka 19). Uzlovým podporám sloupeků byly rovněž odebrány stupně volnosti ve směru posuvu x, y, z. Plošné zatížení bylo přepočteno grafickou metodou na zatížení liniové, a to bylo zadáno na příslušné pruty.

10.3.1 Zatěžovací stavy

Zatěžovací stavy a jejich velikosti zatížení, která na konstrukci působí, jsou stejná jako u metody dovolených napětí (detailně popsáno v kapitole 7). Specifikované zatěžovací stavy s přiřazenými dílčími a kombinačními součiniteli dle normy ČSN EN 1990 jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 20: Zatěžovací stavy

č.	Název	Kód	Typ	Y _f (Y _{f,inf})*	Součinitele pro kombinace				
					ξ	Kateg.**	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂
1	G1 vlastní tíha-stálé	Vlastní tíha	Stálé	1,35(0,90)	0,85	-	-	-	-
2	G2 silové-stálé: Vlastní tíha dřevěné podlahy	Silové	Stálé	1,35(0,90)	0,85	-	-	-	-
3	Q3 silové-proměnné dlouhodobé: Užité zatížení	Silové	Proměnné dlouhodobé	1,50	-	C	0,70	0,70	0,60
4	Q4 silové-proměnné krátkodobé: Zatížení zábradlí	Silové	Proměnné krátkodobé	1,50	-	C	0,70	0,70	0,60

* Y_{f,inf} pro příznivě působící stálá zatížení

** Kategorie proměnných zatížení podle tabulky A1.1 v EN 1990

Při generování kombinací zatěžovacích stavů pro mezní stav únosnosti (MSÚ) byly využity kombinace základní, alternativní a mimořádná. Pro MSÚ bylo vygenerováno celkem 30 kombinací.

Při generování kombinací zatěžovacích pro mezní stav použitelnosti (MSP) byly využity kombinace charakteristické, časté a kvazistálé. Pro MSP bylo vygenerováno celkem 19 kombinací.

Tabulka 21: Některé kombinace pro posouzení mezního stavu únosnosti (MSÚ)

Číslo	Název a druh kombinace Složení
1	G1+G2; základní kombinace $Y_{f,sup,1}(1,35)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*G2$
2	Q4:G1+G2; základní kombinace $Y_{f,sup,1}(1,35)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*G2 + Y_{f,sup,4}(1,50)*Q4$
3	Q3:G1+G2; základní kombinace $Y_{f,sup,1}(1,35)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*G2 + Y_{f,sup,3}(1,50)*Q3$
4	Q3:G1+G2+Q4; základní kombinace $Y_{f,sup,1}(1,35)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*G2 + Y_{f,sup,3}(1,50)*Q3 + Y_{f,sup,4}(1,50)*\psi_{0,4}(0,70)*Q4$
5	Q4:G1+G2+Q3; základní kombinace $Y_{f,sup,1}(1,35)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*G2 + Y_{f,sup,4}(1,50)*Q4 + Y_{f,sup,3}(1,50)*\psi_{0,3}(0,70)*Q3$
6(a)	G1+G2; alternativní - základní kombinace s redukcí zatížení $Y_{f,sup,1}(1,35)*G1 + Y_{f,sup,2}(1,35)*G2$

Tabulka 22: Některé kombinace pro posouzení mezního stavu použitelnosti (MSP)

Číslo	Název a druh kombinace Složení
1	G1+G2; charakteristická kombinace G1 + G2
2	Q4:G1+G2; charakteristická kombinace G1 + G2 + Q4
3	Q3:G1+G2; charakteristická kombinace G1 + G2 + Q3
4	Q3:G1+G2+Q4; charakteristická kombinace G1 + G2 + Q3 + $\psi_{0,4}(0,70)*Q4$
5	Q4:G1+G2+Q3; charakteristická kombinace G1 + G2 + Q4 + $\psi_{0,3}(0,70)*Q3$
6	G1+G2; častá kombinace G1 + G2
7	Q4:G1+G2; častá kombinace G1 + G2 + $\psi_{1,4}(0,70)*Q4$

10.3.2 Výsledky

Lineární stabilita = **15,9**

V softwaru Fin EC není přímo vyhodnocováno působící napětí. Na základě vnitřních sil je však přímo dopočtena hodnota maximálního využití materiálu. Pro získání této hodnoty je nutné definovat dva parametry: vzpěr a klopení. V následující kapitole je podrobněji popsáno posouzení jednoho z vybraných prvků. Poté následuje tabulka s hodnotami všech vybraných prvků.

10.3.2.1 Vnitřní příčka

Průřez: Dutý válcovaný profil 50 x 50 x 3

Materiál: S 235

Součinitel vzpěru $k_z = 0,5$

Součinitel vzpěru $k_y = 0,5$

Klopení M_y – zvolený tvar momentové plochy M_y dle průběhu vnitřních sil

Klopení M_z – zvolený tvar momentové plochy M_z dle průběhu vnitřních sil

Vnitřní síly: $N = 1,498 \text{ kN}$; $M_y = -1,963 \text{ kNm}$; $M_z = -0,006 \text{ kNm}$

Posudek nejnepříznivější kombinace prostého tahu a ohybu:

Únosnosti: $N_R = 127,093 \text{ kN}$; $M_{y,R} = -2,206 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = -2,206 \text{ kNm}$

$|0,012 + 0,890 + 0,003| = |0,905| < 1$ **Vyhovuje**

Štíhlost dílce: 35,6

Průřez vyhovuje

Využití průřezu $\beta_{\max} = 90,5 \%$

10.3.2.2 Sloupek rampy, Sloupek zábradlí, Vnější příčka

Tabulka 24: Vyhodnocení výsledků – metoda mezních stavů

	Průřez [mm]	Součinitele vzpěru k_z a k_y	Rozhodující kombinace	β_{\max}
Vnitřní příčka	50 x 50 x 3	0,5	č.5	90,5 %
Vnější příčka	30 x 30 x 3	1	č.4	51,6 %
Sloupek zábradlí	50 x 50 x 3	1,5	č.5	88,5 %
Sloupek rampy	40 x 40 x 3	1,5	č.5	64,5 %

10.4 Zhodnocení výsledků obou metod

Tabulka 25: Porovnání výsledků obou metod

	Průřez [mm]	β_{\max} – dle metody dovolených napětí	β_{\max} – dle metody mezních stavů
Vnitřní příčka	50 x 50 x 3	91,3 %	90,5 %
Vnější příčka	30 x 30 x 3	51,4 %	51,6 %
Sloupek zábradlí	50 x 50 x 3	86,8 %	88,5 %
Sloupek rampy	40 x 40 x 3	63,6 %	64,5 %

Z vypočtených hodnot využití materiálu dle metody mezních stavů a metody dovolených napětí vyplývá, že pro tento konkrétní příklad si jsou obě metody až do této fáze velmi podobné a nyní nelze určit, která z metod je více či méně přísnější. Zlom nastane však při následujícím kroku, kterým je posouzení svarových spojů. V případě metody dovolených napětí bychom mohli využít například přístup dle normy ČSN 05 0120 (postup je popsán v kapitole 9.2.5).

Z výsledků také vyplývá, že součinitel bezpečnosti $k = 1,3$, který byl zvolen u metody dovolených napětí a působí na základě snížení meze kluzu materiálu, působí v tomto příkladu téměř shodně jako s dílčími a kombinačními součiniteli dle normy ČSN EN 1990, které působí jako navýšení zadaného zatížení.

11 Závěr

Diplomová práce byla zaměřena především na porovnání dvou rozdílných přístupů k dimenzování ocelových konstrukcí. Jedním z přístupů byla metoda dovolených napětí, která je využívána zejména ve strojním oboru. Druhým přístupem byla metoda mezních stavů (známá také jako metoda dílčích součinitelů), která je využívána v oboru stavebním. Ačkoliv je u obou oborů často zřetelné, které typy konstrukcí spadají do jejich oblasti, lze najít i takové konstrukce, které se nacházejí někde na jejich pomyslném pomezí. Právě taková konstrukce byla použita v této diplomové práci pro konkrétnější porovnání obou metod.

V úvodu této práce (kapitola 2) byla představena posuzovaná konstrukce. Byl zde specifikován její účel a místo umístění. Také zde byl představen ideový návrh autora a následovalo vysvětlení, proč lze uvažovat o použití obou přístupů k jejímu posouzení.

Po úvodu následovala teoretická část práce, kde byla (v kapitole 3) popsána obecná teorie návrhu konstrukcí. Byly zde nastíněny důležité kroky samotného návrhu a definovány základní pojmy jako je spolehlivost, účinek zatížení a odolnost. Poté následoval popis metody dovolených napětí (kapitola 4) a přiblížení problematiky určení součinitele bezpečnosti. Další kapitola (kapitola 5) byla věnována metodě mezních stavů. Byl zde popsán jak obecný princip metody, tak i konkrétní kroky při její aplikaci – jako je například rozdělení mezních stavů, návrhové situace, klasifikace zatížení a postup statického výpočtu. Na konci teoretické části se nachází přehled Eurokódů, které jsou založeny právě na metodě mezních stavů.

V praktické části práce byl nejdříve specifikován konstrukční návrh a bylo zdůvodněno rozdělení konstrukce na podsestavy (kapitola 6). Poté (v kapitole 7) byly specifikovány všechny druhy zatížení, které na konstrukci působí. Jsou jimi: zatížení vlastní vahou, zatížení vahou od skleněných tabulí a dřevěné podlahy, užité zatížení a zatížení zábradlí. Pro lepší přehlednost bylo ke každému typu zatížení přiloženo schéma s vyznačeným směrem a místem jejich působení. V kapitole 8 byl popsán postup, jak dále se v následujících kapitolách práce ubírala. Byly definované dva konkrétní typy posouzení, které měly za cíl co nejvíce přiblížit a vzájemně porovnat metodu dovolených napětí s metodou mezních stavů. Dříve než se práce věnovala těmto konkrétním typům posouzení, byl zde nastíněn možný postup při vzájemném porovnání více výpočtových modelů. Podrobně zde byla popsána problematika převodu plošného zatížení na liniové, které dále provázelo všechny typy posouzení napříč využitými softwary. Následoval první typ posouzení – posouzení účinků zatížení (napětí, deformace a reakce) (kapitola 9). Pro tento typ posouzení byla využita středová část konstrukce – hala. Prvním krokem bylo porovnání dvou vytvořených modelů v odlišných výpočtových programech. Jako porovnávané parametry byly zvoleny: vlastní tvary konstrukce, hmotnost a reakce podpor. Poté byl již popsán postup metody dovolených napětí, který obsahoval také posouzení svarového spoje dle normy ČSN 05 0120. Následoval postup dle metody mezních stavů. Cílem tohoto typu posouzení obou metod bylo zaměřit se na příčinu a důsledek rozdílných zatěžovacích účinků u obou metod. Následující kapitola 10 se věnovala druhému typu posouzení a byla zde využita boční část konstrukce – rampa. Zde bylo cílem nejdříve dimenzovat vybrané prvky na co nejmenší možné průřezy a tyto průřezy následně napříč oběma metodami porovnat z hlediska procentuální využitelnosti materiálu. Tato hodnota nám měla přiblížit, která metoda byla v daném případě více přísnější a naopak.

K této diplomové práci bylo do přílohy vloženo orientační porovnání stávajícího řešení ocelové svařované konstrukce s metodou ocelových tenkostěnných konstrukcí.

12 Seznam použitých zdrojů

- [1] Poskytnuté materiály zadavatelem projektu. [cit. 2022-03-05]
- [2] ISSA, Salim a Philip STEVENS. *Werner Aisslinger conceives pilsen greenhouse as a pilgrimage site for design* [online]. In: . 29.10.2015 [cit. 2023-01-09]. Dostupné z: <https://www.designboom.com/design/designblok-15-domus-exhibition-pilsen-2015-werner-aislinger-10-29-2015/>
- [3] FOJTÍK, Libor a Naďa KLEVISOVÁ. Skleník Domus v novém plzeňském prostoru Depo 2015. In: *Hospodářské Noviny: To nejlepší z garáže. Evropské město kultury Plzeň si otevřelo depo na kulturu* [online]. 10. 11. 2015 [cit. 2023-01-09]. Dostupné z: <https://archiv.hn.cz/c1-63926230-plzen-depo-2015-suska>
- [4] ING. PEŠEK PH.D., ONDŘEJ. Výpočtové metody ve stavebnictví. *BO001 - Konstrukce a dopravní stavby* [online]. Ústav kovových a dřevěných konstrukcí VUT-FAST, 2015 [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/KDK/pesek.o/BO01/meznistavy.pdf>
- [5] Koeficient bezpečnosti. *MITCalc* [online]. [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: https://www.mitcalc.com/doc/help/CZ/C_safety.htm#t-top
- [6] ING. VEJVARA PHD. Luděk, výpisky z přednášek z předmětu Zatížení a spolehlivost konstrukcí (KME/ZSK). Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta aplikovaných věd – katedra mechaniky
- [7] ING. KOLOŠ, PH.D., Ivan. Normové předpisy: Mechanika konstrukcí. In: *Statika stavebních konstrukcí pro všechny* [online]. [cit. 2023-01-12]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/kolos/file/MECHK/mechanika_konstrukci_3.pdf
- [8] FINE SPOL. S. R.O. *Výpočet statiky FIN EC - online nápověda* [online]. [cit. 2023-01-12]. Dostupné z: <https://www.fine.cz/napoveda/finec/cs/zatezovaci-stavy-02/>
- [9] ČSN EN 1991-1-1: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Český normalizační institut, 2003.
- [10] BC. PEČ, Michal. *Rozbor únosnosti vybraných svařovaných konstrukčních uzlů zatěžovaných staticky a cyklicky*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. PETR VOSYNEK.

[11] ING. SVOBODOVÁ, Magdalena. *Spoje a spojovací součásti: Svarové spoje – výpočet* [online]. In: . Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno, Sokolská 1 [cit. 2023-05-10].

[12] BORABELA.COM. *Produkty* [online]. In: . [cit. 2023-01-19]. Dostupné z: <https://www.borabela.com/produkty/>

[13] FRAMECAD.COM. *Manufacturing equipment: F325iT-L* [online]. In: . [cit. 2023-01-19]. Dostupné z: <https://www.framecad.com/en/framecad-system/manufacturing-equipment/f325it-l/>

[14] TINYHOUSEDESIGN.COM a VOLSTRUKT. *10 Benefits of Steel Tiny House Kits* [online]. In: . 7.7.2018 [cit. 2023-01-19]. Dostupné z: <https://tinyhousedesign.com/10-benefits-of-steel-tiny-house-kits/>

PŘÍLOHA č. 1

Lehké tenkostěnné konstrukce

13 Lehké tenkostěnné ocelové konstrukce

Technologie lehkých tenkostěnných ocelových konstrukcí neboli „*Light Gauge Steel Framing*“ (zkratka *LGSF*) pochází z Nového Zélandu a Austrálie, kde má tento typ konstrukcí již dlouhou tradici. Konkrétně v těchto zemích byl a stále je nejčastější materiál pro nosné konstrukce staveb (zejména rodinných domů) dřevo. Již však v sedmdesátých letech 20. století začal vývoj nového typu konstrukcí, který měl reflektovat jak zefektivnění výstavby, tak i vyšší odolnost staveb vůči zemětřesení, které je v seizmických oblastech jako je Nový Zéland běžným jevem. V dnešní době se konkrétně na Novém Zélandu projevuje v LGSF konstrukcích další výhoda v podobě snížení závislosti na dřevu, jehož cena se zvyšuje a dostupnost klesá. Vzhledem ke zvyšující se závislosti Nového Zélandu na dodávkách dřeva ze zahraničí se budou tyto problémy pravděpodobně prohlubovat.



Obr. 57: LGSF konstrukce domu [12]

13.1 Přednosti LGSF konstrukcí

13.1.1 Vysoká přesnost a rychlost výroby

Díky výrobě jednotlivých profilů na speciálních válcovacích strojích, které dokážou vykonat všechny potřebné úkony (automatické navíjení, válcování za studena, děrování, stříhání, ...) na daném profilu během jedné operace – lze dosáhnout vysokých výrobních rychlostí. Všechny parametry jednotlivých profilů (délka, umístění děr a otvorů, úkosy, ...), jsou přeneseny v podobě dat do výrobních strojů ze softwaru, ve kterém byl vytvořen návrh celé konstrukce. Jednotlivé profily se spojí šrouby do strojem vytvořených děr. Při kompletaci tak nevzniká možnost chybného vzájemného umístění profilů, protože je nutné profily přesně umístit tak, aby poloha děr byla souosá. Na základě toho je dosaženo vysoké přesnosti výroby, poté prefabrikovaných dílců a ve výsledku i zkompleťované konstrukce jako celku.

13.1.2 Nízká hmotnost a vysoká pevnost

Díky výrobní technologii válcování tenkých plechů za studena (tloušťka plechů je obvykle 0,8 – 1,3 mm), je dosaženo požadovaných tvarů profilů – nejčastěji profil C různých rozměrů. Takto tvarované profily navzdory své malé ploše průřezu přenáší poměrně velká zatížení bez vznikajících elastických deformací. V porovnání s dřevěnými konstrukcemi se uvádí, že LGSF konstrukce dosahují nižších hmotností až o 70 %. Tyto přednosti jsou výhodou nejenom při transportu prefabrikovaných dílců a následné manipulaci a montáži, ale i při snaze

snížit celkovou hmotnost stavby (snížení zatížení základů). Celkově tak LGSF konstrukce dosahují vysokého poměru pevnosti vzhledem k hmotnosti a mohou být využité i pro překlenutí velkorozponových hal bez vnitřních sloupů.

13.1.3 Dlouhá životnost a vysoká odolnost

Všechny plechy používané k výrobě profilů jsou opatřeny povrchovou úpravou – žárově zinkování. Předpokládaná životnost LGSF konstrukcí je v běžných podmínkách více než 250 let. Díky žárově zinkované oceli jsou konstrukce chráněné proti korozi a netrpí žádným biologickým poškozením (například plísně či škůdci). Tato ochrana je výhodou nejenom při používání konstrukce jako celku, ale i při skladování jednotlivých dílců – není potřeba je skladovat v uzavřených prostorech a chránit je tak před deštěm a kondenzovanou vodou.

13.1.4 Rozměrová stabilita

Ocel se nesmršťuje ani nemění tvar. Zároveň se při montáži staveb jedná o takzvanou suchou výstavbu a nedochází tak k postupnému dotvarování konstrukce, která v případě železobetonových konstrukcí může trvat až 2 roky. Vzhledem k použití šroubů pro vzájemné spojení jednotlivých profilů a dílců vzniká vysoká pevnost samotných spojů a velkou část z nich lze vnímat jako kloubové spoje – také díky tomu LGSF konstrukce velmi dobře odolávají seizmicitě.

13.2 Postup výroby

13.2.1 Polotovary

Výchozím materiálem – polotovarem, jsou kotouče svinutého plechu, který má požadované rozměry (tloušťka + šířka) a povrchovou úpravu (žárově zinkovaný). Kotouče mají definovaný vnitřní průměr volného prostoru, který je nutný pro následné nasazení kotouče na odvíjecí zařízení.



Obr. 58: Polotovary – kotouče svinutých plechů

13.2.2 Činnost speciálního válcovacího stroje

Hlavním strojem pro výrobu profilů je speciální válcovací stroj, který je umístěn za odvíjecím zařízením. Odvíjecí zařízení slouží k usnadnění odvíjení plechu do hlavního stroje. Rychlost odvíjení je závislá na rychlosti posuvu polotovaru v hlavním stroji.



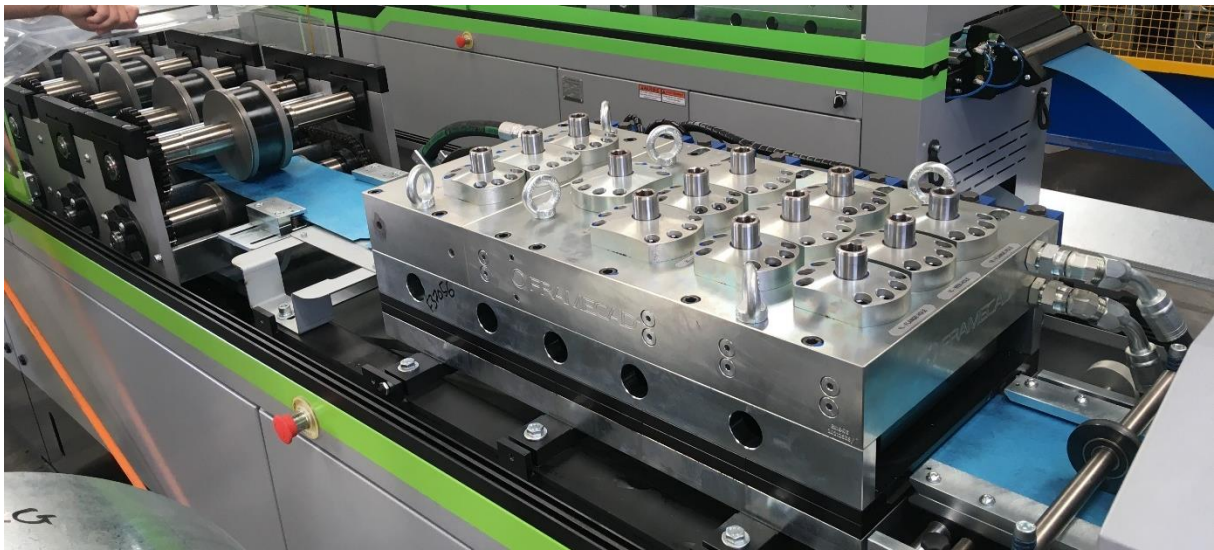
Obr. 59: Odvíjecí zařízení

Hlavní stroj – speciální válcovací stroj je opatřen válečkovou dráhou, která plech navíjí a v závislosti na tvářecích úkonech zrychluje či zpomaluje rychlost posuvu. V první části stroje jsou umístěné raznice, které děrují plech různými typy a tvary raznic. Prvním úkonem stroje je tedy vytvoření otvorů určených například jako: montážní otvory, otvory pro vedení instalací či otvor pro průchod jiného profilu. Dále je plech odvíjen k válcovacímu soustrojí, kde je plech postupně tvarován až do konečného profilu. Poté následuje další raznice, která do boku vytvoří díry určené pro spoje. Jako poslední úkon je oddělení jednoho profilu od druhého pomocí gilotiny. Poté je profil vysunut na pracovní stůl před hlavní stroj, kde ho pracovník odebírá a následně kompletuje s ostatními kusy do jednotlivých dílců (nosníky, stěny, ...). Součástí stroje bývá i obrazovka, kde jsou vidět výkresy dílců a jednotlivé profily, které stroj vyrábí. Obsluha stroje může zasahovat do pořadí výroby profilů, upravovat rychlost výroby či jinak zasahovat do parametrů stroje.



Obr. 60: Stroj FrameCAD F325iT-L [13]

Výrobní data, podle kterých stroj vykonává jednotlivé úkony a vyrábí tak přesně definované profily, jsou přenesena ze softwaru, ve kterém se provádí návrh celé konstrukce a ve kterém se upravují i výrobní detaily profilů – například detaily spojů.



Obr. 61: Stroj FrameCAD F325iT-L – pohled dovnitř stroje



Obr. 62: Stroj FrameCAD F325iT-L – při provozu

13.2.3 Sestavování dílců

Poté, co pracovník odebere ze stroje jednotlivé profily, sestavuje je dle výkresu na pracovní stůl a postupně začne celý dílec spojovat šrouby. V některých případech je z důvodu velkého zatížení dílce nutné přidat do spoje více šroubů či spoj/dílec jinak vyztužit. Po montáži je tento dílec zkontrolován – je nutné zkontrolovat rozměry, správnou orientaci profilů, provedení spojů a popřípadě i další faktory. Následně jsou zkompletované dílce buď uskladněny anebo se rovnou připravují k transportu – lze je přepravovat horizontálně i

vertikálně. Při transportu je nutné dbát na vhodné umístění tak, aby se během transportu dílce nepoškodily.

13.3 Využití LGSF konstrukcí

13.3.1 Konstrukce rodinných domů, přístaveb a vestaveb

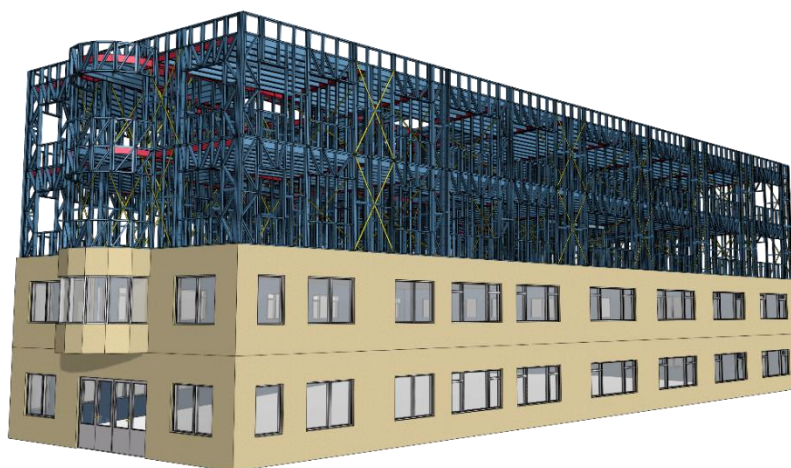
Častým využitím LGSF konstrukce jsou nosné i nenosné (vnitřní) konstrukce rodinných a bytových domů. Výhodou je vysoká variabilita konstrukce a v případě nutnosti lze LGSF konstrukci kombinovat se silnostěnnými ocelovými profily.



Obr. 63: vizualizace LGSF konstrukce domu [12]

13.3.2 Konstrukce vícepatrových bytových a administrativních staveb a průmyslové stavby

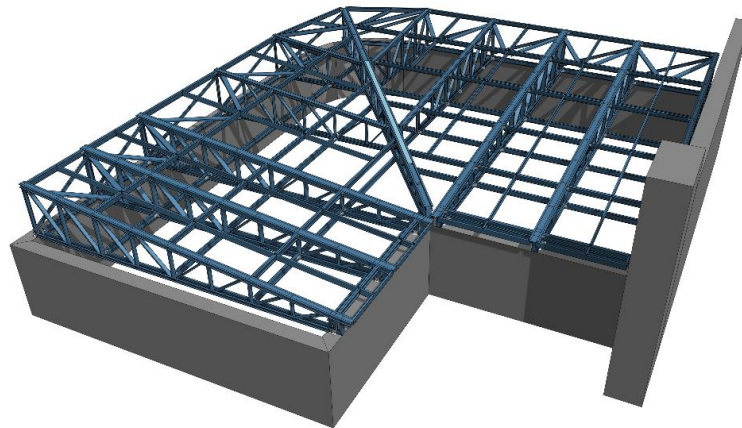
LGSF konstrukce jsou vhodné nejenom pro jednopodlažní stavby, ale i pro vícepatrové stavby. Opět je možné tyto konstrukce kombinovat s dalšími typy konstrukcí.



Obr. 64: vizualizace LGSF konstrukce vícepatrové stavby [12]

13.3.3 Nosné konstrukce – příhradové nosníky, rámové konstrukce a podobné

LGSF konstrukcemi lze často nahradit běžné svařované konstrukce. Díky pozinkované oceli tím zajistíme dlouho životnost a zásadně nižší hmotnost.



Obr. 65: LGSF příhradové nosníky [12]

13.3.4 Konstrukce Tiny house

Název tiny house znamená v překladu malý domek. V České republice bychom mohli tiny house přirovnat k marigotce (tiny housy mají často oproti marigotkám horní spací prostor pod střechou). Jedná se o malý speciálně konstruovaný obytný prostor, který je postavený na podvozku přívěsu tak, aby mohl být tažený například automobilem či traktorem. Zásadním požadavkem při návrhu tiny housu bývá nejčastěji dosáhnout co největšího půdorysu a získat tak co nejvíce užitných metrů čtverečních. To je samozřejmě velmi závislé na možnostech přívěsů a dopravní legislativy. Je totiž důležité, aby bylo možné celý tiny house přepravit po pozemní komunikaci. Tato přednost je vhodná zejména pro majitele tiny housů, kteří nemají k dispozici pozemek, kde by tiny house nastalo postavili. Díky podvozku tedy získají možnost tiny house kdykoliv přetáhnout na jiný pozemek. S ohledem na maximální dovolené zatížení přívěsu je snaha, aby byla konstrukce tiny housu co nejlehčí. Z tohoto důvodu je velmi výhodné použít LGSF konstrukce, které mají například oproti dřevěným konstrukcím výrazně nižší hmotnost. Celá konstrukce se pak připevní k podlaze, která je součástí přívěsu.



Obr. 66: Tiny house [14]

13.4 Transport a manipulace na stavbě

Prefabrikované dílce se mohou na stavbu přepravovat různými způsoby. V případě menšího rozměru celé konstrukce lze dílce transportovat pomocí velkého přívěsu, na který se dílce vertikálně připevní.



Obr. 67: Přeprava prefabrikovaných dílců – vertikálně

Pokud se jedná o rozměrnější konstrukci, jednotlivé dílce lze naskládat horizontálně na sebe, vzájemně je připevnit a následně přepravit na velkém přívěsu či kamionu s přívěsem.



Obr. 68: Přeprava prefabrikovaných dílců – horizontálně

Vzhledem k nízké hmotnosti profilů jsou i rozměrné dílce (například stěny) poměrně lehké a bez problému je mohou přenášet pouze dva pracovníci bez použití techniky. Pokud se jedná o prefabrikovaný celek – například podlahové nosníky, mohou být do pater budovy vyzvednuty jeřábem.



Obr. 69: Stavba vícepodlažního domu – Porirua, Nový Zéland

Na obrázku Obr. 69 lze v popředí vidět předmontované podlahové nosníky, které budou zdviženy do patra jeřábem a následně usazeny na nosné stěny a příčky. Spojení jednotlivých dílců je prováděno v průběhu stavby obvykle pomocí samořezných šroubů.

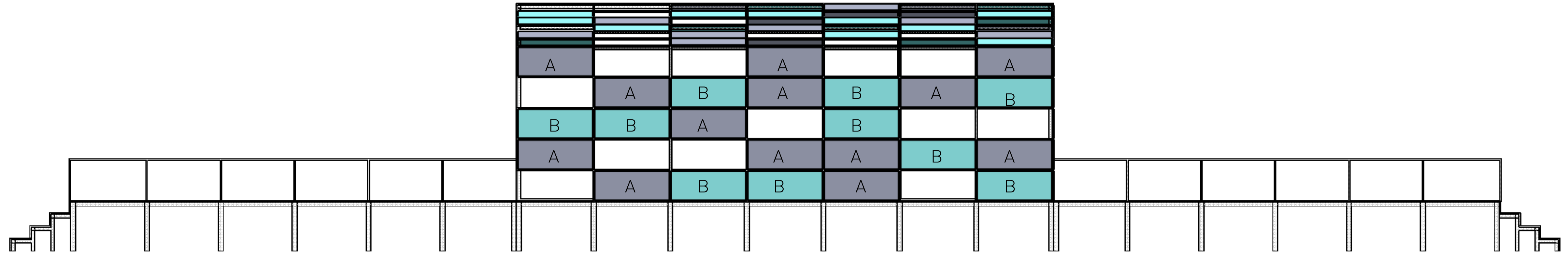
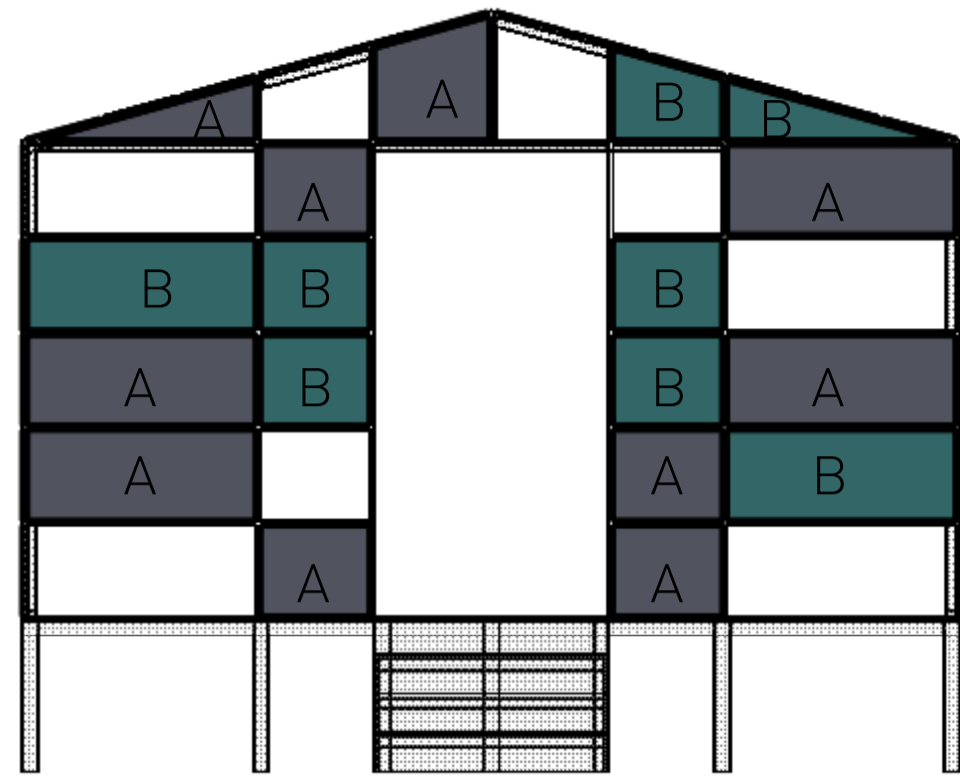
13.5 Porovnání nosníků

Pro ukázkou byl v programu FrameCAD vygenerován tenkostěnný střešní vazník, který je dostatečně dimenzován na to, aby přenesl působící zatížení konstrukce haly. V následující tabulce je porovnání hmotnosti se stávajícím svařovaným vazníkem z dutých válcovaných profilů.

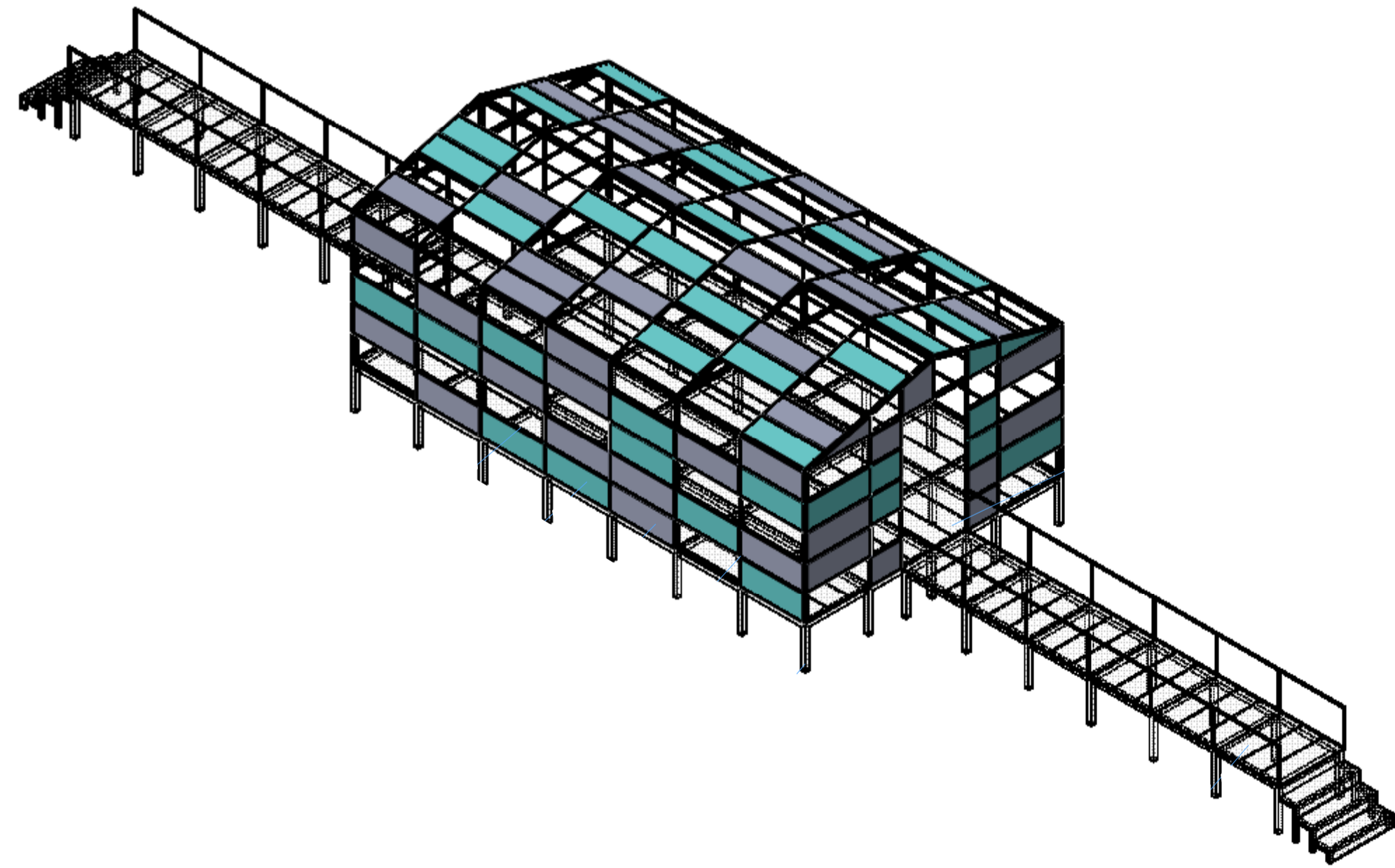
Použitý ocelový svařovaný vazník	135 kg
Tenkostěnný ocelový vazník	26 kg

PŘÍLOHA č. 2

SEZNAM VÝKRESŮ	
NÁZEV VÝKRESU	ČÍSLO VÝKRESU
Pilsen city of Europe [1]	ZCU_DP_01
Ocelova konstrukce	ZCU_DP_02
Truss	ZCU_DP_03



B: STRONG BLURRED GLASS
A: LIGHT BLURRED GLASS

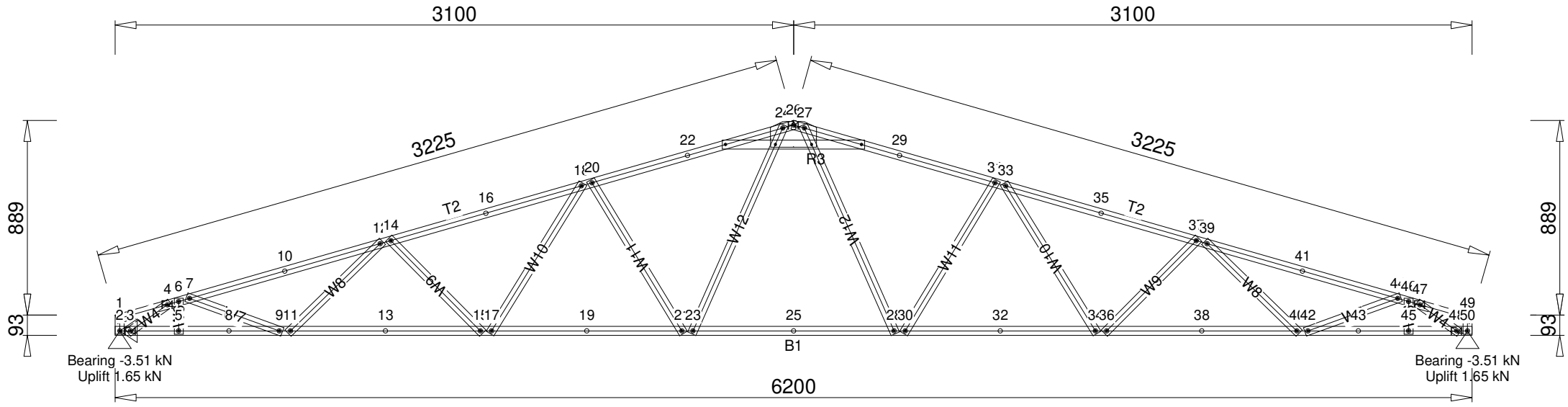


all construction drawings have to be proved by „Pilzen Cultural Capital 2015“ Organisation team !
All contractors have to execute the construction due to Czech building laws, EU norms, fire regulations,
escape way laws, event regulations and static needs and norms !
studio aisslinger Dec 2014

LFZ.NR.	DATUM:	GEANDERT:	INDEX	All dimensions have to be proved on construction. In case of deviation there must be consultation to Studio Aisslinger.		studio aisslinger heidestrasse 46-52 10557 berlin	tel +49 (0)30 315 05 400 fax +49 (0)30 315 05 401 studio@aisslinger.de
				PHASE: DETAILED PLANING	DARSTELLUNG: GREENHOUSE MATERIAL	PROJECT: PILSEN CITY OF EUROPE	
				DRAWN: TB	FORMAT: A2	DATE: 16.02.2015	PROJEKT NR.: P - 1411
						SCALE: 1:50	PLANKUMMER: P - 1411_02_006

B1	89S41-075-550	1	6200mm	T2	89S41-075-550	2	3225mm	R3	89S41-075-550	1	652mm	W4	89S41-075-550	2	237mm	W5	89S41-075-550	2	87mm
W6	89S41-075-550	2	164mm	W7	89S41-075-550	2	466mm	W8	89S41-075-550	2	601mm	W9	89S41-075-550	2	611mm	W10	89S41-075-550	2	808mm
W11	89S41-075-550	2	820mm	W12	89S41-075-550	2	1042mm												

Assembly Weight	26.4kg	FRAMECAD 10g-16mm Flathead	10	FRAMECAD 10g-19mm XDrive	82	FRAMECAD 1.15mm Apex/Heel Plate	2												
-----------------	--------	----------------------------	----	--------------------------	----	---------------------------------	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



Quantity Required = 1 Mark as T1 Engineering Status = Passed
 Minimum number of fasteners required is 2 per joint

LOADS & DESIGN FACTORS	DESIGN LOADING	FASTENERS	BRACING	MAXIMUM MEMBER AXIAL FORCES AND CRITICAL STRUCTURAL DESIGN INDEX																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
WIND Factors SNOW Factors Snow Slope Factor 1.0 Snow Adjustment Factor 1.0 Wind Pressure Factors Wup Bottom Chord 0.2 Wup Top Chord 0.9 Wdown Bottom Chord 0.3 Wdown Top Chord 0.4	Load Cases: T2 Type Gravity(Dead) G Roof Live P Concentrated Live S Snow Wu Wind Up Wd Wind Down	Type: Name Qty Main: FRAMECAD 10g-19mm XDrive (SJ) 2 Sub: FRAMECAD 10g-16mm Flathead(SJ) Refer DWG F# denotes total number fasteners in each member at joint. Provide plate or reinforcing member where number of screw in a flange exceeds 2. or where screw spacing requirement can not be met. Min Screws Spacing: 3 x Diameter. Min Edge Distance: 2.2d for End Edge, or 1.5d for Side Edge.	Provide Chord Restraints at specified spacing Provide Rail Restraints at ends & over supports Roof System Bracing to be Specified by Engineer Member Effective Lengths for Design Type Kx Lx Ky Ly Kt Lt Chords 1.00 Panel 1.00 Rest. 1.00 Min(Lx,Ly) Web 1.0 Panel 1.0 Panel 1.0 Panel * Panel 'denotes distance between panel points (joints) * Rest. 'denotes lateral restraint spacing	(All member actions are factored as per specified load combination) Top Chord <table border="1"> <thead> <tr> <th>Member</th><th>Com.</th><th>Ten.</th><th>CSI</th><th>LC</th><th>28-34</th><th>-3.26</th><th>7.24</th><th>54%</th><th>(12)</th><th>42-44</th><th>-0.55</th><th>1.69</th><th>4%</th><th>(13)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1-4</td><td>-1.92</td><td>0.92</td><td>44%</td><td>(15)</td><td>40-45</td><td>-3.70</td><td>8.24</td><td>33%</td><td>(14)</td><td>47-48</td><td>-5.83</td><td>2.78</td><td>36%</td><td>(5)</td></tr> <tr><td>4-7</td><td>-7.42</td><td>3.55</td><td>46%</td><td>(5)</td><td>45-48</td><td>-3.19</td><td>6.71</td><td>28%</td><td>(5)</td><td>50-49</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0%</td><td>(0)</td></tr> <tr><td>7-12</td><td>-8.64</td><td>4.02</td><td>79%</td><td>(15)</td><td>48-50</td><td>-0.92</td><td>1.94</td><td>52%</td><td>(5)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12-18</td><td>-8.75</td><td>4.29</td><td>75%</td><td>(16)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>18-24</td><td>-7.43</td><td>3.71</td><td>79%</td><td>(17)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24-27</td><td>-5.70</td><td>2.96</td><td>35%</td><td>(5)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>27-31</td><td>-7.00</td><td>3.49</td><td>79%</td><td>(18)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>31-37</td><td>-8.41</td><td>4.05</td><td>75%</td><td>(19)</td><td>3-4</td><td>-5.83</td><td>2.78</td><td>36%</td><td>(5)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>37-44</td><td>-8.75</td><td>4.29</td><td>79%</td><td>(20)</td><td>2-1</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0%</td><td>(0)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>44-47</td><td>-7.42</td><td>3.55</td><td>46%</td><td>(5)</td><td>5-6</td><td>-0.07</td><td>1.07</td><td>3%</td><td>(8)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>47-49</td><td>-1.92</td><td>0.92</td><td>44%</td><td>(20)</td><td>7-9</td><td>-0.55</td><td>1.69</td><td>4%</td><td>(9)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>11-12</td><td>-0.42</td><td>0.80</td><td>3%</td><td>(10)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>14-15</td><td>-1.03</td><td>0.57</td><td>6%</td><td>(15)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>17-18</td><td>-0.48</td><td>1.56</td><td>4%</td><td>(9)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>20-21</td><td>-1.64</td><td>1.00</td><td>10%</td><td>(4)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>23-24</td><td>-0.85</td><td>1.96</td><td>5%</td><td>(6)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>27-28</td><td>-0.85</td><td>1.96</td><td>5%</td><td>(6)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>5-9</td><td>-3.19</td><td>6.71</td><td>33%</td><td>(8)</td><td>30-31</td><td>-1.64</td><td>1.00</td><td>10%</td><td>(4)</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>9-15</td><td>-3.91</td><td>8.36</td><td>55%</td><td>(9)</td><td>33-34</td><td>-0.48</td><td>1.56</td><td>4%</td><td>(13)</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>15-21</td><td>-3.51</td><td>7.89</td><td>54%</td><td>(10)</td><td>36-37</td><td>-1.03</td><td>0.57</td><td>6%</td><td>(20)</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>21-28</td><td>-2.74</td><td>6.41</td><td>47%</td><td>(11)</td><td>39-40</td><td>-0.42</td><td>0.80</td><td>3%</td><td>(12)</td></tr> </tbody> </table> Bottom Chord <table border="1"> <thead> <tr> <th>Member</th><th>Com.</th><th>Ten.</th><th>CSI</th><th>LC</th><th>20-21</th><th>-1.64</th><th>1.00</th><th>10%</th><th>(4)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2-5</td><td>-3.19</td><td>6.71</td><td>52%</td><td>(5)</td><td>23-24</td><td>-0.85</td><td>1.96</td><td>5%</td><td>(6)</td></tr> <tr><td>5-9</td><td>-3.19</td><td>6.71</td><td>33%</td><td>(8)</td><td>27-28</td><td>-0.85</td><td>1.96</td><td>5%</td><td>(6)</td></tr> <tr><td>9-15</td><td>-3.91</td><td>8.36</td><td>55%</td><td>(9)</td><td>30-31</td><td>-1.64</td><td>1.00</td><td>10%</td><td>(4)</td></tr> <tr><td>15-21</td><td>-3.51</td><td>7.89</td><td>54%</td><td>(10)</td><td>33-34</td><td>-0.48</td><td>1.56</td><td>4%</td><td>(13)</td></tr> <tr><td>21-28</td><td>-2.74</td><td>6.41</td><td>47%</td><td>(11)</td><td>36-37</td><td>-1.03</td><td>0.57</td><td>6%</td><td>(20)</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>39-40</td><td>-0.42</td><td>0.80</td><td>3%</td><td>(12)</td></tr> </tbody> </table>	Member	Com.	Ten.	CSI	LC	28-34	-3.26	7.24	54%	(12)	42-44	-0.55	1.69	4%	(13)	1-4	-1.92	0.92	44%	(15)	40-45	-3.70	8.24	33%	(14)	47-48	-5.83	2.78	36%	(5)	4-7	-7.42	3.55	46%	(5)	45-48	-3.19	6.71	28%	(5)	50-49	0.00	0.00	0%	(0)	7-12	-8.64	4.02	79%	(15)	48-50	-0.92	1.94	52%	(5)						12-18	-8.75	4.29	75%	(16)											18-24	-7.43	3.71	79%	(17)											24-27	-5.70	2.96	35%	(5)											27-31	-7.00	3.49	79%	(18)											31-37	-8.41	4.05	75%	(19)	3-4	-5.83	2.78	36%	(5)						37-44	-8.75	4.29	79%	(20)	2-1	0.00	0.00	0%	(0)						44-47	-7.42	3.55	46%	(5)	5-6	-0.07	1.07	3%	(8)						47-49	-1.92	0.92	44%	(20)	7-9	-0.55	1.69	4%	(9)											11-12	-0.42	0.80	3%	(10)											14-15	-1.03	0.57	6%	(15)											17-18	-0.48	1.56	4%	(9)											20-21	-1.64	1.00	10%	(4)											23-24	-0.85	1.96	5%	(6)											27-28	-0.85	1.96	5%	(6)											5-9	-3.19	6.71	33%	(8)	30-31	-1.64	1.00	10%	(4)						9-15	-3.91	8.36	55%	(9)	33-34	-0.48	1.56	4%	(13)						15-21	-3.51	7.89	54%	(10)	36-37	-1.03	0.57	6%	(20)						21-28	-2.74	6.41	47%	(11)	39-40	-0.42	0.80	3%	(12)	Member	Com.	Ten.	CSI	LC	20-21	-1.64	1.00	10%	(4)	2-5	-3.19	6.71	52%	(5)	23-24	-0.85	1.96	5%	(6)	5-9	-3.19	6.71	33%	(8)	27-28	-0.85	1.96	5%	(6)	9-15	-3.91	8.36	55%	(9)	30-31	-1.64	1.00	10%	(4)	15-21	-3.51	7.89	54%	(10)	33-34	-0.48	1.56	4%	(13)	21-28	-2.74	6.41	47%	(11)	36-37	-1.03	0.57	6%	(20)						39-40	-0.42	0.80	3%	(12)
Member	Com.	Ten.	CSI	LC	28-34	-3.26	7.24	54%	(12)	42-44	-0.55	1.69	4%	(13)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
1-4	-1.92	0.92	44%	(15)	40-45	-3.70	8.24	33%	(14)	47-48	-5.83	2.78	36%	(5)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
4-7	-7.42	3.55	46%	(5)	45-48	-3.19	6.71	28%	(5)	50-49	0.00	0.00	0%	(0)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
7-12	-8.64	4.02	79%	(15)	48-50	-0.92	1.94	52%	(5)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
12-18	-8.75	4.29	75%	(16)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
18-24	-7.43	3.71	79%	(17)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
24-27	-5.70	2.96	35%	(5)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
27-31	-7.00	3.49	79%	(18)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
31-37	-8.41	4.05	75%	(19)	3-4	-5.83	2.78	36%	(5)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
37-44	-8.75	4.29	79%	(20)	2-1	0.00	0.00	0%	(0)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
44-47	-7.42	3.55	46%	(5)	5-6	-0.07	1.07	3%	(8)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
47-49	-1.92	0.92	44%	(20)	7-9	-0.55	1.69	4%	(9)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
					11-12	-0.42	0.80	3%	(10)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
					14-15	-1.03	0.57	6%	(15)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
					17-18	-0.48	1.56	4%	(9)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
					20-21	-1.64	1.00	10%	(4)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
					23-24	-0.85	1.96	5%	(6)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
					27-28	-0.85	1.96	5%	(6)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
					5-9	-3.19	6.71	33%	(8)	30-31	-1.64	1.00	10%	(4)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
					9-15	-3.91	8.36	55%	(9)	33-34	-0.48	1.56	4%	(13)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
					15-21	-3.51	7.89	54%	(10)	36-37	-1.03	0.57	6%	(20)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
					21-28	-2.74	6.41	47%	(11)	39-40	-0.42	0.80	3%	(12)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Member	Com.	Ten.	CSI	LC	20-21	-1.64	1.00	10%	(4)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
2-5	-3.19	6.71	52%	(5)	23-24	-0.85	1.96	5%	(6)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
5-9	-3.19	6.71	33%	(8)	27-28	-0.85	1.96	5%	(6)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
9-15	-3.91	8.36	55%	(9)	30-31	-1.64	1.00	10%	(4)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
15-21	-3.51	7.89	54%	(10)	33-34	-0.48	1.56	4%	(13)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
21-28	-2.74	6.41	47%	(11)	36-37	-1.03	0.57	6%	(20)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
					39-40	-0.42	0.80	3%	(12)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
SPECIAL LOADING No manually added Point Load applied	DESIGN LOAD COMBINATIONS LC1 (0.44Wu) 19% LC2 (G) 23% LC3 (max(1.0Q,0.7S)) 22% LC4 (1.2G+1.5Q) 61% LC5 (1.2G+Wd) 59% LC6 (0.9G+Wu) 25% LC7 (1.2G+1.0S) 45% LC8-LC20 (1.2G+1.5P) 79%	DEFLECTION <table border="1"> <thead> <tr> <th>LC</th><th>Max mm</th><th>Node ID</th><th>Criteria</th><th>Critical mm</th><th>CSI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>LC1</td><td>2.09</td><td>32</td><td>Span/250,15.0</td><td>15.0</td><td>13.9%</td></tr> <tr><td>LC2</td><td>2.31</td><td>32</td><td>Span/250,15.0</td><td>15.0</td><td>19.3%</td></tr> <tr><td>LC3</td><td>1.94</td><td>30</td><td>Span/250,15.0</td><td>15.0</td><td>16.1%</td></tr> </tbody> </table>	LC	Max mm	Node ID	Criteria	Critical mm	CSI	LC1	2.09	32	Span/250,15.0	15.0	13.9%	LC2	2.31	32	Span/250,15.0	15.0	19.3%	LC3	1.94	30	Span/250,15.0	15.0	16.1%	REINFORCING PLATES & MEMBERS Notes: Plates Fixed on Both Sides, Reinforcing Chord member may Substitute Plate. Fasteners: FRAMECAD 10-g 16mm Flathead Members: Provide 2 fasteners at each end & each crossing member and at maximum 300mm(12") centres along member length. Plates: Provide 2 fasteners at plate edges & each crossing member and at maximum 50mm(2") centres along member length. Node: 26 Plate: FRAMECAD 1.15mm Apex/Heel Plate																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
LC	Max mm	Node ID	Criteria	Critical mm	CSI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
LC1	2.09	32	Span/250,15.0	15.0	13.9%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
LC2	2.31	32	Span/250,15.0	15.0	19.3%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
LC3	1.94	30	Span/250,15.0	15.0	16.1%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															

Framing System Name:	FC_LGSC	Top Chord Restraint (mm) :	1200	Truss Spacing (mm) :	1550	Roof Load Type:	SHEET	Bottom Chord Dead Load (kPa):	0.14	Top Chord Dead Load (kPa):	0.12
Loading Code:	NASH NZ 2010	Horizontal Chord Restraint (mm) :	N/A	Shuttered Conditions:	No	Ground Snow Load (kPa):	0.20	Bottom Chord Live Load (kPa):	0.00	Top Chord Live Load (kPa):	0.25
Design Code:	AS/NZS 4600:2018	Bottom Chord Restraint (mm) :	600			Wind speed:	LOW	Bottom Chord Service Load (kPa):	0.00	Concentrated Live Load (kN) :	1.10