



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY
INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

NÁVRH A POSOUZENÍ OCELOVÉ KONSTRUKCE

DESIGN OF STEEL STRUCTURE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

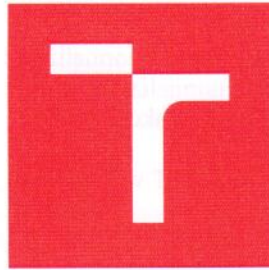
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Radek Svoboda

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ROSTISLAV ZÍDEK, Ph.D.

BRNO 2017




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	N3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s kombinovanou formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3608T001 Pozemní stavby
PRACOVNÍŠTĚ	Ústav stavební mechaniky

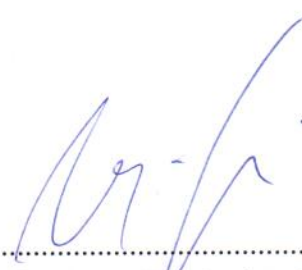
ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. Radek Svoboda
NÁZEV	Návrh a posouzení ocelové konstrukce
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	Ing. Rostislav Zídek, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016


.....
prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
Vedoucí ústavu




.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí. Český normalizační institut, 2004.
- [2] EN 1991-1 Zátížení konstrukcí staveb. Český normalizační institut, 2004.
- [3] ČSN EN 1993-1-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Český normalizační institut, 2006.
- [3] Kopecký, J., Dynamika stavebních konstrukcí, VUT v Brně, Brno, 1985.

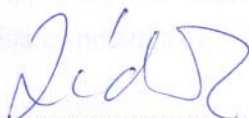
ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Statická analýza ocelové konstrukce. Výpočet zatížení a tvorba výpočtového modelu pomocí vhodného MKP programu. Posouzení hlavních konstrukčních částí a návrh některých detailů. Výpočet vlastních tvarů kmitání.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



.....
Ing. Rostislav Zídek, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tématem diplomové práce je návrh a posouzení ocelové konstrukce průmyslové budovy pro úpravu sklářského písku. Budova má půdorysný rozměr 12,0 x 12,0 metrů a výšku v hřebeni střechy 15,6 metrů. Rozvržení jednotlivých prvků bylo navrženo dle požadavků technologie a výrobního procesu

Práce se zaměřuje na vytvoření výpočetního modelu a posouzení na mezní stav použitelnosti a únosnosti jednotlivých prvků. Dále práce obsahuje návržení několika styčníků, které byly navrženy a optimalizovány.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ocelová konstrukce, prostorový rám, styčník, vlastní kmity, lineární výpočet, mezní stavy

ABSTRACT

Topic of the master's thesis is design and assessment of steel construction of the industrial building used to glass sand treatment. The building has the top view dimensions 12,0 x 12,0 m and roof ridge height 15,6 m. Disposition of the individual elements was designed according to conditions of the technology and production process.

The thesis focus on creating of computational model and assessment to ultimate and serviceability limit states of individual elements. Further thesis contains of design and optimisation of some joints.

KEYWORDS

Steel construction, spaceframe, joint, mode shapes, linear calculation, limit states

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Radek Svoboda *Návrh a posouzení ocelové konstrukce*. Brno, 2017. 53 s., 68 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce Ing. Rostislav Zídek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 8. 1. 2017

Bc. Radek Svoboda
autor práce

Poděkování

Děkuji panu Ing. Rostislavu Zídkovi, Ph.D., vedoucímu diplomové práce, za trpělivost, konzultace a nadmíru cenné rady a připomínky. Dále děkuji mé rodině, která mi byla velkou oporou při celém studiu.

V Brně dne 8.1.2017

.....
Bc. Radek Svoboda

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	POPIS KONSTRUKCE	11
2.1	DISPOZIČNÍ A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	11
2.1.1	Sloupy.....	12
2.1.2	Svislá ztužidla.....	12
2.1.3	Vodorovná ztužidla.....	13
2.1.4	Konstrukce plošin.....	13
2.1.5	Střešní konstrukce.....	13
2.1.6	Stěnové paždíky.....	14
2.2	ZATŘÍDĚNÍ KONSTRUKCE DLE ČSN EN 1090-2+A1	14
3	VSTUPNÍ ÚDAJE PRO VÝPOČET	16
3.1	ZATĚŽOVACÍ STAVY	16
3.1.1	Vlastní tíha konstrukce.....	16
3.1.2	Stále zatížení.....	16
3.1.3	Plášť budovy.....	19
3.1.4	Užitné zatížení na plošinách.....	20
3.1.5	Zatěžovací stav – náplň technologie.....	22
3.1.6	Zatěžovací stav– Náplň zásobníků.....	23
3.1.7	Zatěžovací stavy – Sníh.....	24
3.1.8	Zatěžovací stavy – Vítr.....	25
3.2	POTRUBNÍ MOST	26
4	STATICKÝ VÝPOČET	28
5	VÝSLEDKY A POSUDKY	29
5.1	POSUDEK NA MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI	29
5.2	POSUDEK NA MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI	35
6	VLASTNÍ TVARY KMITÁNÍ	38
7	POSOUZENÍ STYČNÍKŮ	41
7.1	Modelování styčnicku metodou CBFEM	41
7.2	Vnitřní síly ve styčnicku	42
7.2.1	Postup pro připojení jednoho prutu:.....	42
7.2.2	Postup pro připojení několika prutů do styčnicku.....	43
8	ZÁVĚR	46
9	POUŽITÁ LITERATURA	47

SEZNAM TABULEK	48
SEZNAM OBRÁZKŮ	49
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	51
SEZNAM PŘÍLOH	52
SUMMARY	53

1 ÚVOD

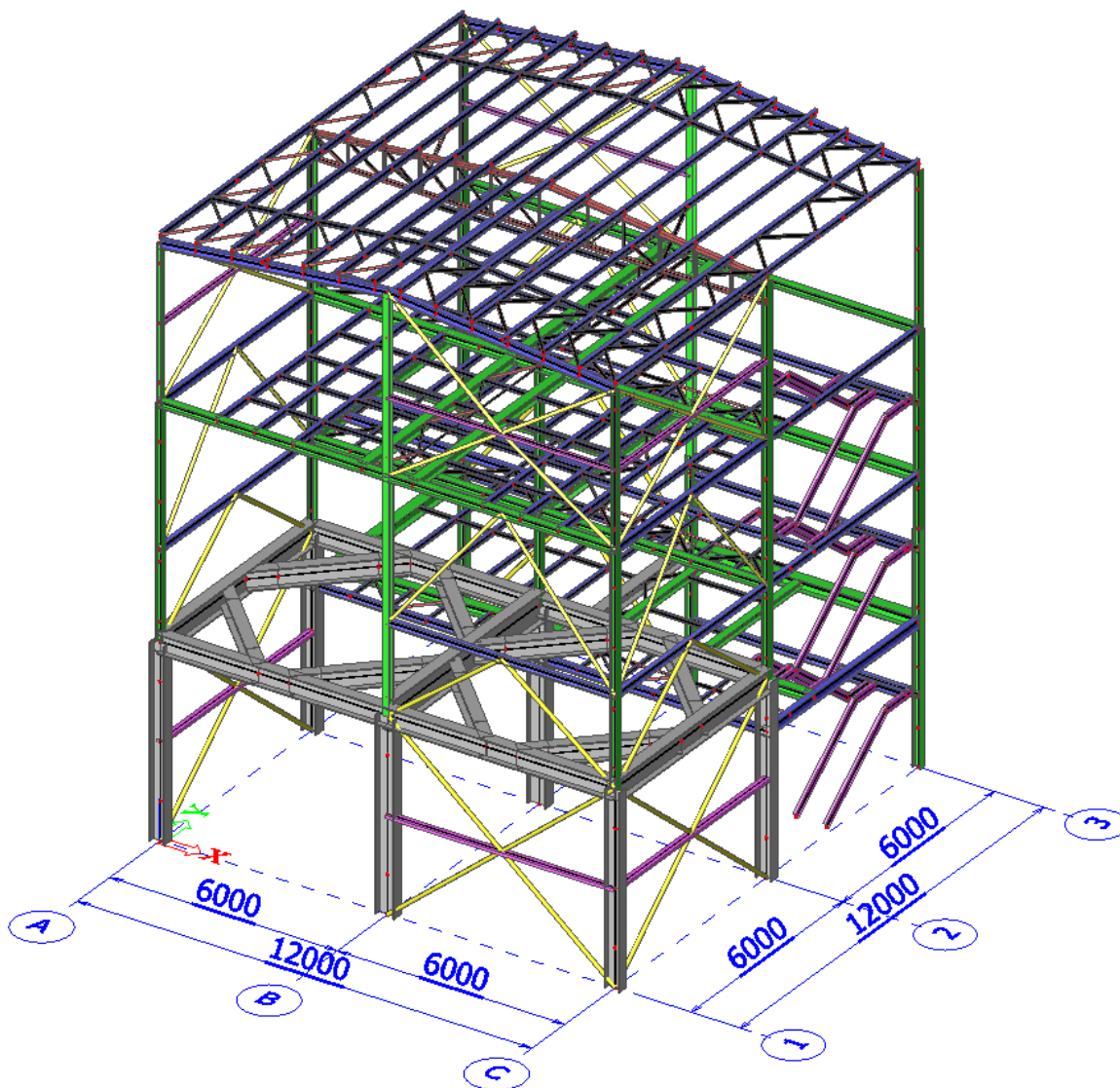
Předkládaná diplomová práce se zabývá návrhem a posouzením ocelové konstrukce pro technologii třídění sklářských písků. V diplomové práci analyzovaná konstrukce nemá žádnou přímou předlohu, vychází z obdobných konstrukcí, na kterých jsem se podílel jako projektant ve svém zaměstnání. Uspořádání budovy a zatížení je těsně svázáno s použitou technologií. Jedná se o vibrační třídič, protiproudý třídič, hydrocyklony a komorový třídič. Tato zařízení jsou doplněna zásobníky a potrubími, kterými je dopravována suspenze písků a vody. Podrobněji je technologie popsána v příloze P4.

Rozvržení zařízení v budově bylo optimalizováno zejména s ohledem na výrobní proces. Konstrukce a statika jsou při tomto návrhu druhořadé. Vlastní konstrukce budovy tedy vychází z technologických požadavků. Jedná se skeletovou ocelovou konstrukci celkových rozměrů 12 x 12 m, výšky 15,8 m. Technologické plošiny jsou na čtyřech úrovních (viz obr. 2.1). Jsou použity válcované profily z oceli S235. Budova je opláštna sendvičovými panely. Umístění stavby je v III. sněhové oblasti a II. větrné oblasti. Účinky zemětřesení jsou zanedbatelné.

Konstrukce je modelována v programu SCIA Engineer jako prostorový rám geometricky a fyzikálně lineární. Tento software je použit i pro posouzení ocelových prvků na 1. i 2. mezní stav. Stejným programem byly vypočteny i vlastní tvary kmitání. Zvláštní péče je věnována styčnickům. Tímto problémem jsem se zabýval i ve svojí bakalářské práci. Zde byla na konstrukci vybrána řada styčnicků. Ty byly navrženy, posouzeny a optimalizovány pomocí programu IDEA RS.

V diplomové práci analyzovaná konstrukce je typická konstrukce používaná v oblasti technologie pískoven. Je proveden návrh a posouzení hlavních prvků konstrukce z hlediska statiky a ocelových konstrukcí. Posouzení všech prvků či aspektů konstrukce by dalece přesáhlo rozsah diplomové práce.

2 POPIS KONSTRUKCE



Obr. 2.1 Průmyslový objekt

2.1 DISPOZIČNÍ A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Průmyslový objekt pro úpravu sklářského písku je prostorová vícepodlažní skeletová konstrukce o celkových půdorysných systémových rozměrech 12,0 x 12,0 m výška budovy v hřebeni je 15,8 m (Rozměry budovy jsou závislé na množství zpracovávané suroviny, stupni a kvalitě úpravy suroviny a nemalou měrou na četnosti sortimentu). Modulová vzdálenost sloupů je 6,0m v obou směrech. Uložení sloupů je kloubové na betonový základ. Řešení základových konstrukcí není obsahem diplomové práce.

Tuhost konstrukce ve svislých rovinách je zajištěna svislými ztužidly mezi sloupy vnějších řad. Poloha ztužidel je přizpůsobena technologickým a provozním požadavkům. Technologická podlaží jsou navržena na úrovních +3,600, +7,300, +11,000m. Konstrukce podlaží je tvořena systémem podlahových nosníků, které jsou připojené na průvlaky umístěné

v systémových osách. Průvlaky jsou vynášeny sloupy objektu. Poloha nosníků je dána rozmístěním technologických zařízení na plošinách. Podlahy na podlažích jsou tvořeny podlahovým pororoštem, který je připevněn k podlahovým nosníkům přes standardní úchytka. Na podlaží +7,300m v řadě 3 mezi sloupy B-C je na průvlaku položen venkovní potrubní most s obchůznou lávkou. Řešení mostu není obsahem této diplomové práce. Pro statické posouzení nosníku byl proveden zjednodušený návrh potrubního mostu. Reakce jednotlivých zatěžovacích stavů mostu jsou vneseny do průvlaku v souladu s odpovídajícími zatěžovacími stavy budovy. Konstrukční uložení potrubního mostu na průvlak konstrukce budovy musí být provedeno jako kluzné, aby se zabránilo přenášení vodorovných podélných sil z potrubního mostu do systémového nosníku budovy (např. válečkové ložisko).

Zásobník o objemu 120 m^3 , o průměru 5,0 m, výšce válcové části 6,0 m z toho 1,0 m tvoří válcový prstenec a výšce kuželové části 4,0 m je umístěn v řadách 1-2 a A-C na úrovni +5,000m. Nosná plošina je navržena z válcovaných profilů typu HEB.

Z důvodu umístění třídiče uprostřed plošiny +11,000m je střední sloup haly ukončen pod plošinou a větší rozpon je přenesen příhradovým vazníkem. Ostatní vazníky jsou uloženy na sloupech obvodových protilehlých řad skeletu. Uložení vazníků na sloupech je typu kloub se stupněm volnosti otáčení v rovině vazníku. Nosné sloupy vazníků jsou v podlaží pod střechou jako spojitě (příp. vetknuté).

U sloupů řady C je uvažováno dvouramenné ocelové schodiště šířky 0,8 m s mezipodesty ve výškách +1,800; +5,500; 9,100 m. Schodnice profilu U 200 jsou ve výšce podesty zalomeny a slouží jako plošinový nosník, k průvlakům haly jsou připojeny kloubově.

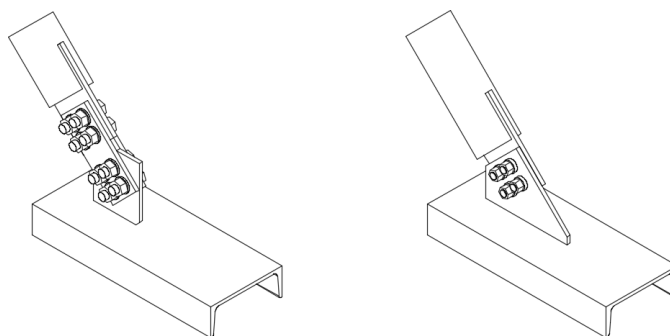
Hala je řešena pro III. sněhovou oblast a pro II. větrnou oblast.

2.1.1 Sloupy

Sloupy přenášejí svislá zatížení od konstrukce do základů. Všechny sloupy jsou v patě kloubově podepřeny. Tímto způsobem nejsou vnášeny momenty do základové patky. Návrh patní desky je řešený v příloze. Sloupy jsou po výšce haly rozděleny na dva, nebo tři montážní díly, spojené montážními spoji. Průřez každého dílu je po výšce odstupňován vzhledem k zatížení, které přenáší a vzhledem ke konstrukčním detailům s průvlaky a vazníky. Střední sloupy v každé stěně jsou otočené tuhou osou kolmo ke stěně z důvodu zachycení účinků větru.

2.1.2 Svislá ztužidla

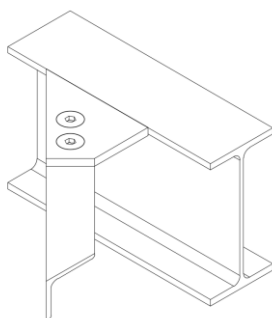
Celá konstrukce budovy je po celé výšce zavětrována ve 4 polích. Pro zavětrování byly použity profily trubkového průřezu, kloubově přichycené ke sloupům, respektive průvlakům. Oproti L profilům je trubkové zavětrování odolnější na vybočení profilu při působení tlaku. Spoj ztužidla je přes dva styčnickové plechy, jeden přivařený ke ztužidlu, druhý je přivařený k průvlaku respektive ke sloupu. U těžkých ztužidel je nutné se vyhybat excentricitě, která vznikne při použití jednoho styčnickového plechu. Z tohoto důvodu se na průvlak přivařují plechy dva a styčnickový plech na ztužidlo se vkládá mezi, lze však využít i příložek. U ztužidel, které nepřenášejí velké tlakové síly můžeme excentricitu zanedbat.



Obr. 2.2 Přípoj trubkového zavětrování

2.1.3 Vodorovná ztužidla

Tato ztužidla jsou umístěná v technologických plošinách +3,600; +7,100; +11,000 a ve střeše. Ztužidla přenášejí vodorovné síly do sloupů. Převážně se šroubují do horní pásnice podlahových nosníků. Ztužidlo působí v horní rovině průvlaků a vodorovný nosník je potom pouze horní příruba. Ztužidla jsou navržena z profilů L 60/6. Spoj je přes styčnickový plech se zápusnými dírami, který je přivařený k podlahovému nosníku. Pro připojení se používá šroub s kuželovou hlavou, aby nebránil uložení podlahovým roštům.



Obr. 2.3 Přípoj vodorovného zavětrování

2.1.4 Konstrukce plošin

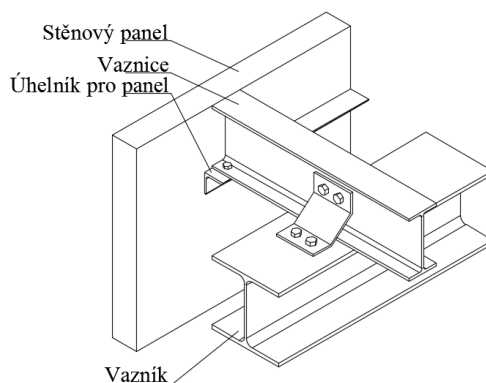
Konstrukce plošin tvoří průvlaky, které přenášejí svislé zatížení do sloupů a plošinové nosníky, které přenášejí svislé zatížení do průvlaků. Plošinové nosníky jsou navrženy na požadavky umístění technologie.

2.1.5 Střešní konstrukce

Střecha je pultová se sklonem 5° (plochá střecha). Po obvodu střechy je mezi vaznicemi navrženo podélné a příčné ztužení. Ztužení je umístěno na spodní pásnici vaznice. Střešní plášť je navržena ze sendvičových panelů tloušťky 100mm připevněných do vaznice přes samovrtný šroub z nerezové oceli.

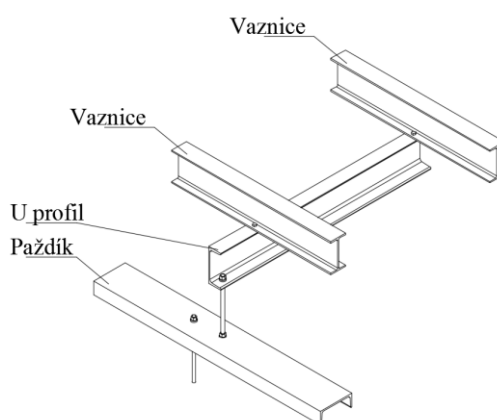
2.1.6 Stěnové paždíky

Profil U200 přišroubovaný naležato ke konzole, která je přivařena na sloupy haly. Spodní paždík je umístěný přibližně 100 mm nad hranou soklu. Horní paždík je umístěný 500 mm pod spodní hranou vaznice. Přichycení stěnových panelů pod vaznicemi je řešeno přes úhelník, který je přišroubovaný na spodní pásnici vaznic, které jsou přesazeny přes střešní vazník.



Obr. 2.4 Detail přechycení stěnového panelu pod vaznicí

Protože jsou stěnové paždíky osazeny do konstrukce v měkké ose, nejsou příliš odolné na průhyb. Z tohoto důvodu jsou v polovině své délky zavěšeny táhlem k vaznici. Tím se zkrátí jejich délka na polovinu.



Obr. 2.5 Detail zavěšení stěnového paždíku

2.2 ZATŘÍDĚNÍ KONSTRUKCE DLE ČSN EN 1090-2+A1

Každá ocelová konstrukce se musí zatřídit dle požadavků na provádění konstrukcí tak, aby se zajistila požadovaná úroveň mechanické odolnosti a stability, použitelnosti a trvanlivosti ocelových konstrukcí navržených podle ČSN EN 1993. Norma zavádí čtyři třídy provedení označené EXC1 – EXC4 se vzrůstajícími požadavky.

Třída následků viz ČSN EN 1990: CC1

malé následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo malé/zanedbatelné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí

Kategorie použitelnosti ČSN EN 1090-2+A1: SC2

konstrukce vystavené vibracím vyvolaným větrem, zatížené davem lidí nebo rotačním strojem)

Výrobní kategorie ČSN EN 1090-2+A1: PC1

Svařované dílce vyrobené z výrobků z oceli nižší pevnostní třídy než S355

Třída provedení ČSN EN 1090-2+A1: **EXC2**

3 VSTUPNÍ ÚDAJE PRO VÝPOČET

3.1 ZATĚŽOVACÍ STAVY

Tab. 3.1 Seznam zatěžovacích stavů

Jméno	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení	Spec
LC1 - Vlastní tíha	Stálé	LG1 Stálé	Vlastní tíha	
LC2 - Stále zatížení	Stálé	LG1 Stálé	Standard	
LC3 - Plášť budovy	Stálé	LG1 Stálé	Standard	
LC4 - Užité na plošinách	Proměnné	LG5 Užité na plošinách	Statické	Standard
LC5 - Technologie náplň	Proměnné	LG6 Technologie	Statické	Standard
LC6 - Zásobníky prázdný/plný	Proměnné	LG2 Náplň zásobníků	Statické	Standard
LC7 - Zásobníky plný/prázdný	Proměnné	LG2 Náplň zásobníků	Statické	Standard
LC8 - Sníh plný	Proměnné	LG3 Sníh	Statické	Standard
LC9 - Sníh polovina/plný	Proměnné	LG3 Sníh	Statické	Standard
LC10 - Sníh plný/polovina	Proměnné	LG3 Sníh	Statické	Standard
LC11 - Vítr +X sání	Proměnné	LG4 Vítr	Statické	Standard
LC12 - Vítr +X tlak	Proměnné	LG4 Vítr	Statické	Standard
LC13 - Vítr -X sání	Proměnné	LG4 Vítr	Statické	Standard
LC14 - Vítr -X tlak	Proměnné	LG4 Vítr	Statické	Standard
LC15 - Vítr +Y sání	Proměnné	LG4 Vítr	Statické	Standard
LC16 - Vítr +Y tlak	Proměnné	LG4 Vítr	Statické	Standard
LC17 - Vítr -Y sání	Proměnné	LG4 Vítr	Statické	Standard
LC18 - Vítr -Y tlak	Proměnné	LG4 Vítr	Statické	Standard

3.1.1 Vlastní tíha konstrukce

Tento zatěžovací stav si program SciaEngineer vygeneruje podle použitých profilů v konstrukci.

3.1.2 Stále zatížení

Zatížení stále se skládá z prvků, které se běžně nemodelují do modelu pro výpočet, ale jsou nedílnou součástí ocelové konstrukce. Převážně se jedná o zábradlí, podlahové rošty, schodištvé stupně.

Tab. 3.2 Zatěžovací údaje od konstrukcí

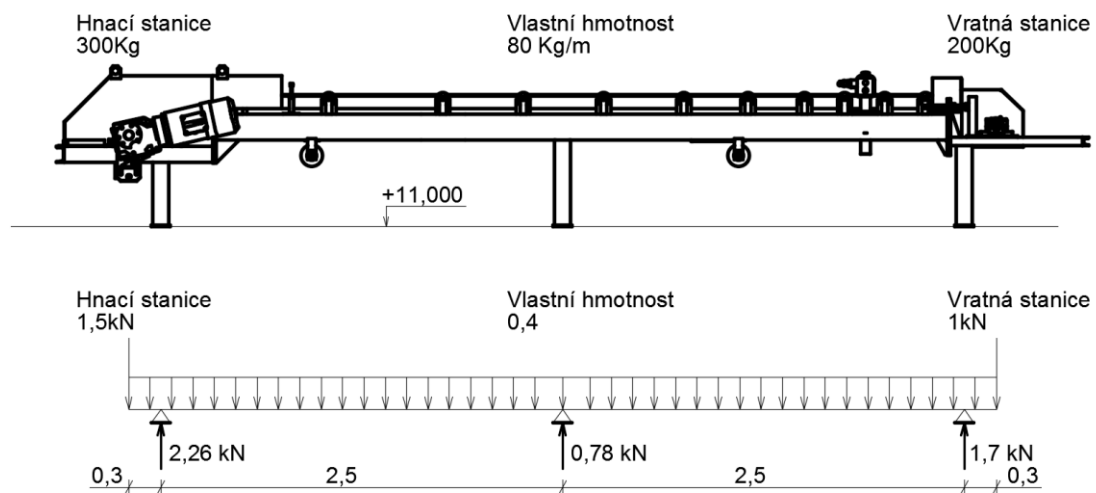
	Hmotnost	Hmotnost	Hmotnost	Bodová síla v ose (z)	Spojité zatížení v ose (z)	Plošné zatížení v ose (z)
	[kg]	[kg/m]	[kg/m ²]	[kN]	[kN/m]	[kN/m ²]
Schodišťový stupeň	5,9			-0,06		
Zábradlí		17			-0,17	
Rošt			28,5			-0,28

Do stálého zatížení také patří zatížení od strojů a zařízení, které jsou v budově instalovány.

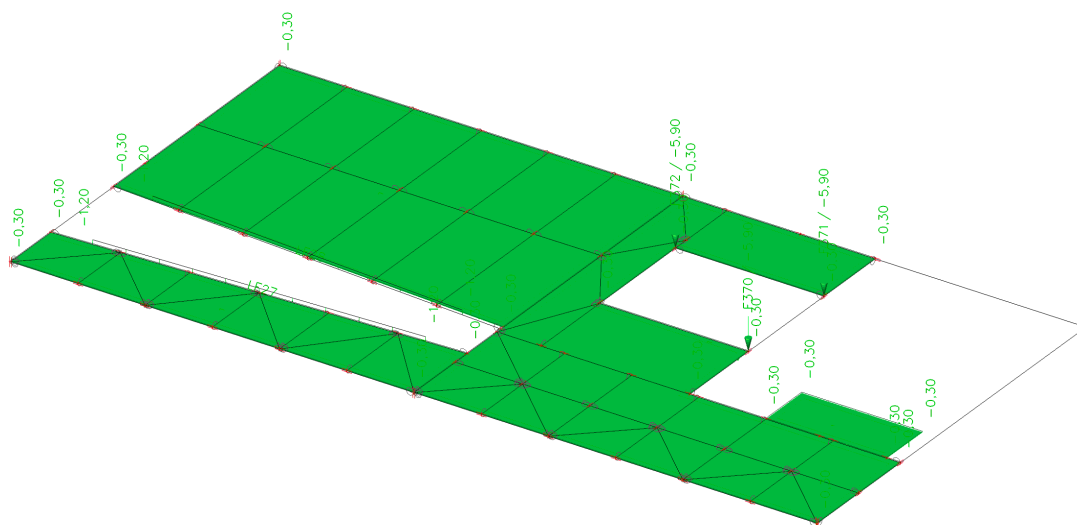
Tab. 3.3 Zatěžovací údaje od technologie

	Plošina	Hmotnost	Hmotnost	Hmotnost	Bodová síla v ose (z)	Spojité zatížení v ose (z)	Plošné zatížení v ose (z)
		[kg]	[kg/m]	[kg/m ²]	[kN]	[kN/m]	[kN/m ²]
Komorový třídič	3,600	1223	122,3			-1,2	
Protiproudý třídič	3,600	2355			-5,9		
Expediční zásobník	5,000	10300			-25,8		
Hydrocyklon	7,300	580			-1,5		
Rozdělovač vody	7,300	675			-1,7		
Velín	7,300	1250					-1,7
Dopravník	11,000	948			vlastní schéma zatížení		
Třídící jednotka	11,000	4950				-5,1	
Rozváděče	11,000	1800					-3,0

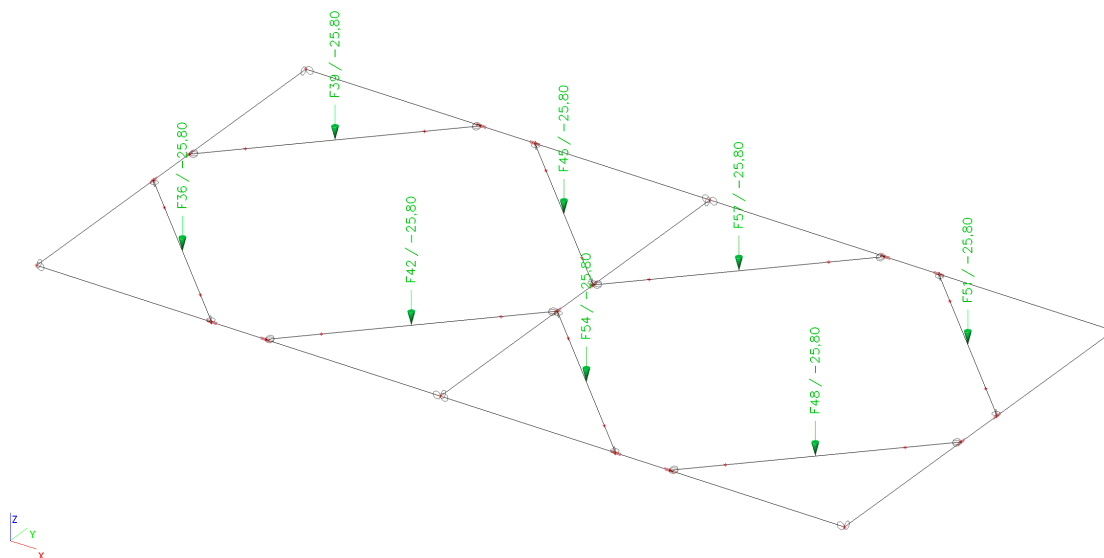
Podrobný přehled rozmístění technologie v jednotlivých patrech obsahuje příloha P4.



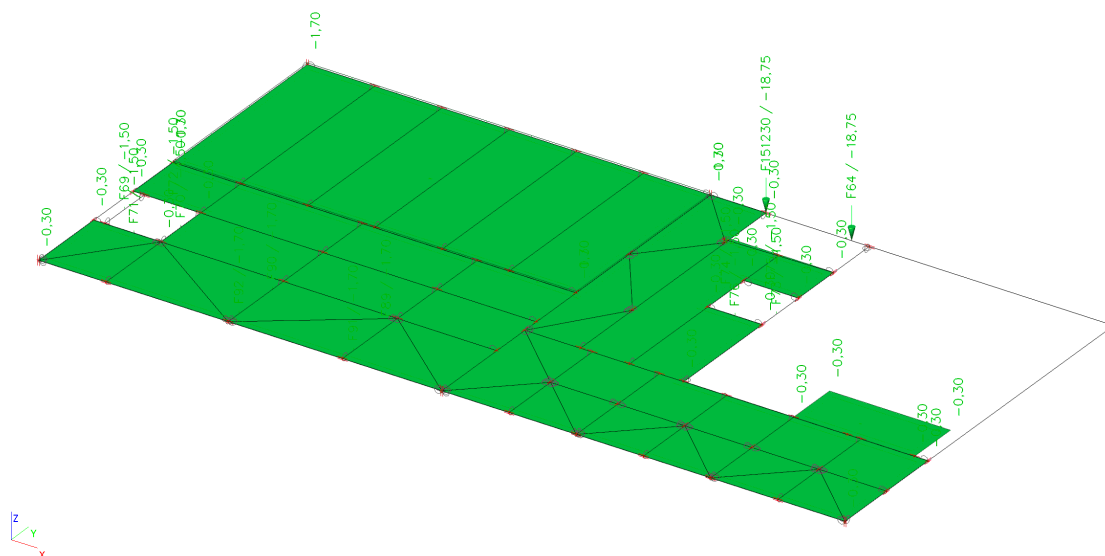
Obr. 3.1 Reakce od vlastní tíhy dopravníku na plošině +11,000



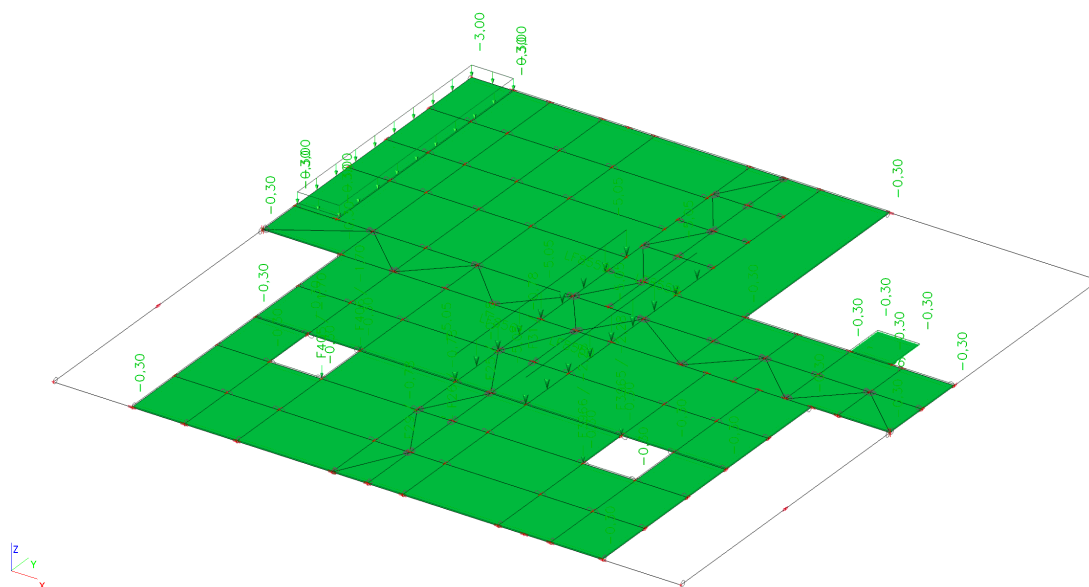
Obr. 3.2 Schéma stálého zatížení na plošině +3,600



Obr. 3.3 Schéma stálého zatížení na plošině +5,000



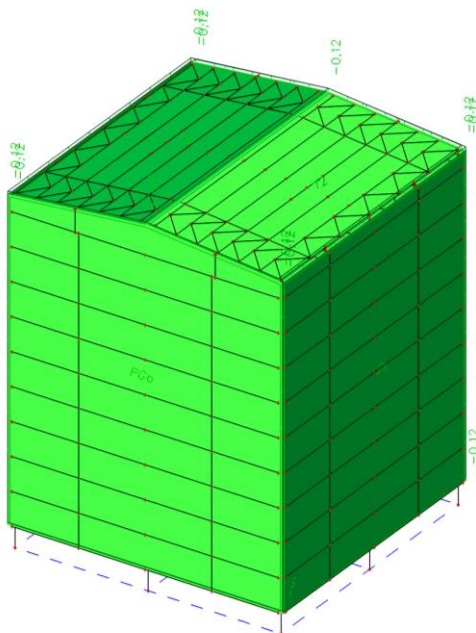
Obr. 3.4 Schéma stálého zatížení na plošině +7,300



Hmotnost 12 Kg/m^2

Pro stěnové opláštění byly použity sendvičové stěnové panely s izolačním jádrem se skrytým kotvením v zámku. Celková tloušťka izolačního jádra je 80mm.

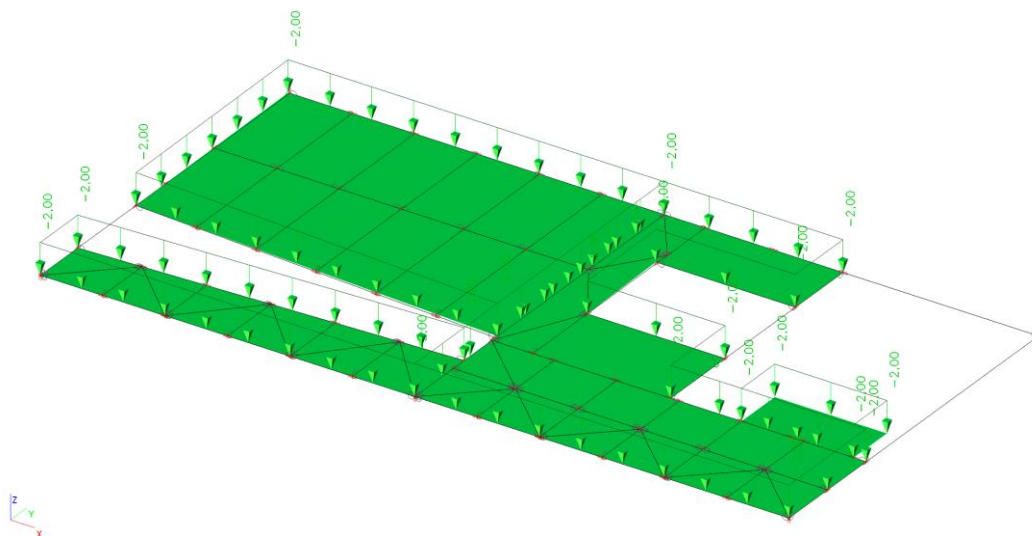
Hmotnost: 12 Kg/m^2



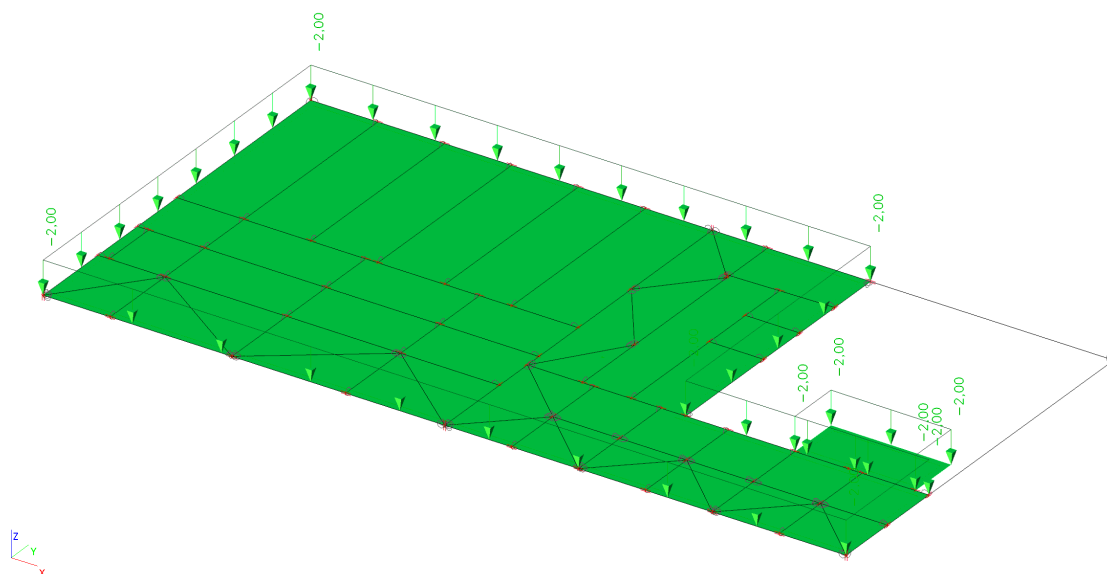
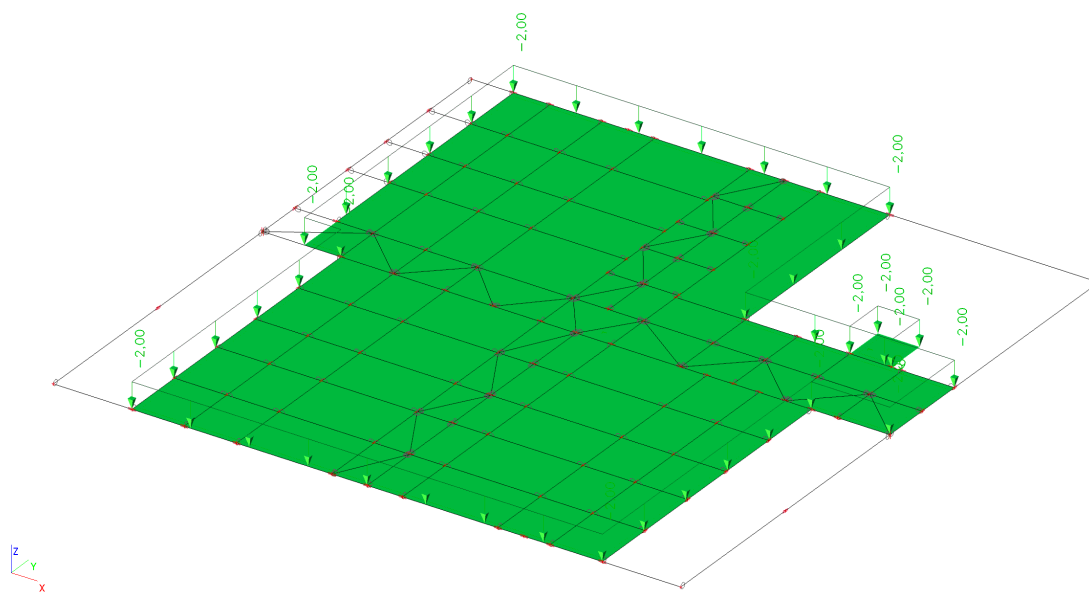
Obr. 3.6 Zatížení od stěnového a střešního pláště

3.1.4 Užité zatížení na plošinách

Užitné zatížení se považuje za rovnoměrně rozdělené zatížení osobami, vnitřním vybavením budov (v případě oprav technologických zařízení). Dle charakteru budovy lze použít zařídění do skupiny E dle ČSN EN 1991 Jedná se o průmyslové budovy, u kterých není pevně stanovená hodnota užitého zatížení. Velikost užitého zatížení pro průmyslovou činnost byla pro tuto konstrukci stanovena na 200 Kg/m^2 .



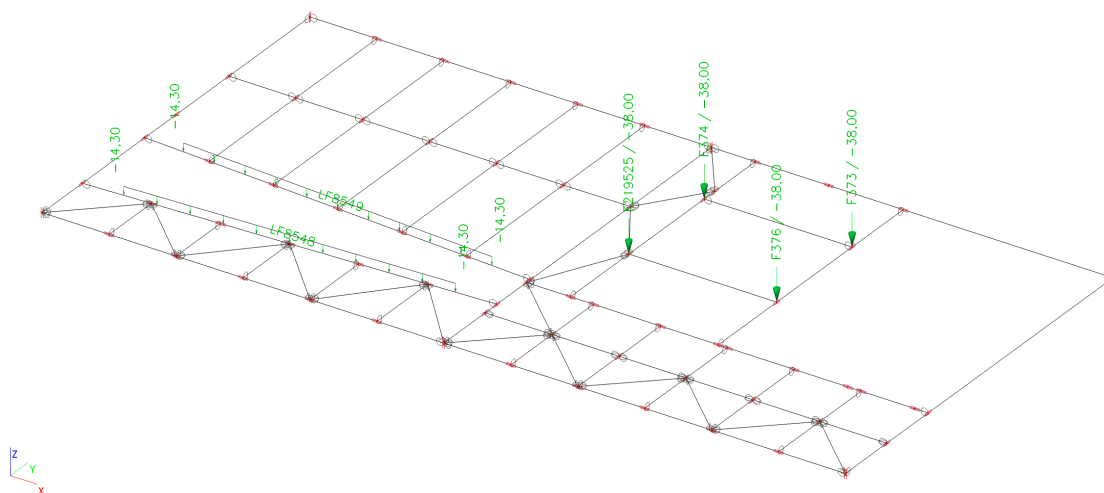
Obr. 3.7 Užité zatížení na plošině +3,600

**Obr. 3.8** Užité zátížení na plošině +7,300**Obr. 3.9** Užité zátížení na plošině +11,000

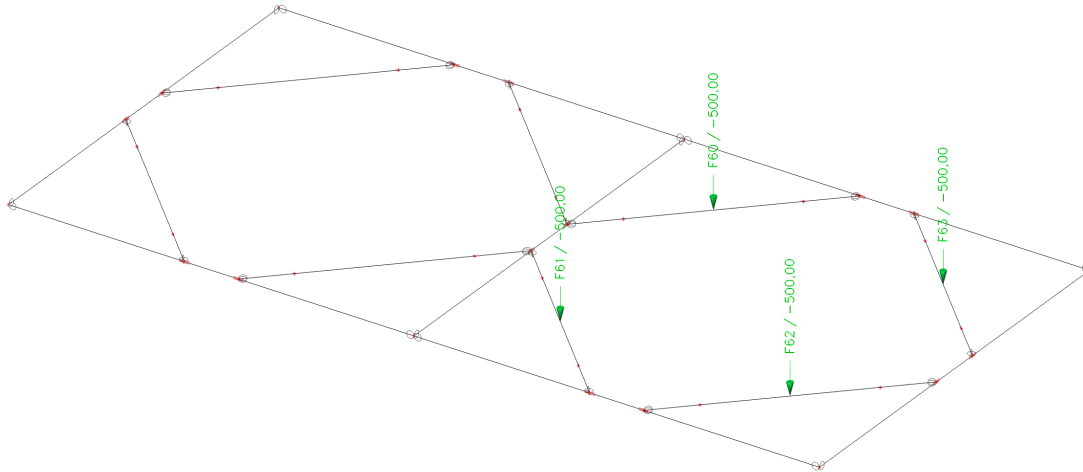
3.1.5 Zatěžovací stav – náplň technologie

Tab. 3.4 Zatěžovací údaje od technologie

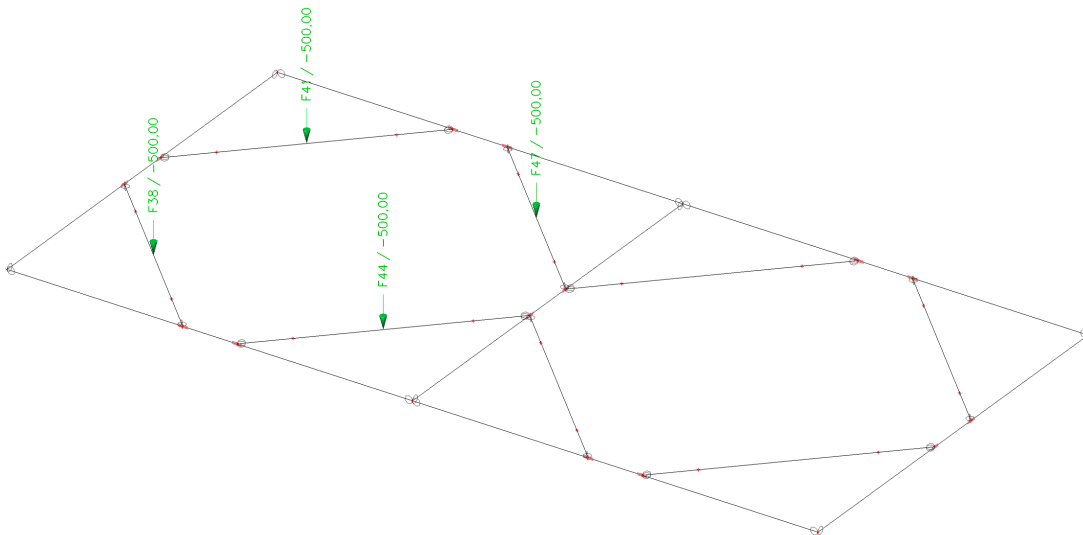
	Plošina	Hmotnost	Hmotnost	Hmotnost	Síla v ose(z)	Síla v ose (z)	Síla v ose (z)
		[kg]	[kg/m]	[kg/m ²]	[kN]	[kN/m]	[kN/m ²]
Komorový třídič	3,600	14300				-14,3	
Protiproudý třídič	3,600	15200			-38		
Expediční silo	5,000	200000			-500		
Hydrocyklon	7,300	1120			-2,8		
Rozdělovač vody	7,300	785			-2		
Dopravník	11,000	62			0,31		
Třídící jednotka	11,000	6290				-6,8	



Obr. 3.10 Náplň technologie na plošině +3,600



Obr. 3.13 Náplň technologie na plošině +11,000



Obr. 3.14 Náplň technologie na plošině +11,000

3.1.7 Zatěžovací stavy – Sníh

Dle normy se zatížení sněhem počítá na průmět střechy. Pro výpočet v programu Scia je nutné zatížení přepočítat na délku kolmo k zemi. Vzhledem k malému sklonu střechy 5° je tento výpočet zanedbatelný.

Pro zatížení sněhem jsou nutné 3 kombinace zatížení, při kterých se kombinují stavy plného zatížení a polovičního zatížení na jednotlivých částech sedlové střechy.

Vzorec pro výpočet charakteristické hodnoty zatížení na střeše:

$$\mu_i * c_e * c_t * S_k = S, \quad (3.1)$$

kde μ_i ... je tvarový součinitel zatížení sněhem [-], $\mu_1=0,8$,

$c_e...$ je součinitel expozice [-],

$c_t...$ je tepelný součinitel [-],

$s_k...$ je charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi; oblast III $S_k=1,5 \text{ kN/m}^2$

Výpočet pro plné zatížení sněhem

$$0,8 * 1 * 1 * 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

Výpočet pro poloviční zatížení sněhem

$$0,5 * 0,8 * 1 * 1 * 1,5 = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

3.1.8 Zatěžovací stavy – Vítr

Podrobný výpočet maximálního dynamického tlaku je uvedený v příloze 1. Budovu je nutné rozdělit do oblastí dle ČSN EN 1991-1-4 a maximální dynamický tlak vynásobit odpovídajícím celkovým součinitel pro danou oblast.

Výsledné hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách a obrázku.

Tab. 3.5 Tabulka zatížení pro svislé stěny do výšky 12,0m

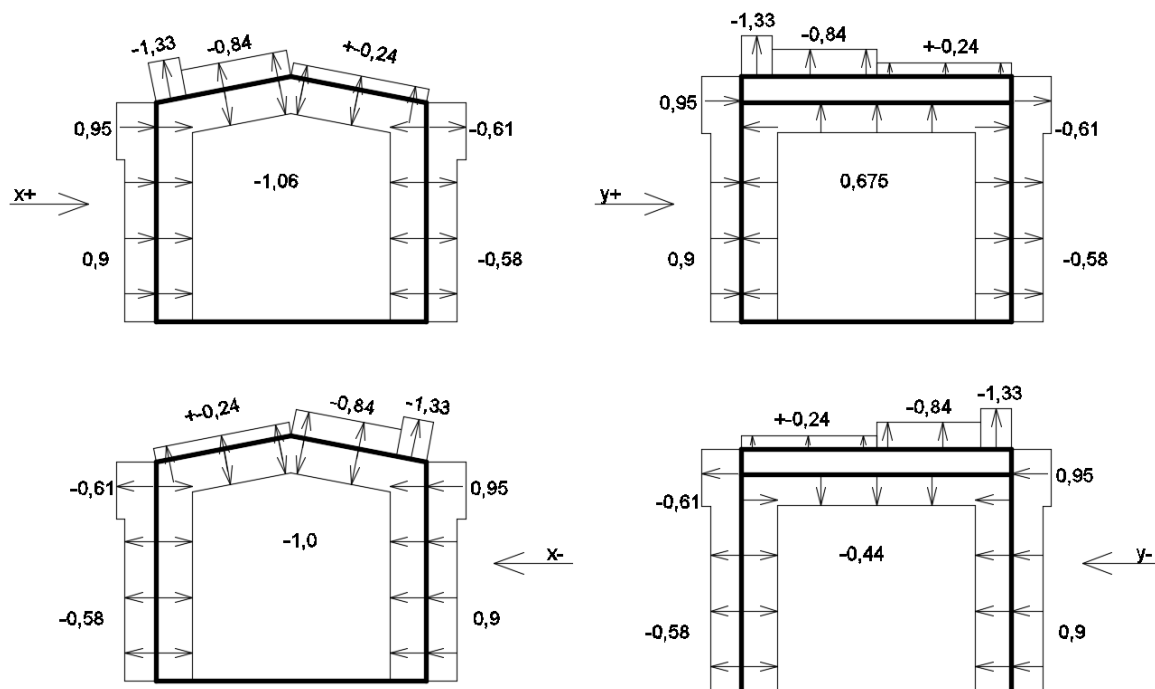
Oblast	Max. dyn. tlak	Součinitel vnějšího tlaku	Tlak
	kN/m^2		kN/m^2
A1	1,125	-1,2	-1,35
B1	1,125	-1,35	-1,52
D1	1,125	0,8	0,9
E1	1,125	-0,516	-0,58

Tab. 3.6 Tabulka zatížení pro svislé stěny od výšky 12,0m do výšky 15,8m

Oblast	Max. dyn. tlak	Součinitel vnějšího tlaku	Tlak
	kN/m^2		kN/m^2
A2	1,191	-1,2	-1,43
B2	1,191	-1,35	-1,61
D2	1,191	0,8	0,95
E2	1,191	-0,516	-0,61

Tab. 3.7 Tabulka zatížení pro střechu

Oblast	Max. dyn. tlak	Součinitel vnějšího tlaku	Tlak
	kN/m ²		kN/m ²
F	1,191	-1,8	-2,14
G	1,191	-1,2	-1,33
H	1,191	-0,7	-0,84
I	1,191	±0,2	±0,24



Obr. 3.15 Zobrazení tlaku na povrch stěn v závislosti na směru větru; řez v půlce budovy

Do statického výpočtu je zadáno celkem 8 zatěžovacích stavů pro vítr.

Zatěžovací stavy jsou rozděleny na každou stěnu haly a současně na střechu, kde může působit v oblasti I tlak i sání. Protože norma zakazuje současné působení kladných a záporných hodnot na stejné straně, je nutné kvůli oblasti I zadat stejné zatěžovací stavy, ale v oblasti I použít opačné znaménko.

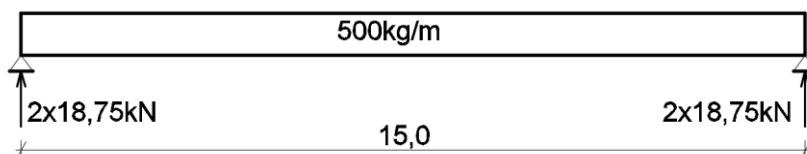
Účinky větru se zanedbávají, protože celková plocha všech povrchů rovnoběžných se směrem větru je menší, než čtyřnásobek celkové plochy všech vnějších povrchů, které jsou kolmé k větru.

3.2 POTRUBNÍ MOST

Na budovu je v řadě 3 ve výšce 7,300m připevněn potrubní most, který slouží pro vedení potrubí na deponii a současně jako lávka k hydrocyklonovým věžím. Výpočet potrubního mostu není zahrnut v diplomové práci, ale jsou odhadnuty reakce do konstrukce věže a tyto reakce jsou zapracovány do požadovaných zatěžovacích stavů.

Potrubní most je ocelová příhradová konstrukce trojúhelníkového průřezu, s obslužnou lávkou na levé straně směrem od budovy, na pravé straně mostu jsou na konstrukci objímky pro pokládku potrubí výtlačku na hydrocyklonové věže. Osová rozteč v horizontálním směru je 1,0 m, osová rozteč ve vertikálním směru je 1,0 m.

Potrubní most je na jedné straně kotvený do průvlaku haly, na straně druhé je kotvený do ocelového sloupu. Osová rozteč průvlaku v hale a sloupu je 15,0m. Odhadovaná hmotnost mostu, včetně potrubí je 500kg/m.



Obr. 3.16 Podélný pohled s reakcí od hmotnosti potrubního mostu

Do zatěžovacího stavu č.2 – Stálé zatížení budou na průvlaku B334 přidány dvě jednotlivé síly o velikosti 18,75 kN v osově vzdálenosti 1,0 m v ose z-.

Reakce od účinku větru:

Délka mostu: 15 m

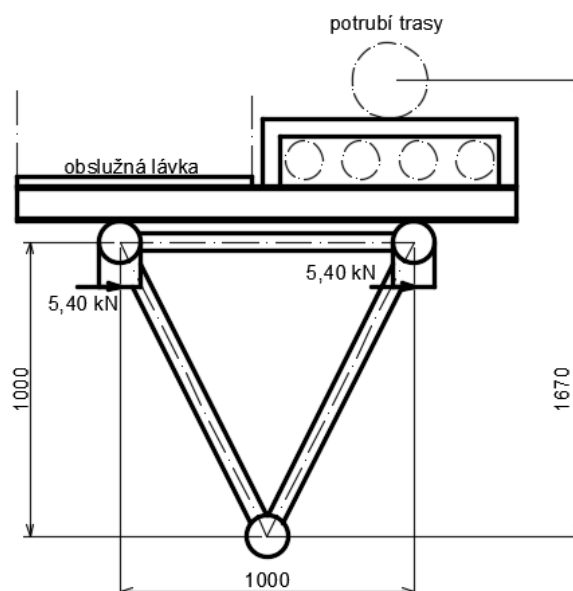
Výška mostu: 1,7 m

Celková plocha: 25,5 m² plocha pro účinek větru 50%

Maximální dynamický tlak 1,125 kN/m², součinitel v oblasti D=+0,8; v oblasti E=-0,7

Tlak na potrubní most: $(1,125 \times 0,8) + (1,125 \times 0,7) = 1,68 \text{ kN/m}^2$

Reakce do jedné podpory: $12,75 \times 1,68 / 4 = 5,4 \text{ kN}$



Obr. 3.17 Řez potrubním mostem s reakcemi od účinku větru

Do zatěžovacího stavu č.11-14 bude na průvlak B334 přidána vodorovná síla o velikosti 5,40 kN, vždy ve směru větru v každém zatěžovacím stavu.

4 STATICKÝ VÝPOČET

Vzhledem k tomu, že je veškeré zatížení rozděleno do skupin zatížení, program SCIA si sám vytvoří kombinace. Při tvorbě zatížení je nutné zohlednit, které zatěžovací stavy mohou působit společně a které společně působit nemohou.

Tab. 4.1 Skupiny zatížení

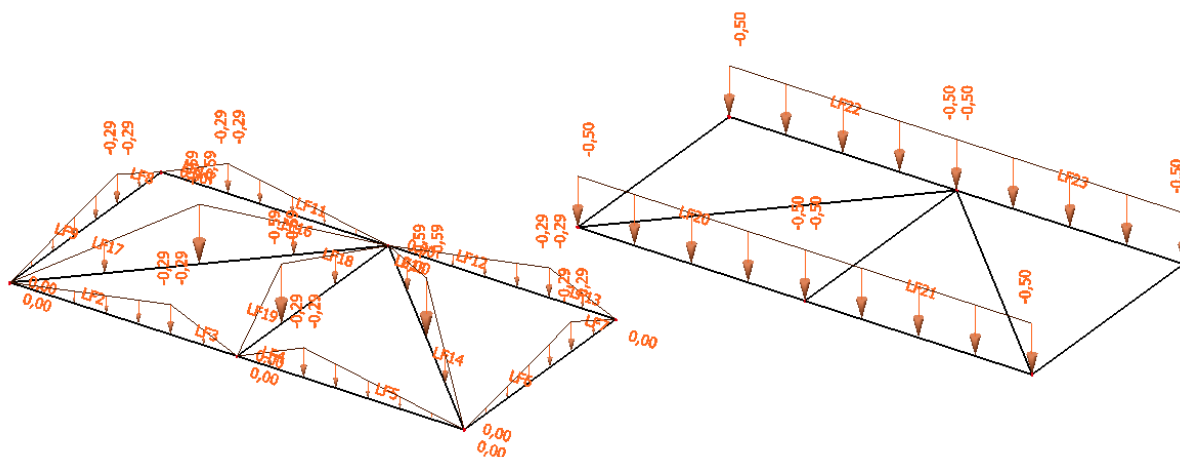
Jméno	Zatížení	Vztah	Typ
LG1 Stálé	Stálé		
LG2 Náplň zásobníků	Proměnné	Společně	Kat E : sklady
LG3 Sníh	Proměnné	Výběrová	Sníh
LG4 Vitr	Proměnné	Výběrová	Vitr
LG5 Užité na plošinách	Proměnné	Standard	Kat E : sklady
LG6 Technologie	Proměnné	Standard	Kat E : sklady

Kategorie společně: Program Scia vybere vždy alespoň jeden zatěžovací stav z této skupiny

Kategorie výběrová: Program Scia vybere vždy pouze jeden zatěžovací stav z této skupiny

Při tvorbě zatížení je vhodné modelovat, jak budou kladeny podlahové pororošty. Protože jsou pororošty nosné pouze v jednom směru, je nutné při zadávání již tento poznatek zohlednit. Pro plošné zatížení se používá generátor rovinného zatížení.

Obrázek vlevo ukazuje nevhodné rozložení plošného zatížení na všechny pruty, obrázek vpravo ukazuje rozložení plošného zatížení v nosném směru pororoštu. Tímto návrhem eliminujeme chybu, kdy plošné zatížení může působit na nosníky, u kterých nepředpokládáme působení užitého zatížení nebo zatížení od pororoštů, (např. vodorovné ztužení plošin).



Obr. 4.1 Rozložení plošného zatížení na požadované nosníky

5 VÝSLEDKY A POSUDKY

Ocelová konstrukce byla posouzena podle normy ČSN EN 1993-1-1 na mezní stav použitelnosti a mezní stav únosnosti.

5.1 POSUDEK NA MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Pro mezní stav použitelnosti norma doporučuje hodnoty vodorovných a svislých průhybů následovně:

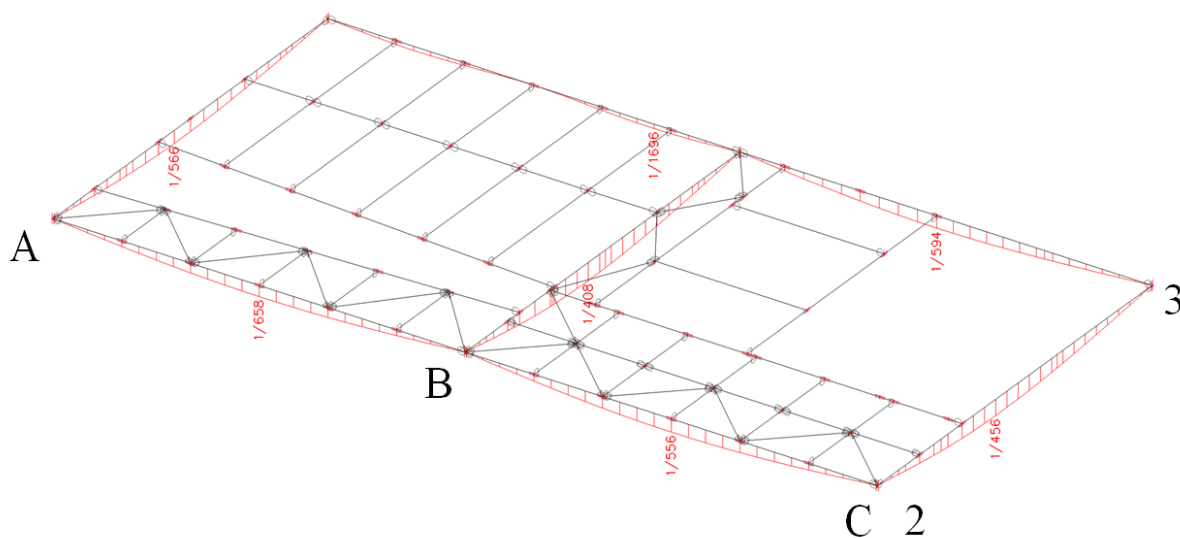
Pro svislé průhyby:

vaznice	$L/200$
vazníky	$L/250$
průvlaky průmyslových plošin	$L/400$
podlahové nosníky průmyslových plošin	$L/250$

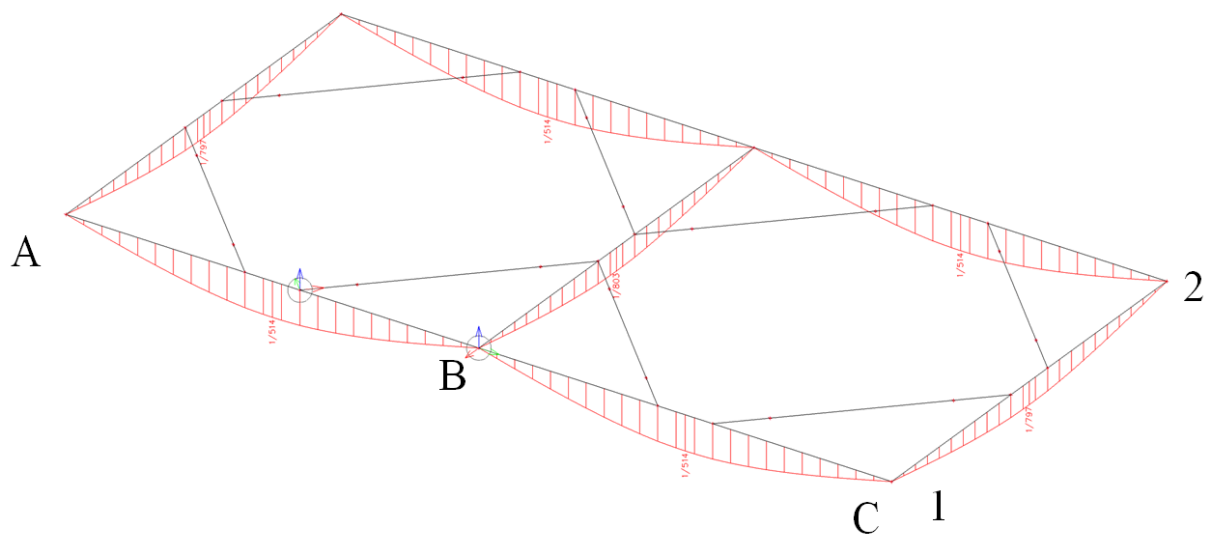
Pro vodorovné průhyby:

vrcholy sloupů v každém podlaží:	$h/300$	$h = \text{výška podlaží}$
pro konstrukci jako celek	$h_0/500$	$h_0 = \text{celková výška budovy}$

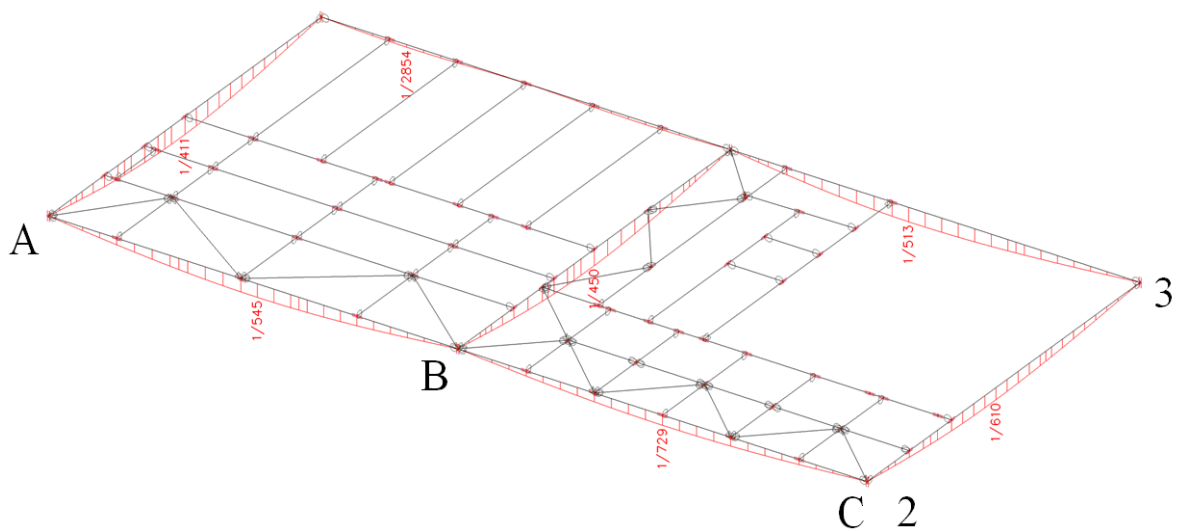
Pro názornost jsou svislé průhyby průvlaků zobrazeny obrázkem, pro ostatní nosníky je zvolena tabulka



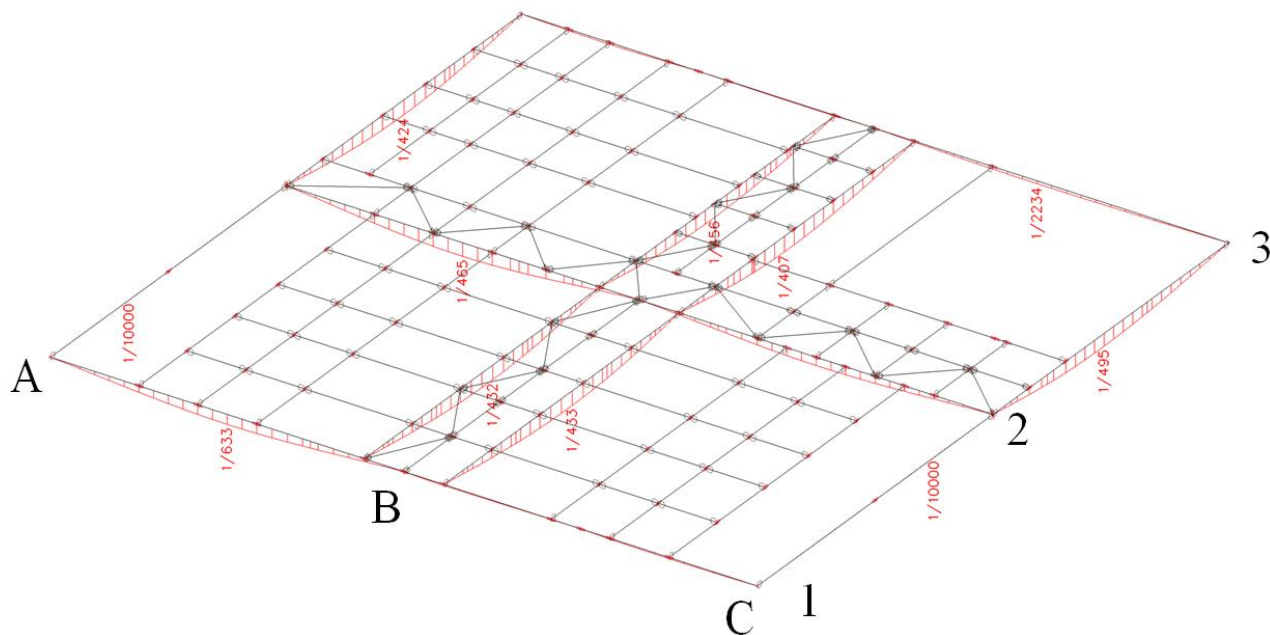
Obr. 5.1 Relativní průhyby průvlaků na plošině +3,600



Obr. 5.2 Relativní průhyby průvlaků na plošině +5,000



Obr. 5.3 Relativní průhyby průvlaků na plošině +7,300



Obr. 5.4 Relativní průhyby průvlaků na plošině +11,000

Průhyby plošinových nosníků jsou uvedeny v tabulce. Tabulky jsou pro přehlednost vytvářeny po plošinách s extrémem pro průřezy profilů.

Tab. 5.1 Relativní deformace nosníků na plošině +3,600

Stav - kombinace	Prvek	dx	uz	Rel uz	Posudek uz
		[m]	[mm]	[1/xx]	[-]
CO2/3	B64	2,587	-5,2	1/1162	0,17
CO2/11	B69	2,65	-10,3	1/580	0,34
CO2/3	B66	1,25	-1,8	1/1691	0,12
CO2/5	B66	3,25	-0,1	1/10000	0,01
CO2/3	B67	3	-10,4	1/578	0,35
CO2/3	B68	3	-8,7	1/688	0,29
CO2/3	B70	2,69	-4,5	1/1336	0,15
CO2/3	B71	3,135	-8,3	1/726	0,28
CO2/3	B657	1,105	-1,8	1/1198	0,17
CO2/3	B739	1	0	1/10000	0
CO2/3	B655	2,033	-3,1	1/1350	0,15
CO2/10	B659	3,005	-7,3	1/822	0,24
CO2/11	B659	3,005	-23,2	1/259	0,77
CO2/9	B668	1,934	-10,6	1/377	0,53
CO2/31	B662	3,819	0	1/10000	0
CO2/8	B668	1,934	-10,6	1/377	0,53
CO2/9	B1096	0,759	0	1/10000	0,01
CO2/5	B1094	1,446	0	1/10000	0

Tab. 5.2 Relativní deformace nosníků na plošině +5,000

Stav - kombinace	Prvek	dx	uz	Rel uz	Posudek uz
		[m]	[mm]	[1/xx]	[-]
CO2/8	B1310	3	-17,4	1/345	0,58
CO2/15	B76	3	-0,8	1,92	0,03
CO2/6	B84	3	-0,7	1,37	0,02

Tab. 5.3 Relativní deformace nosníků na plošině +7,300

Stav - kombinace	Prvek	dx	uz	Rel uz	Posudek uz
		[m]	[mm]	[1/xx]	[-]
CO2/3	B623	3,318	-21	1/285	0,7
CO2/5	B331	1,392	-4,6	1/1299	0,15
CO2/12	B333	3	-4,8	1/1247	0,16
CO2/3	B628	2,072	-7,6	1/546	0,37
CO2/5	B335	2,999	0,1	1/10000	0
CO2/12	B337	2,937	-3,6	1/1664	0,12
CO2/6	B627	0,928	-1,5	1/1279	0,16
CO2/11	B632	0,81	0	1/10000	0
CO2/3	B635	3	-11,6	1/517	0,39
CO2/10	B636	3	-32,7	1/184	0,95
CO2/3	B646	2,937	-14,3	1/421	0,48
CO2/9	B1216	1,427	0	1/10000	0
CO2/5	B1309	0,653	0,5	1,81	0,09

Tab. 5.4 Relativní deformace nosníků na plošině +11,000

Stav - kombinace	Prvek	dx	uz	Rel uz	Posudek uz
		[m]	[mm]	[1/xx]	[-]
CO2/23	B295	9,25	-12,5	1/479	0,42
CO2/19	B912	3	-20,1	1/298	0,78
CO2/3	B302	1,5	0	1/10000	0
CO2/5	B306	2	0	1/10000	0
CO2/3	B302	4,5	0	1/10000	0
CO2/5	B306	4	0	1/10000	0
CO2/3	B930	2,678	-10,2	1/585	0,34
CO2/13	B935	0,926	-0,2	1/10000	0,02
CO2/11	B1236	0,53	0	1/10000	0
CO2/17	B1236	0,662	0	1/10000	0
CO2/8	B1229	1,364	0	1/10000	0
CO2/5	B1272	0,699	0,1	1/10000	0,01
CO2/17	B1265	0,613	0,1	1/10000	0,01

Tab. 5.5 Relativní deformace nosníků na střeše

Stav - kombinace	Prvek	dx	uz	Rel uz	Posudek uz
		[m]	[mm]	[1/xx]	[-]
CO2/3	B14	2,85	-5,4	1/1115	0,18
CO2/5	B15	0,806	-1,8	1/3348	0,06
CO2/4	B863	3	-4	1/1490	0,13
CO2/7	B832	3	-13,1	1/458	0,44
CO2/5	B790	0,475	0	1/10000	0
CO2/3	B838	0,95	0	1/10000	0
CO2/2	B782	0	3,4	1/405	0,49
CO2/4	B786	0	3,3	1/416	0,48

Tab. 5.6 Relativní deformace nosníků na příhradovém vazníku

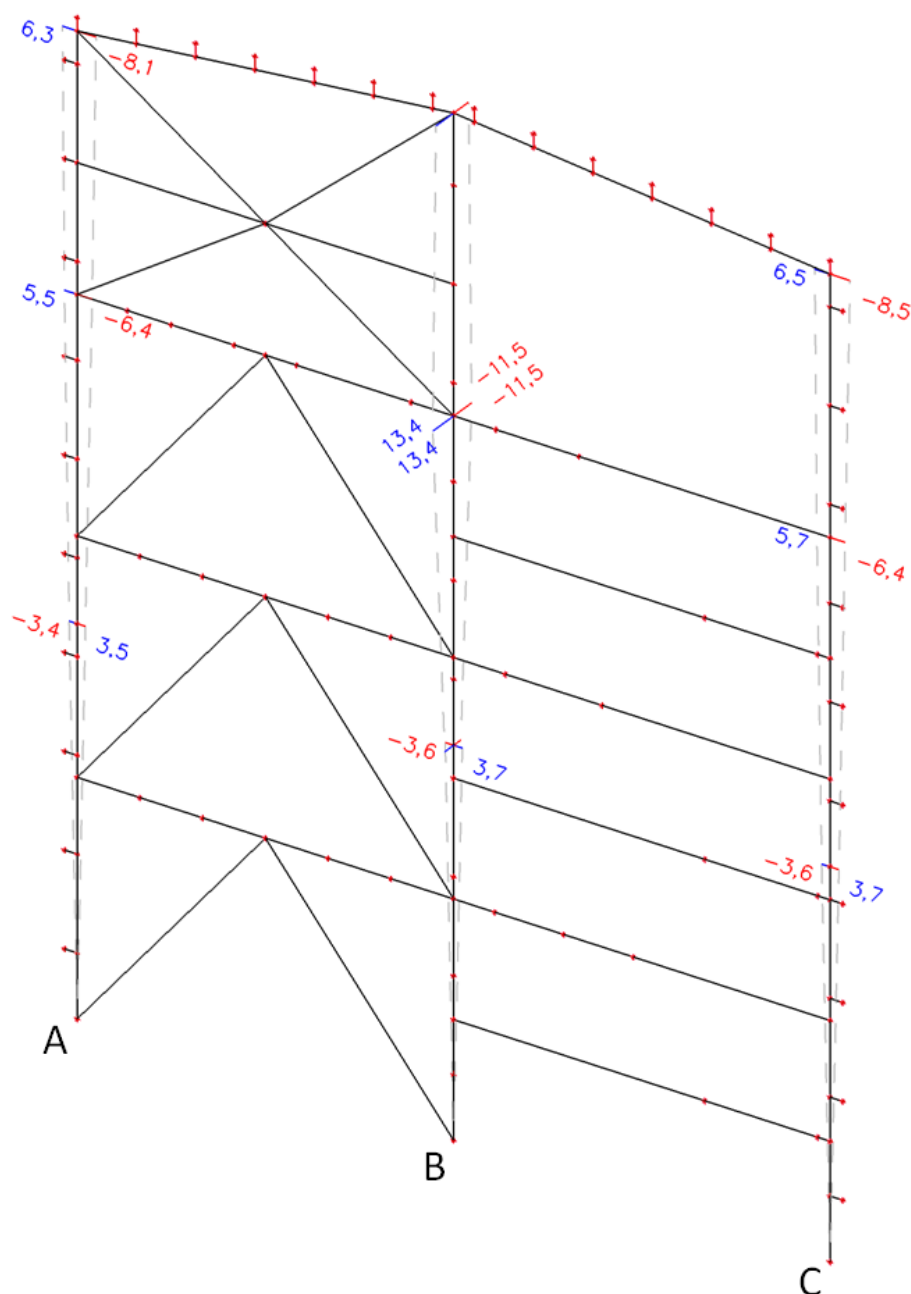
Stav - kombinace	Prvek	dx	uz	Rel uz	Posudek uz
		[m]	[mm]	[1/xx]	[-]
CO2/14	B13	4,605	-0,1	1/10000	0,01
CO2/7	B13	0,806	0	1/10000	0,01
CO2/4	B297	4,254	0	1/10000	0
CO2/23	B297	10,582	0	1/10000	0
CO2/23	B297	10,582	0	1/10000	0
CO2/6	B727	0,833	-0,3	1/6356	0,03
CO2/10	B1048	1,088	0	1/10000	0,01
CO2/3	B726	0,833	-0,2	1/7474	0,03
CO2/6	B1049	0,492	0	1/10000	0
CO2/5	B1050	0,56	0,1	1/10000	0,02
CO2/3	B1119	1,532	-1,6	1/976	0,2
CO2/5	B1116	1,532	2,9	1/530	0,38

Tab. 5.7 Relativní deformace nosníků pro zavětrování

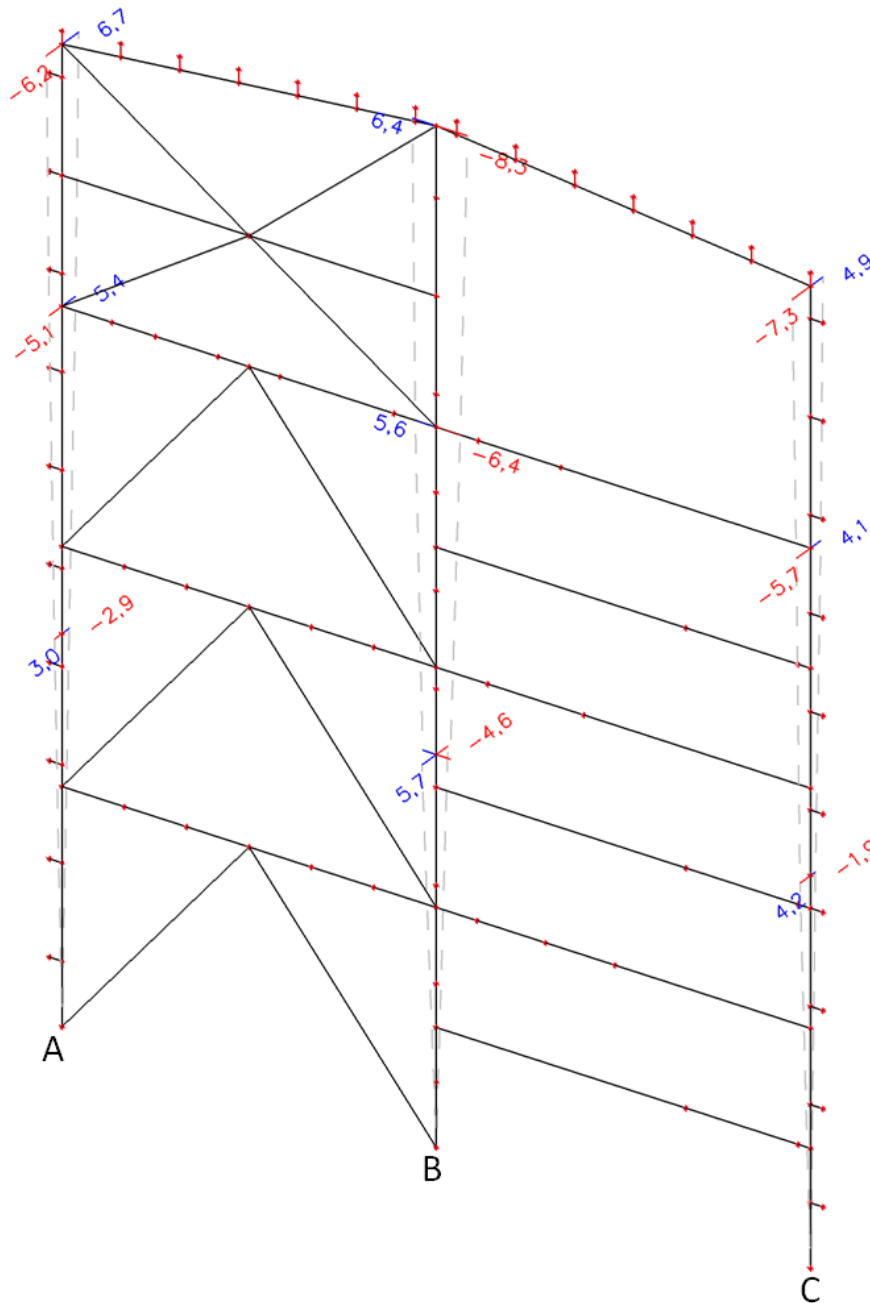
Stav - kombinace	Prvek	dx	uz	Rel uz	Posudek uz
		[m]	[mm]	[1/xx]	[-]
CO2/5	B577	2,369	-1,5	1/3075	0,07
CO2/5	B577	4,738	0	1/10000	0
CO2/5	B141	3,905	0	1/10000	0
CO2/7	B591	3,905	0	1/10000	0
CO2/3	B1075	1,75	0	1/10000	0
CO2/5	B150	2	0,2	1/10000	0,01
CO2/4	B330	2,75	-18	1/333	0,6
CO2/5	B588	2,25	0	1/10000	0
CO2/3	B1063	2,481	-5	1/796	0,25
CO2/5	B1063	2,233	-5	1/796	0,25
CO2/3	B567	2	-0,7	1/9142	0,02
CO2/5	B170	3	0,5	1/10000	0,02
CO2/5	B170	3	0,5	1/10000	0,02

Průhyby na jednotlivých prutech odpovídají doporučeným průhybům pro mezní stavy použitelnosti dle ČSN EN 1990. Uvedené průhyby jsou vyhovující i z hlediska bezpečného provozu navržené technologie.

Pro vykreslení maximálních deformací na sloupech byla vybrána řada 3, která vykazuje největší deformace. Z obrázků je zřejmé pootočení horní části prostředního sloupu tuhou osou kolmo ke stěně, tímto pootočením se zvýší únosnost sloupu. Sloup je ovšem nutné v měkké ose podepřít a zabránit vzpěru. Tímto podepřením lze považovat zavětrování v osách A-B.



Obr. 5.5 Deformace uz na sloupech v řadě 3

Obr. 5.6 Deformace u_y na sloupech v řadě 3

5.2 POSUDEK NA MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

Pro mezní stav únosnosti platí podmínka, kdy návrhová hodnota účinku zatížení v celém průřezu nesmí být větší, než návrhová únosnost posuzovaného průřezu.

Vzhledem k velkému množství prutů v konstrukci jsou výsledky uvedeny jako hodnoty extrému na použité průřezy profilů v daném výběru.

Tab. 5.8 Posudek oceli prvků na plošině +3,600

Stav	Prvek	css	dx	jed.posudek	pevnost	stab. posudek
			[m]	[-]	[-]	[-]
CO1/1	B64	CS53 - IPE270	1,856	0,57	0,41	0,57
CO1/2	B69	CS43 - HEA320	2,3	0,41	0,4	0,41
CO1/3	B66	CS17 - IPE160	0	0,33	0,18	0,33
CO1/4	B67	CS44 - IPE220	5	0,27	0,13	0,27
CO1/5	B68	CS4 - IPE200	1	0,21	0,1	0,21
CO1/6	B70	CS55 - HEB320	1,943	0,59	0,59	0,53
CO1/6	B71	CS14 - HEA240	3,135	0,8	0,78	0,8
CO1/7	B603	CS28 - IPE100	0,928	0,2	0,15	0,2
CO1/8	B655	CS8 - HEA200	1,309	0,85	0,85	0,81
CO1/9	B659	CS42 - HEA260	3,005	0,62	0,62	0,62
CO1/10	B668	CS13 - IPE140	2,176	0,42	0,35	0,42
CO1/11	B1102	CS3 - L60X6	0,682	0,16	0,16	0,14

Tab. 5.9 Posudek oceli prvků na plošině +5,000

Stav	Prvek	css	dx	jed.posudek	pevnost	stab. posudek
			[m]	[-]	[-]	[-]
CO1/12	B1310	CS7 - HEB500	2,6	0,95	0,91	0,95
CO1/12	B77	CS56 - HEB600	2,6	0,72	0,68	0,72
CO1/13	B84	CS32 - HEB800	3,4	0,99	0,87	0,99

Tab. 5.10 Posudek oceli prvků na plošině +7,300

Stav	Prvek	css	dx	jed.posudek	pevnost	stab. posudek
			[m]	[-]	[-]	[-]
CO1/14	B623	CS4 - IPE200	3,636	0,78	0,64	0,78
CO1/15	B333	CS42 - HEA260	3	0,43	0,41	0,43
CO1/16	B628	CS17 - IPE160	2,072	0,6	0,6	0,59
CO1/17	B337	CS8 - HEA200	1,48	0,25	0,17	0,25
CO1/18	B627	CS28 - IPE100	1,856	0,33	0,33	0,23
CO1/14	B635	CS52 - HEA280	1,856	0,43	0,36	0,43
CO1/19	B636	CS37 - HEA180	3	0,6	0,6	0,6
CO1/20	B646	CS44 - IPE220	6	0,52	0,12	0,52
CO1/21	B1223	CS3 - L60X6	1,098	0,99	0,23	0,99

Tab. 5.11 Posudek oceli prvků na plošině +11,000

Stav	Prvek	css	dx	jed.posudek	pevnost	stab. posudek
			[m]	[-]	[-]	[-]
CO1/14	B299	CS8 - HEA200	6	0,72	0,61	0,72
CO1/22	B912	CS2 - IPE180	3	0,87	0,81	0,87
CO1/23	B302	CS44 - IPE220	0	0,78	0,1	0,78
CO1/24	B748	CS14 - HEA240	6	0,77	0,73	0,77
CO1/25	B949	CS6 - IPE120	0	0,88	0,38	0,88
CO1/25	B1242	CS3 - L60X6	0,882	0,98	0,32	0,98

Tab. 5.12 Posudek oceli prvků použitých na střeše

Stav	Prvek	css	dx	jed.posudek	pevnost	stab. posudek
			[m]	[-]	[-]	[-]
CO1/36	B15	CS38 - IPE240	0	0,85	0,77	0,85
CO1/37	B863	CS17 - IPE160	3	0,89	0,48	0,89
CO1/42	B850	CS6 - IPE120	0	0,19	0,14	0,19
CO1/43	B843	CS3 - L60X6	0	0,33	0,14	0,33

Tab. 5.13 Posudek oceli prvků použitých na zavětrování

Stav	Prvek	css	dx	jed.posudek	pevnost	stab. posudek
			[m]	[-]	[-]	[-]
CO1/26	B579	CS33 - RO101.6X6.3	0	0,97	0,34	0,97
CO1/27	B1075	CS5 - U200	3	0,08	0,05	0,08
CO1/28	B329	CS4 - IPE200	2	0,74	0,55	0,74
CO1/29	B575	CS23 - RO88.9X5.6	0	0,95	0,27	0,95
CO1/7	B567	CS34 - U160	1	0,14	0,06	0,14

Tab. 5.14 Posudek oceli příhradový vazník

Stav	Prvek	css	dx	jed.posudek	pevnost	stab. posudek
			[m]	[-]	[-]	[-]
CO1/30	B12	CS47 - 2LT	2,85	0,49	0,23	0,49
CO1/31	B297	CS25 - 2LT	2,836	0,46	0,46	0,13
CO1/32	B726	CS49 - 2LT	0	0,9	0,32	0,9
CO1/33	B1050	CS26 - 2LT	0	0,66	0,66	0
CO1/34	B1119	CS3 - L60X6	0	0,2	0,07	0,2

Tab. 5.15 Posudek oceli sloupy

Stav	Prvek	css	dx	jed.posudek	pevnost	stab. posudek
			[m]	[-]	[-]	[-]
CO1/27	B6	CS1 - HEB400	1	0,3	0,27	0,3
CO1/44	B5	CS7 - HEB500	0	0,51	0,39	0,51
CO1/35	B583	CS46 - HEA180	0	0,87	0,36	0,87
CO1/1	B1069	CS45 - HEB200	2,5	0,44	0,33	0,44
CO1/40	B1303	CS50 - HEA140	2	0,54	0,34	0,54
CO1/41	B1301	CS51 - HEA160	0	0,95	0,76	0,95

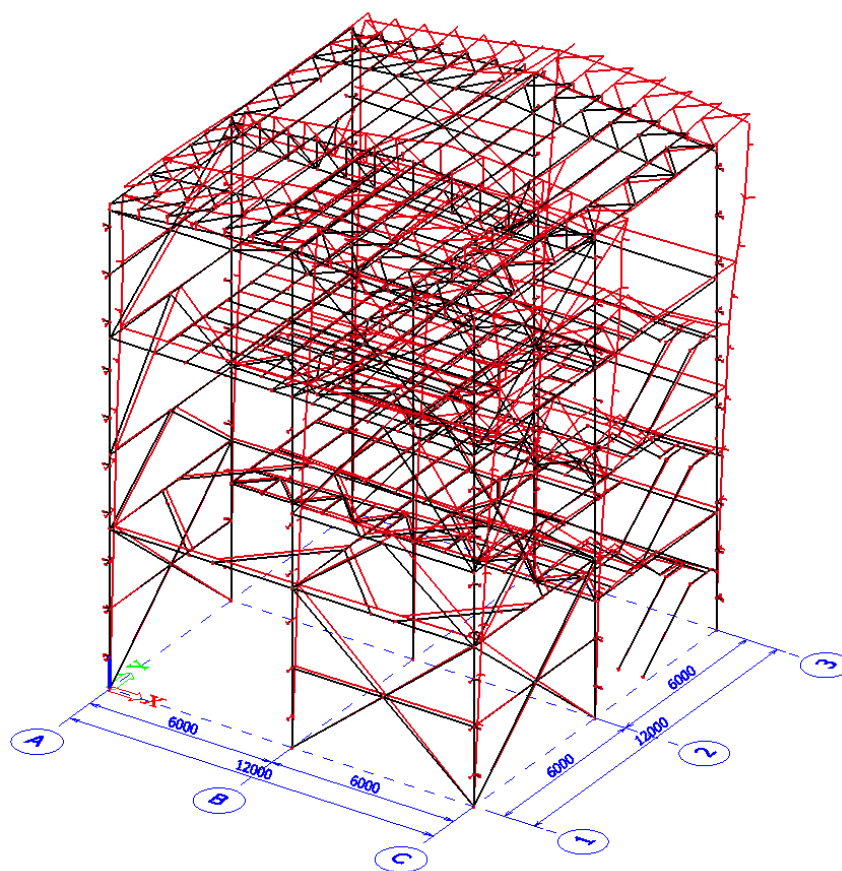
6 VLASTNÍ TVARY KMITÁNÍ

Posuzovaná konstrukce je ocelový prostorový skelet o půdorysném rozměru 12,0m x 12,0 m a výšce v hřebeni 15,8m. V přední části jsou ve výšce +5,0m osazeny dva zásobníky o kapacitě 200t písku. V zadní části jsou dvě technologické plošiny ve výšce +3,6m a +7,3. Třetí plošina je v celém půdorysném rozměru ve výšce +11,000. Na této plošině je umístěn vibrační třídič s pracovní frekvencí 15Hz, který má vlastní ocelovou konstrukci, která je připevněna na konstrukci plošiny.

Pro zjištění vlastních tvarů kmitání jsou navrženy dvě kombinace skupin hmot. První skupina je vlastní tíha a stálé zatížení, druhá skupina je doplněna o náplň v technologických zařízeních a v zásobnících.

Tab. 6.1 Tabulka skupin hmot pro dynamickou analýzu

Jméno	Skupina hmot	Souč. [-]
CM1	MG1 - Vlastní tíha	1,00
	MG2 - Stálé zatížení	1,00
CM2	MG1 - Vlastní tíha	1,00
	MG2 - Stálé zatížení	1,00
	MG3 - Náplň v technologii	1,00



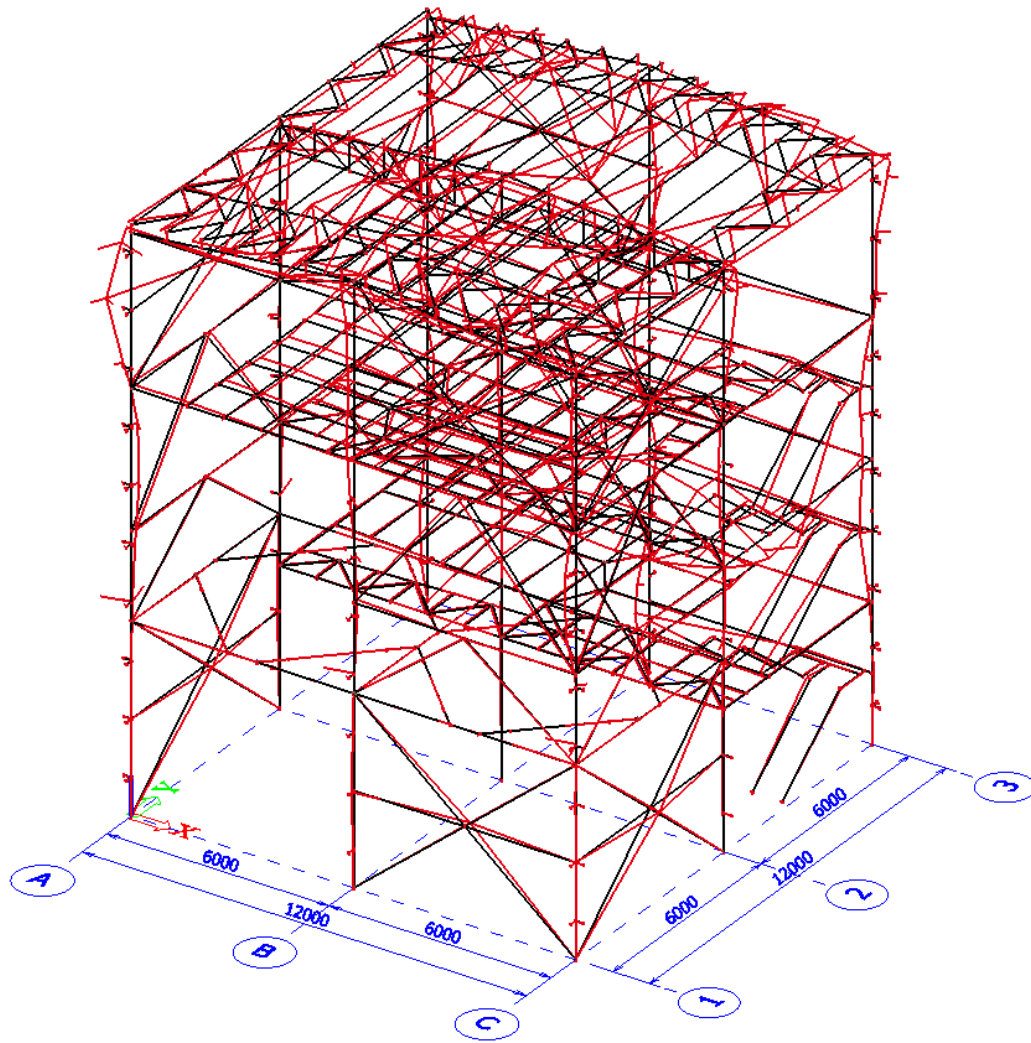
Obr. 6.1 Deformovaná konstrukce při vlastní frekvenci 0,64 Hz CM1

Tab. 6.2 Hodnoty vlastním frekvencí pro CM1

N	f	omega	omega ²	T
	[Hz]	[1/s]	[1/s ²]	[s]
1	0,64	4,01	16,06	1,57
2	0,64	4,01	16,06	1,57
3	0,64	4,01	16,06	1,57
4	2,42	15,22	231,58	0,41
5	2,78	17,48	305,62	0,36
6	2,85	17,9	320,26	0,35
7	3,1	19,45	378,28	0,32
8	3,18	19,96	398,42	0,31
9	3,21	20,14	405,72	0,31
10	3,29	20,66	426,88	0,3
119	14,75	92,67	8588,09	0,07
120	14,76	92,72	8597,39	0,07
121	14,84	93,24	8693,16	0,07
122	14,91	93,7	8779,71	0,07
123	15,13	95,08	9039,49	0,07
124	15,2	95,52	9124,31	0,07
125	15,23	95,71	9161,24	0,07
126	15,25	95,83	9182,78	0,07

Tab. 6.3 Hodnoty vlastním frekvencí pro CM2

N	f	omega	omega ²	T
	[Hz]	[1/s]	[1/s ²]	[s]
1	0,64	4,01	16,06	1,57
2	0,64	4,01	16,06	1,57
3	0,64	4,01	16,06	1,57
4	1,59	10	99,96	0,63
5	1,95	12,24	149,86	0,51
6	2,28	14,35	205,91	0,44
7	2,42	15,21	231,47	0,41
8	2,78	17,48	305,61	0,36
9	2,81	17,65	311,59	0,36
10	2,86	17,96	322,47	0,35
143	14,62	91,84	8434,31	0,07
144	14,75	92,69	8590,8	0,07
145	14,88	93,49	8740,98	0,07
146	15,07	94,65	8959,43	0,07
147	15,2	95,52	9123,23	0,07
148	15,22	95,61	9140,39	0,07
149	15,28	96,02	9219,32	0,07
150	15,31	96,18	9250,18	0,07



Obr. 6.2 Deformovaná konstrukce při vlastní frekvenci 15,07 Hz CM2

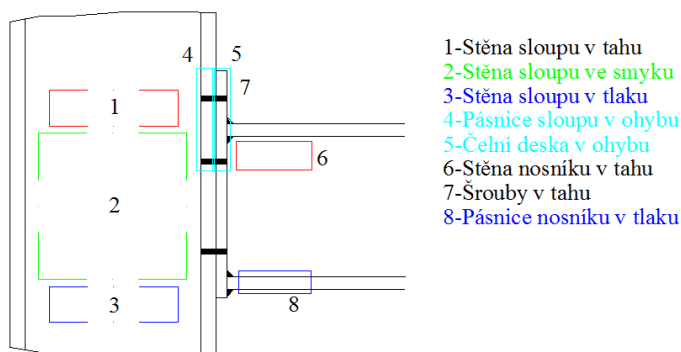
Z výsledků je patrné, že hmotnost náplně ovlivní vlastní frekvence přibližně od 6-té frekvence. Vlastní tvary kmitání se blíží pracovní frekvenci stroje přibližně kolem 130-tého vlastního tvaru, kdy by mohlo dojít k rezonanci a chvění konstrukce.

Vzhledem k tomuto zjištění lze konstatovat, že průhyby od vlastních tvarů kmitání jsou tak malé, že lze účinky od dynamického zatížení zanedbat.

7 POSOUZENÍ STYČNÍKŮ

Poslední kapitola diplomové práce se zabývá posouzením několika typových styčnicků.

Styčnický jsou posouzeny novou metodou CBFEM, která používá k posouzení metodu MKP, místo metody komponent, kdy se celý styčník rozdělil na soustavu vzájemně propojených prvků, tzv. komponent a každá komponenta se posuzuje samostatně pomocí příslušných vzorců.

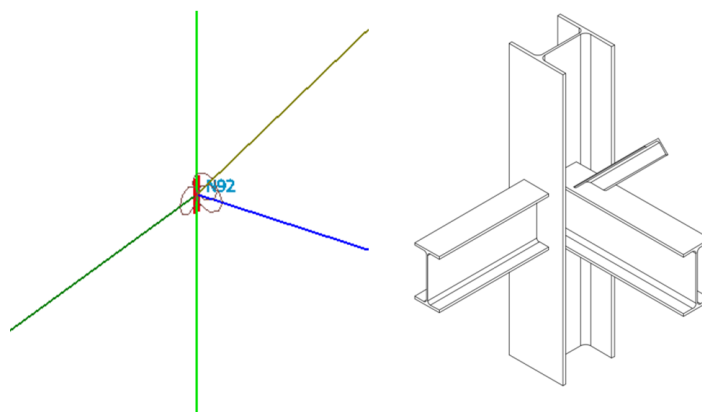


Obr. 7.1 Rozdělení styčnicku na jednotlivé komponenty

Při vytváření CBFEM modelu se všechny plechy modelují pomocí tenkých desek, které lze jednoduše posoudit metodou MKP. Pomocí tenkých desek se modelují i jednotlivé části nosníku (pásnice a stojina). Z hlediska výpočtu jsou nejsložitější částí styčnicku šrouby a svary, pro tyto spojovací prostředky byly vyvinuty speciální MKP komponenty.

7.1 MODELOVÁNÍ STYČNÍKU METODOU CBFEM

Při modelování styčnicku, je nutné vytvořit model, který se co nejvíce rovná skutečnému styčníku při realizaci. V CBFEM metodě se používají pruty o délce 2-3 násobku jeho největšího rozměru a tyto pruty se rozdělí na jednotlivé desky.



Obr. 7.2 Výpočtový styčník a skutečně navržený styčník

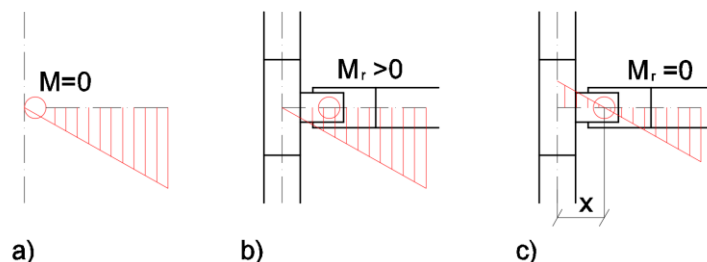
Program IDEA RS umožňuje pro posouzení styčnicků zvolit ze dvou režimů zadání sil. V obou případech se síly a momenty, na které posuzujeme styčnick zadávají na konec modelu. Každý styčník musí být v rovnováze, pokud ale posuzujeme jednodušší styčníky, tento požadavek není úplně nutný. Ve styčníku je vždy jeden prvek hlavní (nosný prvek) a ostatní prvky jsou k tomuto prvku připojeny. Pokud nás zajímá pouze připojení nenesených prvků, není nutné rovnováhu řešit

Zjednodušený režim (nevyrovnaný styčník) v tomto režimu se zadávají síly pouze na připojený prut, nosný prvek je na obou koncích podepřen a zatížení se na něho nezadává.

Pokročilý režim (vyrovnaný styčník) Nosný prvek je podepřený na jednom konci a zatížení se zadává na všechny prvky ve styčníku. Tento prvek je nutné uvést do rovnováhy.

Pro návrh styčnicků byl vybrán zjednodušený režim.

Programy MKP počítají s modelem, kdy je styčník v průřezu průběžného profilu a připojovaného profilu. V praxi tento případ není možný, protože každý spoj je posunutý od průřezu a v tomto místě na něho působí jiné síly, než které jsou ve výpočtovém styčníku. U tuhých přípojů není tento stav tak důležitý, ale v případě kloubového přípoje může být tento stav zcela zásadní pro dimenzování styčnicku.



Obr. 7.3 Pozice kloubu a průběh momentů

U výpočtového modelu je kloub na průřezu os (obr. 7.4a), v případě realizace styčnicku přes praporek bude kloub posunutý od průřezu o vzdálenost závislou na typu přípoje. V tento okamžik již bude kloub přenášet moment, který je v tomto přípoji nežádoucí (obr.7.4b). Program IDEA Connections umožňuje při řešení styčnicku posunout křivku vnitřních sil tak, aby v místě myšleného kloubu nebyly žádné momenty. (obr.7.4c)

7.2 VNITŘNÍ SÍLY VE STYČNÍKU

Pro posouzení styčnicku je nutné v programu SCIA Engineer najít takové kombinace, ve kterých jsou maximální a minimální vnitřní síly.

7.2.1 Postup pro připojení jednoho prutu:

Zatěžovací impulsy pro posouzení styčnicku lze získat jako koncové účinky prutů z programu SCIA pro daný styčník. Pro získání koncových účinků šikmého prutu je nutné otočit USS dle entit prutu a v zadání přípoje se odkázat na natočený USS. Program sám najde extrémy pro uzel včetně kombinací ve kterých extrémy vznikly.

Tab. 7.1 Extrémy na styčnicku na MSU

Přípoj

Lineární výpočet, Extrém : Uzel

Výběr : FC6

Třída : Všechny MSU

Stav	Přípoj	Uzel	Nosníky	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
CO1/28	FC6	N146	B108	-32,26	-0,02	13,28	0,06	0,00	0,11
CO1/42	FC6	N146	B108	-3,86	-0,01	1,14	-0,01	0,00	-0,02
CO1/43	FC6	N146	B108	-28,53	-0,03	11,68	0,03	0,00	0,05
CO1/44	FC6	N146	B108	-6,26	0,03	2,26	0,07	0,00	0,16
CO1/45	FC6	N146	B108	-16,12	-0,03	6,84	-0,01	0,00	-0,03
CO1/46	FC6	N146	B108	-18,67	0,03	7,10	0,11	0,00	0,23
CO1/47	FC6	N146	B108	-18,97	-0,02	8,17	0,02	0,00	0,05

Tyto síly se v programu Idea Connections zanesou do tabulky zatížení. Je nutné dbát na znaménka u jednotlivých hodnot, aby síly byly zadány tak, jak ve skutečnosti působí.

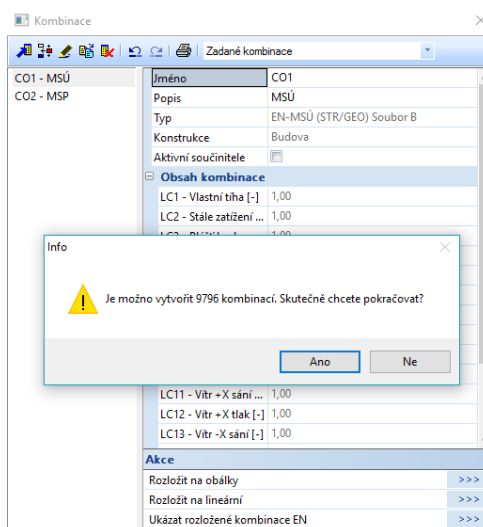
7.2.2 Postup pro připojení několika prutů do styčnicku

U styčnicku, do kterého se připojuje více prutů se postupuje stejně jako v předešlé kapitole. Musí se najít extrémy vnitřních sil na každém prutu. Komplikace nastává v případě, že pruty mají extrémy v jiné kombinaci. Pro optimální návrh je tedy nutné najít na ostatních prutech vnitřní síly, které působí ve stejné kombinaci, jako extrémy pro zvolený prut. V tomto případě již program Scia nedokáže rychle najít požadované kombinace, protože se často jedná o kombinace, kdy na prutu jsou malé, nebo žádné vnitřní síly.

Pro nalezení kombinací existují dvě možné řešení.

1. řešení

Kombinace, které si program Scia vygeneruje sám lze rozložit na lineární, model znovu spočítat, vygenerovat dokument a najít hledanou kombinaci a vnitřní síly v této kombinaci. Tento způsob je však velmi zdoluhavý, protože může obsahovat několik tisíc kombinací. V případě této diplomové práce se jedná o 9796 kombinací a vygenerovat tabulku je prakticky nemožné.



Obr. 7.4 Počet kombinací při rozložení na lineární

2. řešení

Druhý způsob řešení je jednodušší, protože odpadá složité vyhledávání vnitřních sil od kombinací. V klíči kombinací se najde z jakých zatěžovacích stavů a jejich redukčních součinitelů je hledaná kombinace složena a na základě jejího složení si vytvořit stejnou lineární kombinaci. Při následném vykreslení vnitřních sil si můžeme nechat vykreslit jen síly od této kombinace.

V případě styčnicku N146 je maximální normálová síla (tlak) v kombinaci CO1/28. Zatěžovací stavy a jejich součinitele pro tuto kombinaci uvádí tabulka 7.2.

Tab. 7.2 Zatěžovací stavy v kombinaci a jejich součinitele pro kombinaci CO1/28

Zatěžovací stav	součinitel
LC1 - Vlastní tíha	1,35
LC2 - Stále zatížení	1,35
LC3 - Plášť budovy	1,35
LC4 - Užité na plošinách	1,5
LC5 - Technologie náplň	1,5
LC6 - Zásobníky prázdný/plný	1,5
LC7 - Zásobníky plný/prázdný	1,5
LC8 - Sníh plný	0,75
LC16 - Vítr +Y tlak	0,9

Dle tabulky 7.2 je sestavena lineární kombinace včetně součinitelů k danému zatěžovacímu stavu a z této kombinace jsou vykresleny vnitřní síly.

Tab. 7.3 Extrémy na styčnicku od kombinace CO1/28

Přípoj

Lineární výpočet, Extrém : Uzel

Výběr : FC6

Kombinace : CO1/28

Stav	Přípoj	Uzel	Nosníky	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
CO1/28/1	FC6	N146	B108	-32,26	-0,02	13,28	0,06	0,00	0,11

Z tabulky je zřejmé, že normálová síla je stejná jako extrém, který vygeneroval program dle MSU.

Tímto způsobem lze najít všechny vnitřní síly na prvcích, vzhledem k ostatním extrémům a na tyto hodnoty posoudit navrhovaný styčnick.

Návrhy styčnicků jsou optimalizovány na co nejmenší výrobní náklady. Jednou z největších položek při výrobě ocelových konstrukcí jsou náklady na svařování. Proto jsou některé styčnický navrženy přes přípojný úhelník, místo obvyklejší a montážně složitější čelní desky.

Pro posouzení byly vybrány tyto styčníky:

- 1 Kotvení sloupu styčník N9
- 2 Kotvení sloupu styčník N13
- 3 Přípoj průvlaků do sloupu styčník N90
- 4 Přípoj průvlaků do sloupu styčník N92
- 5 Přípoj stropnice do průvlaku styčník N102
- 6 Přípoj stropnice do průvlaku styčník N1087
- 7 Přípoj stropnice do průvlaku styčník N1477
- 8 Přípoj stropnice do průvlaku styčník N953
- 9 Přípoj stropnice do průvlaku styčník N1390
- 10 Přípoj vazníku do sloupu styčník N19
- 11 Přípoj vazníku do sloupu styčník N24
- 12 Přípoj vazníku do sloupu styčník N25
- 13 Přípoj ztužidla styčník N861
- 14 Přípoj ztužidla styčník N855
- 15 Přípoj schodnice do průvlaku styčník N125

8 ZÁVĚR

Předložená práce popisuje návrh a posouzení ocelové konstrukce průmyslové budovy pro třídění sklářských písků. Budova byla navržena s ohledem na použitou technologii. Z ní vychází použitý ocelový skelet, umístění technologických plošin i zásobníků písků. Z těchto požadavků vycházelo stálé a užitné zatížení. Klimatická zatížení vycházela z předpokládaného umístění budovy v blízkosti Velkého Meziříčí.

Konstrukce budovy byla iteračně optimalizována tak, aby byla co nejlehčí a zároveň vyhověla požadavkům provozu. Pro analýzu prostorového rámu byl použit program SCIA Engineer, pro posouzení styčníků potom program IDEA RS.

Námět práce, parametry technologie i způsob řešení konstrukce vycházejí z mojí profese projektanta pískoven a štěrkoven. V rámci diplomové práce jsem si zkusil navrhnout a posoudit průmyslový objekt tohoto druhu. Tomuto oboru se budu věnovat ve své další činnosti, proto pro mě byla práce na toto téma cennou zkušeností.

9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] PIRNER, Miroš a Ondřej FISCHER. *Dynamika ve stavební praxi*. Praha: ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87438-18-3.
- [2] 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: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009. Technická knihnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87093-86-3.
- [3] LORENZ, Karel. *Navrhování nosných konstrukcí*. Praha: ČKAIT, 2015. ISBN 978-80-87438-65-7.
- [4] HOLICKÝ, Milan a Jana MARKOVÁ. *Zásady navrhování stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1990*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2007. Technická knihnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 978-80-87093-27-6.
- [5] HOLICKÝ, Milan, Jana MARKOVÁ a Miroslav SÝKORA. *Zatížení stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1991*. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knihnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87093-89-4.
- [6] ČSN-EN 1993-1-8. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, 2008, 56 stran.
- [7] ČSN-EN 1993-1-1. *Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [8] ČSN-EN 1991. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [9] ČSN-EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2004.

Seznam použitých programů

- [P1] Scia Engineer, verze programu 16.0.108 – software pro výpočet konstrukcí pomocí metody konečných prvků
- [P2] IDEA StatiCa, verze programu 7.1.7.41261 – software pro posouzení styčníků
- [P3] AutoCAD, verze programu 2016 – software pro konstruování a projektování ve 2D a 3D
- [P4] AdvanceSteel, verze programu 2016 – software pro projektování ocelových konstrukcí ve 3D

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Seznam zatěžovacích stavů	16
Tab. 3.2 Zatěžovací údaje od konstrukcí.....	17
Tab. 3.3 Zatěžovací údaje od technologie.....	17
Tab. 3.4 Zatěžovací údaje od technologie.....	22
Tab. 3.5 Tabulka zatížení pro svislé stěny do výšky 12,0m.....	25
Tab. 3.6 Tabulka zatížení pro svislé stěny od výšky 12,0m do výšky 15,8m.....	25
Tab. 3.7 Tabulka zatížení pro střechu	26
Tab. 4.1 Skupiny zatížení.....	28
Tab. 5.1 Relativní deformace nosníků na plošině +3,600.....	31
Tab. 5.2 Relativní deformace nosníků na plošině +5,000.....	32
Tab. 5.3 Relativní deformace nosníků na plošině +7,300.....	32
Tab. 5.4 Relativní deformace nosníků na plošině +11,000.....	32
Tab. 5.5 Relativní deformace nosníků na střeše.....	33
Tab. 5.6 Relativní deformace nosníků na příhradovém vazníku.....	33
Tab. 5.7 Relativní deformace nosníků pro zavětrování	33
Tab. 5.8 Posudek oceli prvků na plošině +3,600	36
Tab. 5.9 Posudek oceli prvků na plošině +5,000	36
Tab. 5.10 Posudek oceli prvků na plošině +7,300	36
Tab. 5.11 Posudek oceli prvků na plošině +11,000	36
Tab. 5.12 Posudek oceli prvků použitých na střeše	37
Tab. 5.13 Posudek oceli prvků použitých na zavětrování.....	37
Tab. 5.14 Posudek oceli příhradový vazník	37
Tab. 5.15 Posudek oceli sloupy.....	37
Tab. 6.1 Tabulka skupin hmot pro dynamickou analýzu	38
Tab. 6.2 Hodnoty vlastním frekvencí pro CM1	39
Tab. 6.3 Hodnoty vlastním frekvencí pro CM2	39
Tab. 7.1 Extrémy na styčnicku na MSU	43
Tab. 7.2 Zatěžovací stavy v kombinaci a jejich součinitele pro kombinaci CO1/28.....	44
Tab. 7.3 Extrémy na styčnicku od kombinace CO1/28	44

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Průmyslový objekt	11
Obr. 2.2 Přípoj trubkového zavětrování	13
Obr. 2.3 Přípoj vodorovného zavětrování	13
Obr. 2.4 Detail přechycení stěnového panelu pod vaznicí	14
Obr. 2.5 Detail zavěšení stěnového paždíku	14
Obr. 3.1 Reakce od vlastní tíhy dopravníku na plošině +11,000	17
Obr. 3.2 Schéma stálého zatížení na plošině +3,600	18
Obr. 3.3 Schéma stálého zatížení na plošině +5,000	18
Obr. 3.4 Schéma stálého zatížení na plošině +7,300	19
Obr. 3.5 Schéma stálého zatížení na plošině +11,000	19
Obr. 3.6 Zatížení od stěnového a střešního pláště	20
Obr. 3.7 Užité zatížení na plošině +3,600	20
Obr. 3.8 Užité zatížení na plošině +7,300	21
Obr. 3.9 Užité zatížení na plošině +11,000	21
Obr. 3.10 Náplň technologie na plošině +3,600	22
Obr. 3.11 Náplň technologie na plošině +7,300	23
Obr. 3.12 Náplň technologie na plošině +11,000	23
Obr. 3.13 Náplň technologie na plošině +11,000	24
Obr. 3.14 Náplň technologie na plošině +11,000	24
Obr. 3.15 Zobrazení tlaku na povrch stěn v závislosti na směru větru; řez v půlce budovy ...	26
Obr. 3.16 Podélný pohled s reakcí od hmotnosti potrubního mostu	27
Obr. 3.17 Řez potrubním mostem s reakcemi od účinku větru	27
Obr. 4.1 Rozložení plošného zatížení na požadované nosníky	28
Obr. 5.1 Relativní průhyby průvlaků na plošině +3,600	29
Obr. 5.2 Relativní průhyby průvlaků na plošině +5,000	30
Obr. 5.3 Relativní průhyby průvlaků na plošině +7,300	30
Obr. 5.4 Relativní průhyby průvlaků na plošině +11,000	31
Obr. 5.5 Deformace uz na sloupech v řadě 3	34
Obr. 5.6 Deformace uy na sloupech v řadě 3	35
Obr. 6.1 Deformovaná konstrukce při vlastní frekvenci 0,64 Hz CM1	38
Obr. 6.2 Deformovaná konstrukce při vlastní frekvenci 15,07 Hz CM2	40
Obr. 7.1 Rozdělení styčnicku na jednotlivé komponenty	41
Obr. 7.2 Výpočtový styčnick a skutečně navržený styčnick	41

Obr. 7.3	Pozice kloubu a průběh momentů	42
Obr. 7.4	Počet kombinací při rozložení na lineární.....	43

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

μ_i ...	tvarový součinitel zatížení sněhem [-]
c_e ...	součinitel expozice [-],
c_t ...	tepelný součinitel [-],
s_k ...	charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi [kNm^{-2}]
h ...	výška podlaží [m]
h_0 ...	celková výška budovy [m]
f ...	frekvence [Hz]
ω ...	vlastní kruhová frekvence [s^{-1}]
V ...	smyková síla ve směru lokální osy [kN]
M ...	ohybový moment kolem lokální osy [kNm]
z_0 ...	parametr drsnosti terénu [m]
z_{\min} ...	minimální výška [m]
z_e ...	referenční výška nad úrovní terénu [m]
k_r ...	součinitel terénu [-]
c_r ...	součinitel drsnosti [-]
c_0 ...	součinitel orografie [-]
k_l ...	součinitel turbulence [-]
ρ ...	měrná hmotnost vzduchu [kgm^{-3}]
$q_{p(z)}$...	maximální dynamický tlak [kNm^{-2}]
k_l ...	součinitel turbulence [-]
k_l ...	součinitel turbulence [-]
c_{dir} ...	součinitel směru větru [-]
c_{season} ...	součinitel ročního období [-]
v_b ...	základní rychlost větru [ms^{-1}]
c_{pe} ...	součinitel vnějšího tlaku [-]
c_{pi} ...	součinitel vnitřního tlaku [-]

SEZNAM PŘÍLOH

- P1. Pohledy na konstrukci
- P2. Podrobný výpočet zatížení větrem
- P3. Návrh a posouzení styčníků
- P4. Technologická část

SUMMARY

Presented thesis describes design and assessment of steel construction of the industrial building used to glass sand treatment. The building was designed with respect to used technology. Based on it was designed the steel frame and disposition of the technological platforms and silos for sand. Based on these requirements was determined steady and functional load. Used climatic loads were based on predicted building location in town Velké Meziříčí.

Building construction was iteratively optimized to be as lightest as possible and simultaneously satisfy the requirements of manufacturing process. For the spaceframe analysis was used the software SCIA Engineer, for the joints assessment software IDEA RS.

Thesis topic, technological parameters and the way of solution is based on my profession of designer of sand and gravel quarries. In the context of master's thesis, I have tried to design and assess the industrial object of this kind. I will continue with this subject in my further work. For this reason was my thesis the valuable experience to me.