VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

NOSNÁ OCELOVÁ KONSTRUKCE ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY

STEEL STRUCTURE OF THE OFFICE BUILDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE — BC. MARTIN RUČEK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. LUKÁŠ HRON
SUPERVISOR

BRNO 2015

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Martin Ruček
Název	Nosná ocelová konstrukce administrativní budovy
Vedoucí diplomové práce	Ing. Lukáš Hron
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2014
Datum odevzdání diplomové práce	16. 1. 2015

V Brně dne 31. 3. 2014

.....
doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

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

Podklady a literatura

Platné normy pro určení účinků zatížení a pro navrhování ocelových konstrukcí:
ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.
ČSN EN 1991-1-3 Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem.
ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem.
ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků.

Zásady pro vypracování

V rámci této práce bude vypracována nosná ocelová konstrukce administrativní budovy s půdorysnými rozměry 24 x 36 m a výškou do 14 m.
Pro určení klimatického zatížení bude uvažována obec Olomouc.
Při návrhu nosné konstrukce budou splněny architektonické a dispoziční požadavky.

Požadované výstupy:
Technická zpráva.
Statický výpočet hlavních nosných částí konstrukce.
Výkresová dokumentace v rozsahu stanoveném vedoucím práce.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....

Ing. Lukáš Hron
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt
Tato práce se zabývá návrhem hlavní nosné ocelové konstrukce čtyřpodlažní administrativní budovy o půdorysných rozměrech 36 x 24 m. Střechu objektu představuje zborcená plocha. Nosná konstrukce budovy sestává z šesti hlavních příčných vazeb tvořených příhradovými sloupy a zakřivenými prostorovými příhradovými vazníky. Konstrukci podlaží tvoří ocelové příčné rámy se spřaženou železobetonovou deskou. Vnější tvar povrchu střechy budovy je dán zborcenou plochou. Opláštění budovy je tvořeno hliníkovým fasádním systémem s podružnými nosnými prvky.

Klíčová slova
Ocelová konstrukce, administrativní budova, zakřivený prostorový příhradový vazník, spřažená vaznice, táhlo, zborcená plocha, hyperbolický paraboloid.

Abstract
Main concern of the thesis is a structural design of main load bearing elements of steel, four-storey high administration building. Designed building has 36 m long and 24 m wide rectangular footprint. Roof is shaped into a hyperbolic paraboloid surface. Main load bearing structure is consisting of six main cross sections formed by truss columns, and generally curved roof truss beams, accompanied by storey supporting frames with composite slabs. Overall shape of the roof is defined by warped surface. Cladding of the building is consisting of aluminium facade system.

Keywords
Steel structure, administration building, spatial truss beam, composite purlin, tie, warped surface, hyperbolic paraboloid.

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Martin Ruček *Nosná ocelová konstrukce administrativní budovy.* Brno, 2014. 107 s., 168 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Lukáš Hron.

Prohlášení:

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

V Brně dne 9.12.2014

……

podpis autora
Bc. Martin Ruček

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 9.12.2014

……

podpis autora

Bc. Martin Ruček

Poděkování:

Rád bych poděkoval Ing. Lukáši Hronovi za cenné rady, které mi ochotně poskytnul při vedení mé diplomové práce.

V Brně dne 9.1.2015

……

Bc. Martin Ruček

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

NOSNÁ OCELOVÁ KONSTRUKCE ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY

STEEL STRUCTURE OF THE OFFICE BUILDING

ČÁST 1.: TECHNICKÁ ZPRÁVA

Obsah

1 Úvod 2
2 Soupis norem a použité literatury 2
2.1 Normy 2
2.2 Ostatní zdroje 2
3 Použitý software 3
4 Předpoklady návrhu nosné konstrukce 3
5 Materiál 3
5.1 Ocel 3
5.2 Beton 3
6 Zatížení 3
6.1 Součinitele zatížení 3
6.2 Kombinace zatížení 3
6.3 Proměnná zatížení 4
6.3.1 Zatížení větrem 4
6.3.2 Zatížení sněhem 4
7 Popis nosné konstrukce 4
7.1 Kotvení 4
7.2 Sloupy 4
7.2.1 Hlavní sloupy 4
7.2.2 Štítové sloupy 5
7.2.3 Vnitřní sloupy 5
7.3 Střešní vazníky 5
7.4 Vaznice 5
7.5 Obvodové vazníky 5
7.6 Průvlaky 5
7.7 Stropnice 5
7.8 Ztužidla 6
7.8.1 Stěnová podélná ztužidla 6
7.8.2 Podélné ztužení střešních vazníků 6
7.9 Opláštění 6
7.9.1 Obvodové opláštění 6
7.9.2 Opláštění střechy 6
8 Povrchová ochrana konstrukce 6
9 Montážní postup 6
10 Hmotnost konstrukce 7

1 Úvod

Předmětem této diplomové práce je návrh hlavního nosného systému ocelové administrativní budovy o půdorysných rozměrech 36 x 24 m; maximální výška budovy je 16 m. Podrobnější tvarové řešení a konstrukční uspořádání je v rámci rozsahu práce popsáno výkresovou dokumentací. Podkladem pro vypracování práce byl návrh geometrie budovy sestavený autorem práce.

2 Soupis norem a použité literatury

2.1 Normy

- ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.
- ČSN EN 1991-1-3 Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem.
- ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem.
- ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků.
- ČSN EN 10027-1 Systémy označování ocelí - Část 1: Stavba značek ocelí
- ISO 5261:1995(E) - Technické výkresy - Zjednodušené označování tyčí a profilů

2.2 Ostatní zdroje

[1] PETŘÍČKOVÁ, M.; *Konstrukce a architektura*; Brno: VUTIUM, 2012; ISBN 978-80-214-4422-5

[2] MACHÁČEK, J.; SOKOL, Z.; VRANÝ, T.; WALD, F.; *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: Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2009; ISBN 978-80-87093-86-3

[3] STUDNIČKA, Jiří. *Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí: Příručka k ČSN EN 1994-1-1*. 1. vydání. Praha: Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2009. ISBN 978-80-87093-85-6.

[4] KARMAZÍNOVÁ, Marcela a Milan PILGR. *Ocelové konstrukce vícepodlažních budov: pomůcka pro cvičení*. CERM, 2004. ISBN 8021425709.

[5] K134 KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ; ČVUT. *Access Steel: Česká stránka projektu Access Steel na ČVUT v Praze* [online]. [cit. 2015-01-11]. Dostupné z: http://steel.fsv.cvut.cz/Access_Steel_CZ/index.html

[6] RÖDER, Václav. FAST, VUT Brno. *Spoje ocelových konstrukcí* [online]. [cit. 2015-01-11]. Dostupné z: http://ocel.wz.cz

[7] ČERVENKA, P.; *Statické a konstrukční tabulky, část I. – tabulková část*; 3. vydání, 2000

[8] ČERVENKA, P.; *Statické a konstrukční tabulky, část 2 – Postupy výpočtu prvků stavebních konstrukcí*; 3. vydání, 2002

3 Použitý software

- MS Excel – algoritmizace posudků, výpočet klimatických zatížení
- MS Word – zpracování textové části
- McNeel & Associates Rhinoceros 5.0 – tvorba 3D modelu
- Grasshopper 3D – Rhinoceros plugin pro parametrizaci 3D modelu a analýzu geometrie
- Dlubal RFEM 5 – tvorba statického modelu
- Autodesk Autocad 2010 – tvorba výkresové části
- Autodesk DesignFlow – CFD analýza objektu

4 Předpoklady návrhu nosné konstrukce

Statické posouzení navrženého objektu bylo provedeno na mezní stav únosnosti s uvážením ztráty stability prvků pro nejnepříznivější kombinaci návrhových hodnot zatížení a mezní stav použitelnosti pro nejnepříznivější kombinaci charakteristických hodnot zatížení.

5 Materiál

5.1 Ocel

Mezní hodnoty pevnosti byly uvažovány pro konstrukční ocel jakosti S355JR (dále jen S355). Pro systémová táhla je uvažována ocel jakosti S460J2 (dále jen S460). Spojovací prostředky byly uvažovány jakosti 5.6. a 8.8.

5.2 Beton

Uvažovaná pevnostní třída betonu pro spřažené stropy a základové konstrukce je C25/30.

6 Zatížení

Výpočet zatížení byl stanoven dle normy ČSN EN 1991 – Zatížení konstrukcí:

- ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-3 Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem

6.1 Součinitele zatížení

Pro stálá zatížení byl uvažován součinitel $\gamma_G = 1{,}35$.
Pro proměnná zatížení byl uvažován součinitel $\gamma_Q = 1{,}50$.

6.2 Kombinace zatížení

Kombinace zatížení byly provedeny dle rovnic 6.10a a 6.10b, specifikovaných v ČSN EN 1991 – Zatížení konstrukcí.

6.3 Proměnná zatížení

Klimatická zatížení byla uvažována pro lokalitu Olomouc.

6.3.1 Zatížení větrem

- Větrná oblast I.
- $v_{b,o}$ = 22,5 m/s
- Kategorie terénu II.

Podrobný výpočet: viz kapitola 3. statického výpočtu (část II.)

6.3.2 Zatížení sněhem

- Sněhová oblast I.
- s_k = 0,75 kN/m^2
- Součinitel okolního prostředí c_e = 1,0
- Součinitel vlivu teploty c_t = 1,0

Podrobný výpočet: viz kapitola 3. statického výpočtu (část II.)

7 Popis nosné konstrukce

Navrhovaná budova má obdélníkový půdorys o rozměrech 36 x 24 m. Výška objektu je proměnná, daná tvarem střechy (zborcená plocha), pohybující se mezi 10 až 16 m nad úrovní terénu. Budova je čtyřpodlažní, konstrukční výška podlaží je 3,5 m.

Hlavní nosná konstrukce je tvořena sérií šesti příčných vazeb, sestávajících z příhradových sloupů a kloubově uložených prostorových vazníků. Příčné vazby jsou v podélném směru vzájemně vzdáleny 6,0 m. Při čelních stranách budovy nosný systém uzavírá řada štítových sloupů s rovinnými vazníky. Konstrukce podlaží je vynesena systémem podélných a příčných průvlaků, spočívajících na hlavních příhradových sloupech při vnější straně a na stojkách z válcovaných profilů při straně vnitřní. K průvlakům jsou šroubově kotveny stropnice. Nosná konstrukce podlaží je završena spřaženou betonovou deskou.

Ztužení v podélném směru je zajištěno křížově uspořádanými stěnovými ztužidly ve čtyřech polích. Tuhost budovy v příčném směru je zajištěna geometrií hlavních sloupů.

7.1 Kotvení

Kotvení všech sloupů je uvažováno jako kloubové. Kotvící prvky jsou předem zabetonované ocelové tyče z oceli jakosti S355. Při betonáži patek se předpokládá užití šablon pro zajištění správné pozice kotevních šroubů, a dosažení tolerance $\pm$ 20 (+d_0) mm. K základovým patkám jsou sloupy kotveny prostřednictvím patních plechů. Kotevní zarážky jsou navrženy při kotvení K1 a K2. Statický výpočet se zabývá návrhem kotvení hlavních sloupů v místě se stěnovým ztužidlem a vedlejších, štítových sloupů při čelních stranách budovy.

7.2 Sloupy

7.2.1 Hlavní sloupy

Hlavní sloupy jsou navrženy jako příhradové, proměnné výšky, se zakřiveným vnitřním pásem. Vzdálenost krajních pásů při patě sloupu činí 1,5 m. Sloupy se u vrcholu sbíhají do místa, kde

je připojen střešní vazník. Průřez sloupů je navržen jako uzavřený svařovaný. Spoje montážních dílů vyšších sloupů nad 12 m budou provedeny svarem s úplným průvarem.

7.2.2 Štítové sloupy

Štítové sloupy jsou umístěny při obou čelních stranách budovy. Sloupy jsou od sebe v příčném směru osově vzdáleny 8 m. Montážní spoje sloupů budou provedeny obdobně jako v případě hlavních sloupů.

7.2.3 Vnitřní sloupy

Vnitřní sloupy jsou navrženy z válcovaných profilů.

7.3 Střešní vazníky

Střešní vazníky jsou řešeny jako prostorové příhradové prvky se zakřivenými krajními pásy. Krajní pásy vazníku jsou trojúhelníkově uspořádány. Jejich vzájemnou vzdálenost po délce vazníku zajišťují distanční pruty umístěné v konstantních vzdálenostech. Horní dva krajní pásy vazníku leží ve střešní rovině (zborcená plocha) a zároveň mají v půdorysném průmětu tvar části paraboly. Jsou tedy prostorově zakřivené. Z důvodu zjednodušení výroby byly krajní pásy navrženy jako série přímých úseků, jejichž body lomu leží v místech připojení distančních prutů. Výplňové pruty vazníků tvoří systémová táhla MacAlloy. Profily ostatních prvků vazníku jsou tvořeny bezešvými kruhovými trubkami.

Střešní vazníky budou přepravovány ve dvou montážních dílech dlouhých 12 m. Montážní spoje budou řešeny jako svary s úplným průvarem.

7.4 Vaznice

Střešní vaznice jsou tvořeny uzavřenými čtyřhrannými obdélníkovými trubkami. Rozpětí vaznic je proměnné, dané geometrií střechy.

Vaznice jsou kloubově připojeny k vazníkům prostřednictvím styčníkových plechů navařených na víčka.

7.5 Obvodové vazníky

Obvodové vazníky jsou rovinné prvky. Průřez obvodových vazníků je navržen jako uzavřený svařovaný. Horní a dolní pás vazníků je zakřivený. Vazníky jsou kloubově připojeny ke sloupům.

7.6 Průvlaky

Podélné i příčné průvlaky jsou tvořeny válcovanými profily. Přípoj na sloupy je uvažován jako kloubový, prostřednictvím zkrácených čelních desek.

7.7 Stropnice

Stropnice jsou tvořeny válcovanými profily. Osová vzdálenost stropnic činí 2,0 m. Betonová deska podlaží pak je provedena do bednění z trapézových plechů. Smykové spojení desky a ocelových profilů je zajištěno spřahovacími trny.

7.8 Ztužidla

7.8.1 Stěnová podélná ztužidla

Stěnová ztužidla jsou navržena jako křížově uspořádané uzavřené bezešvé trubky. V místě křížení jsou ztužidla spojena prostřednictvím styčníkového plechu. Ke sloupům jsou ztužidla připojena kloubově prostřednictvím styčníkových plechů.

7.8.2 Podélné ztužení střešních vazníků

Podélné ztužení střešních vazníků je provedeno rovinnými příhradovými segmenty. Diagonály ztužení jsou tvořeny bezešvými kruhovými trubkami. Jejich horní pás pak čtyřhrannými trubkami.

7.9 Opláštění

7.9.1 Obvodové opláštění

Obvodové opláštění budovy je navrženo z fasádního systému FW60+ firmy. Schueco. Systém sestává z lehkého nosného roštu se skleněnou či neprůhlednou výplní doplněnou o tepelnou izolaci.

7.9.2 Opláštění střechy

Opláštění střechy mezi světlíky je uvažováno z tvarovatelných PUR panelů PGV Flex firmy Linitherm.

8 Povrchová ochrana konstrukce

Konstrukce bude ve výrobě opatřena jednou vrstvou základního nátěru (tloušťka vrstvy 40 µm), jednou vrstvou krycího nátěru (tloušťka vrstvy 40 µm). Po montáži jednou vrstvou krycího opravného nátěru (tloušťka vrstvy 40 µm). Nátěry je nutné aplikovat v souladu s podmínkami určenými výrobcem nátěrové hmoty. Barevný odstín ocelové konstrukce bude RAL 9001.

9 Montážní postup

- Provedení základových patek.
- Sestavení montážních dílců hlavních sloupů.
- Vztyčení hlavních sloupů polí se stěnovými ztužidly a jejich provizorní zavětrování.
- Montáž stěnových ztužidel.
- Osazení mezilehlých hlavních sloupů s dočasným zajištěním stability pomocí montážních vzpěr.
- Montáž obvodových vazníků při podélných stranách budovy.
- Sestavení montážních dílů hlavních vazníků.
- Osazení krajních vazníků, zajištění jejich stability osazením vaznic a táhel.
- Osazení dalších vazníků směrem od krajů obdobným způsobem.
- Provedení světlíků, střešního opláštění.
- Osazení vnitřních sloupů, montáž prvků konstrukce podlaží nad 1NP.

- Betonáž stropní desky nad 1NP; během betonáže a hydratace betonu bude stabilita konstrukce podlaží zajištěna provizorním diagonálním ztužením v rovině stropní konstrukce. Montážní vzpěry a provizorní ztužení budou odebrány po dosažení minimální pevnosti betonu 20 MPa.
- Montáž dalších podlaží a následná betonáž obdobně.
- Provedení obvodového opláštění.

10 Hmotnost konstrukce

Objem budovy činí 12354,10 m^3. Hmotnost ocelové konstrukce činí 111,186 t. Hmotnost oceli na 1m^3 obestavěného prostoru vychází na 8,9 kg.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

NOSNÁ OCELOVÁ KONSTRUKCE ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY

STEEL STRUCTURE OF THE OFFICE BUILDING

ČÁST 2.: STATICKÝ VÝPOČET

Obsah

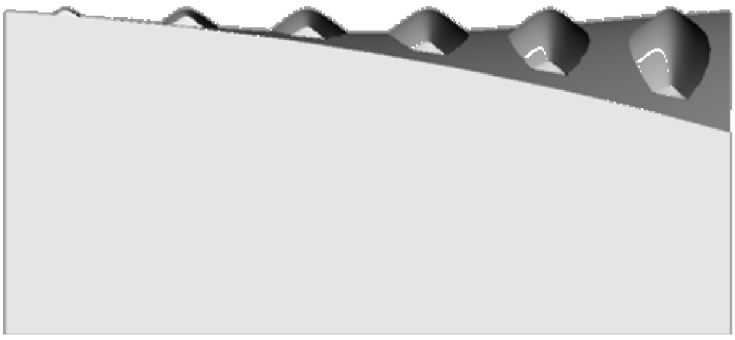
1 Tvarové řešení budovy 3
2 Výpočtový model 4
2.1 Podpory 4
2.2 Hlavní sloupy 5
2.3 Štítové sloupy 5
2.4 Obvodové vazníky 6
2.5 Střešní vazníky 6
2.6 Podélné ztužení střechy 7
2.7 Střešní vaznice a ztužení střechy 8
2.8 Stěnové ztužení 8
2.9 Konstrukce podlaží 9
2.9.1 Vnitřní sloupy 9
2.9.2 Příčle 9
2.9.3 Podélné průvlaky 9
2.9.4 Stropnice 9
2.10 Stropní deska 10
3 Zatížení konstrukce 11
3.1 Stálé zatížení 11
3.1.1 Vlastní tíha 11
3.1.2 Ostatní stálé zatížení 11
3.2 Proměnné zatížení 14
3.2.1 Užitná zatížení 14
3.2.2 Klimatická zatížení 14
3.3 Zatěžovací stavy 27
3.4 Kombinace zatížení 27
3.4.1 Kombinační vztah pro MSÚ: 27
3.4.2 Kombinační vztah pro MSP: 27
3.4.3 Účinky 27
3.4.4 Kombinace účinků pro MSÚ 28
3.4.5 Kombinace účinků pro MSP 28
3.4.6 Kombinace zatížení 28
4 Posouzení 29
4.1 Krajní řady střešních vaznic 29
4.2 Vnitřní sloup C4 34

4.3 Spřažená stropnice 40
4.4 Spřažený průvlak 51
4.5 Přípoj vaznice na vazník 59
4.6 Přípoj vazníku na sloup 66
4.7 Přípoj průvlaku na sloup 78
4.8 Kotvení K1 82
4.9 Kotvení K2 86
5 Pojednání o stabilitě střešní konstrukce 89
5.1 Provozní stav 89
5.2 Montážní stav - vazníky 90

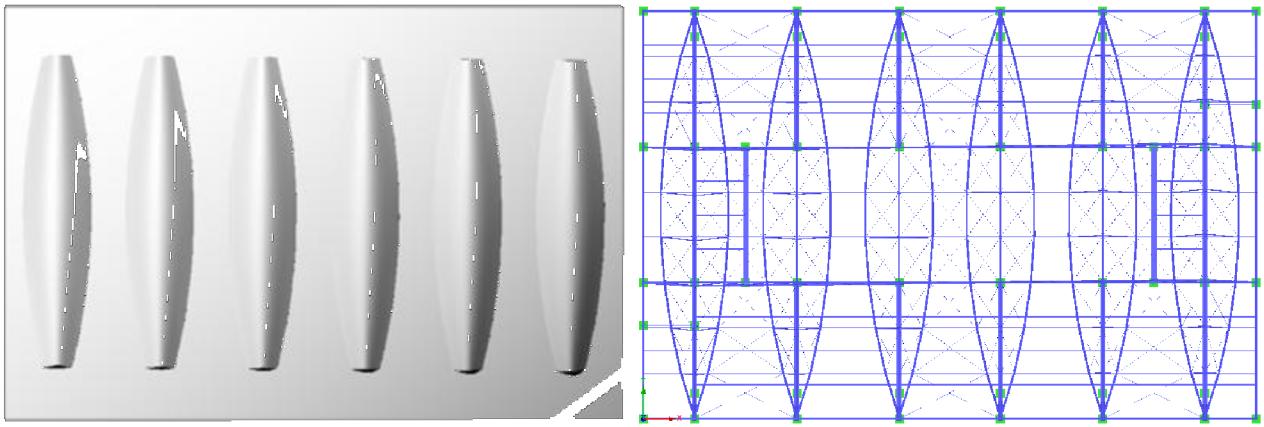
1 Tvarové řešení budovy

Podkladem pro vypracování statického modelu byl návrh geometrie budovy, vytvořený v prostředí programu Rhinoceros. Kromě vnějšího tvaru budovy byla též v rámci návrhu vypracována podstatná část konstrukčního uspořádání nosného systému budovy. Podrobnější schémata konstrukčního uspořádání jsou uvedena v následující kapitole a ve výkresové části práce.

Obrázek 1: Pohled ve směru osy X.



Obrázek 2: Pohled ve směru osy Y.



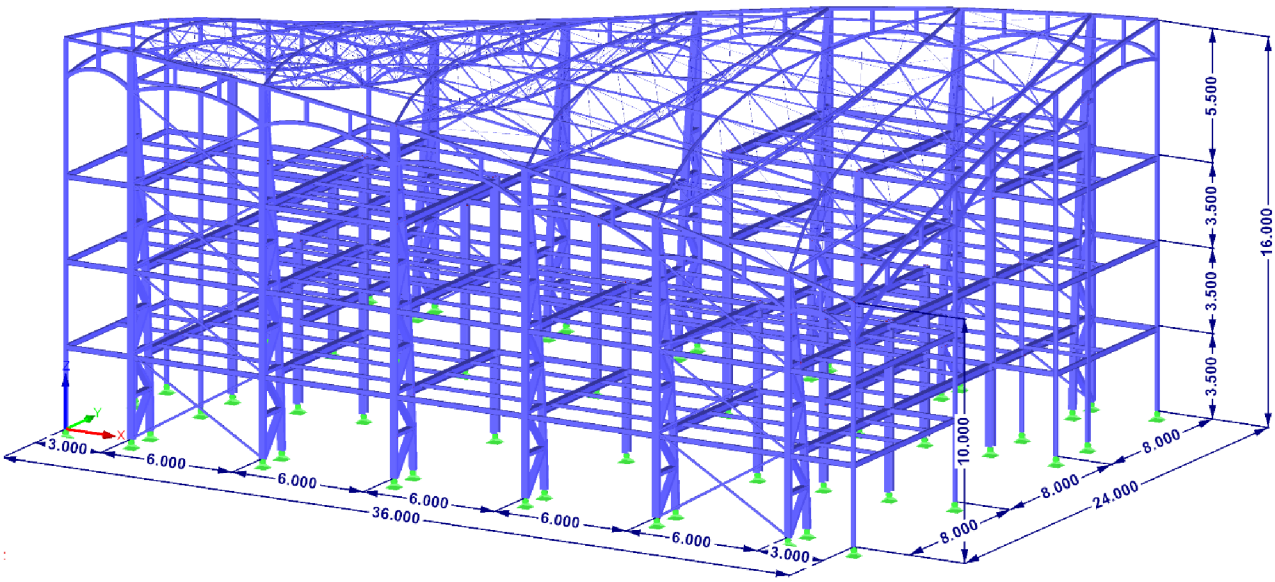
Obrázek 3: Pohled shora.

2 Výpočtový model

Statický model budovy byl vytvořen v programu RFEM na základě předchozího prostorového návrhu geometrie. Vnější půdorysné rozměry vztažené k osám nosných prvků jsou 36 x 24 m. Výška budovy je proměnná, daná tvarem střechy, který představuje zborcenou plochu (hyperbolický paraboloid) nad obdélníkovým půdorysem. Nižší protější rohy střechy jsou ve výšce 10 m, vyšší protější rohy pak ve výšce 16 m. Výpočtový model nezahrnuje konstrukci světlíků. Jejich přítomnost byla zohledněna v zatížení.

Model byl analyzován metodou dle teorie II. řádu.

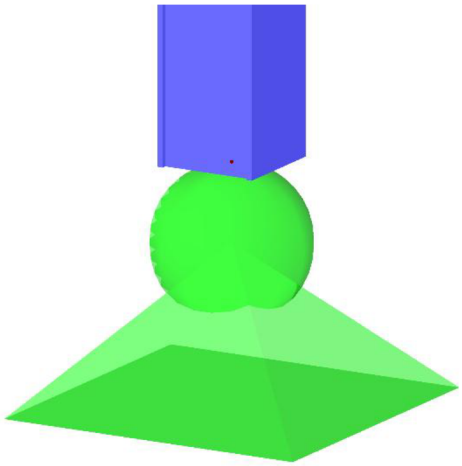
Celková hmotnost konstrukce činí 531,216 t, přičemž ocelová konstrukce má hmotnost 111,186 t, zbytek představuje hmotnost stropních desek.



Obrázek 4: Celkový axonometrický pohled na ocelovou konstrukci výpočtového modelu budovy.

2.1 Podpory

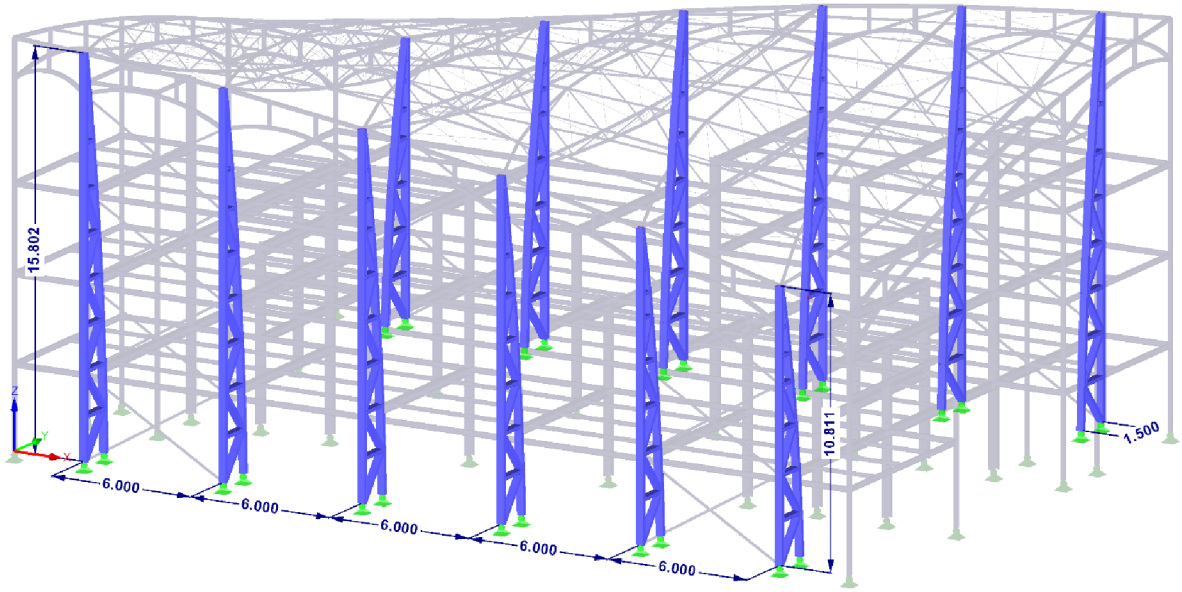
Konstrukce byla podepřena neposuvnými kloubovými podporami.



Obrázek 5: Uzlové podpory modelu.

2.2 Hlavní sloupy

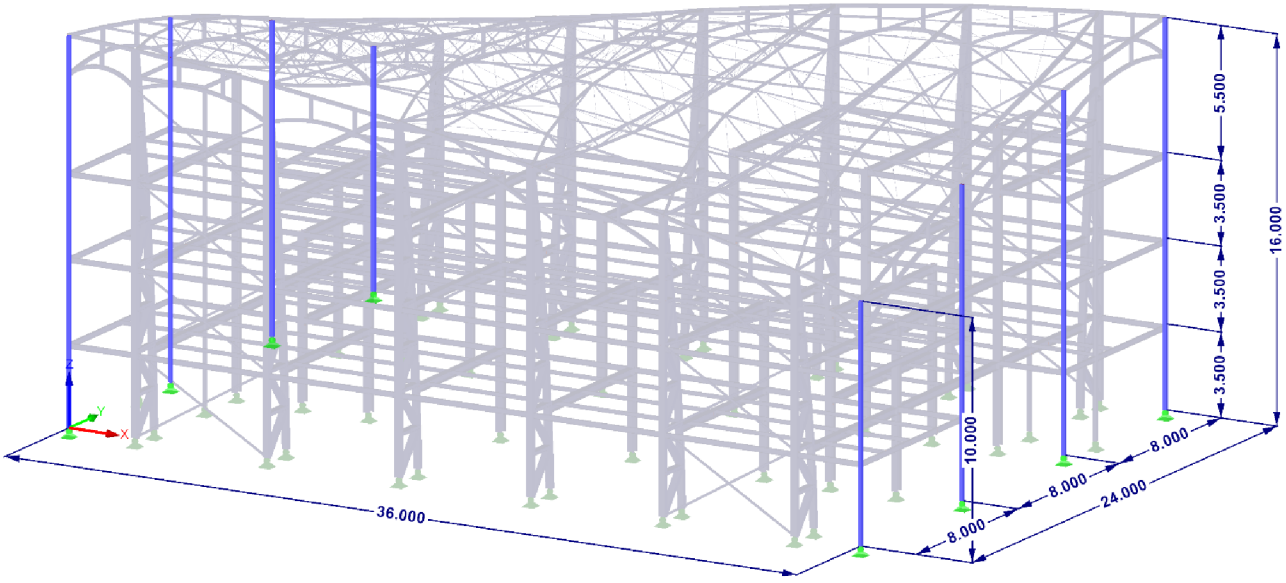
Hlavní sloupy jsou modelovány jako rovinné příhradové prvky se zakřiveným vnitřním pásem. Průřez jednotlivých prvků sloupu je navržen jako uzavřený svařovaný průřez o vnějších rozměrech 260 x 160 mm v případě krajních pásů a 260 x 100 mm v případě výplňových prutů. Tloušťky stojin průřezů činí 6 mm, pásnice mají tloušťku 8 mm. Výroba sloupů předpokládá užití technologie počítačem řízeného dělení materiálu. Geometrie sloupů zvolena tak, aby sloupy zabezpečovaly tuhost konstrukce v příčném směru (osa Y).



Obrázek 6: Hlavní sloupy budovy.

2.3 Štítové sloupy

Navržený průřez těchto sloupů je bezešvá čtyřhranná trubka o rozměrech 150 x 150 mm a tloušťce Stěny 8 mm.

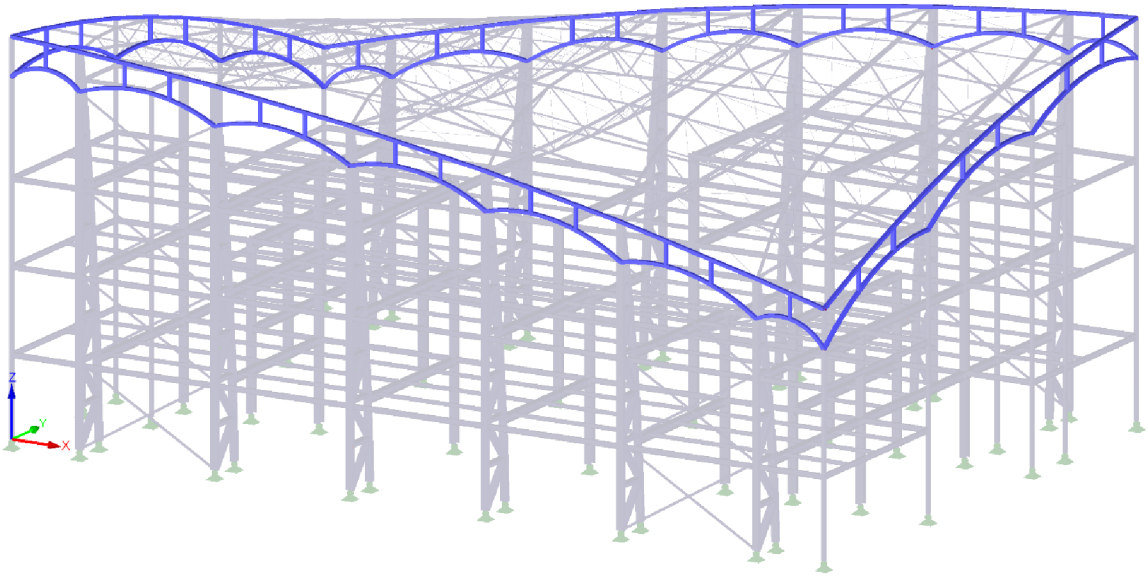


Obrázek 7: Štítové sloupy

2.4 Obvodové vazníky

Obvodové vazníky ukončují střešní rovinu a zabezpečují stabilitu horních konců sloupů v rovině obvodového pláště. Jedná se o rovinné vazníky se zakřivenými pásy. Jako výplňové pruty slouží pouze svislice. Navržený průřez krajních pásů je uzavřený svařovaný o vnějších rozměrech 150 x 140 mm s tloušťkou stojin a pásnic rovnou 6 mm. Svislice jsou rovněž tvořeny uzavřenými svařovanými profily o vnějších rozměrech 150 x 120 a totožných tloušťkách plechů.

Vazníky jsou kloubově připojeny k hlavním a vedlejším sloupům.

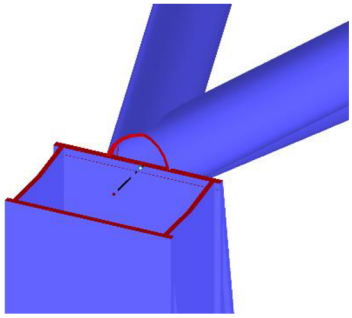


Obrázek 8:Obvodové vazníky.

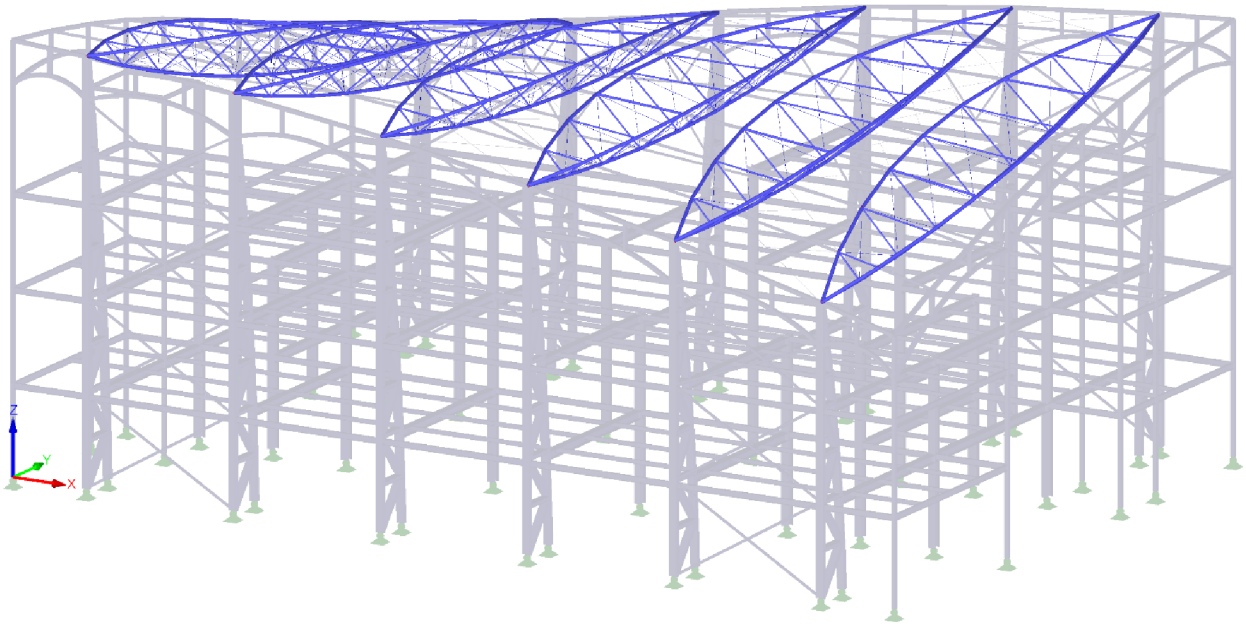
2.5 Střešní vazníky

Střešní vazníky jsou navrženy jako prostorové příhradové, s trojúhelníkově uspořádanými krajními pásy, tvořenými kruhovými uzavřenými trubkami o průměru 127 mm a tloušťce stěny 5,0 mm. Výplňové pruty tvoří křížově uspořádaná táhla průměru 10 mm v každém poli příhradoviny a kloubově připojené trojúhelníkově uspořádané distanční pruty, tvořené bezešvými kruhovými trubkami o průměru 60,3 mm a tloušťce stěny 4,0 mm. V místě podélného ztužení střechy jsou trubky distančních prutů zvětšeny na 88,9 mm a tloušťku stěny 5 mm.

Horní dva krajní pásy vazníků leží na zborcené ploše, představující rovinu střechy. Půdorysný průmět horních pásů představuje část paraboly. Pásy jsou tedy prostorově zakřivené. Pro zjednodušení výroby jsou pásy vazníků řešeny jako přímé úseky s lomy v místech styčníků. Střešní vazníky jsou ve statickém modelu připojeny ke sloupům kloubově prostřednictvím tuhých ramen o délce 100 mm, zohledňujících excentricitu přípoje. Předpokládaný přípoj vazníků je čepový. Vnitřní konce tuhých ramen byly z tohoto důvodu opatřeny kloubem, umožňujícím pootočení vazníku podél jeho podélné osy.



Obrázek 9: Kloubové připojení střešních vazníků na sloup přes tuhé rameno.

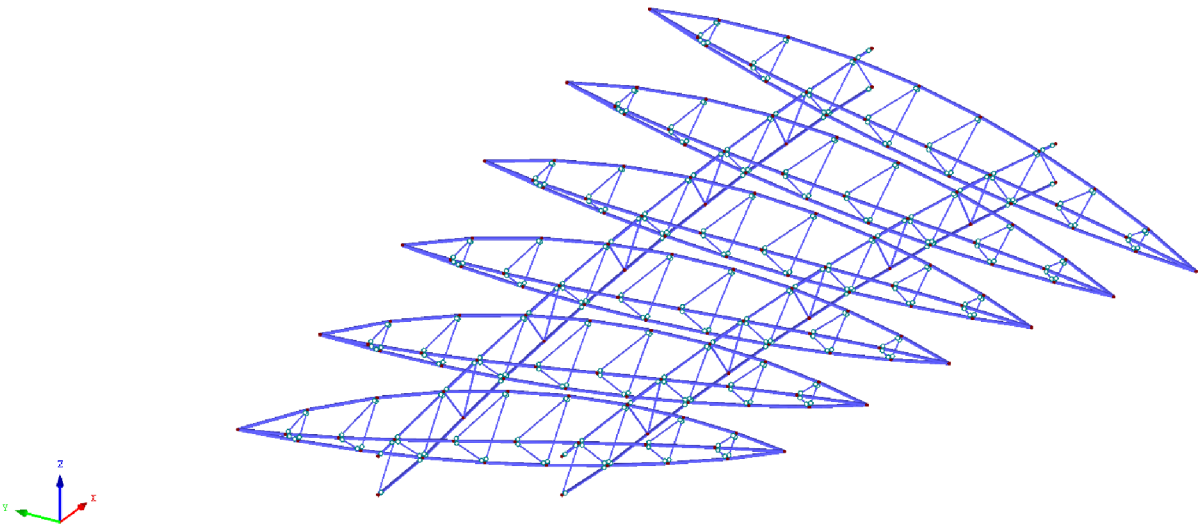


Obrázek 10: Střešní vazníky.

Průměrná vzájemná vzdálenost styčníků na pásu je 2,70 m, maximální průměrná výška vazníku je 2,00 m. Rozpětí vazníku je 24,00 m. Osová vzdálenost vazníků je 6,00 m.

2.6 Podélné ztužení střechy

Pootočení vazníků kolem jejich podélné osy brání podélné ztužení tvořené příhradovými segmenty. Vzájemná vzdálenost segmentů podélného ztužení v příčném směru budovy činí 8 m. Průřez dolního pásu tvoří bezešvé kruhové trubky o průměru 89,0 mm a tl. 6,3 mm. Diagonály jsou tvořeny bezešvými kruhovými trubkami o průměru 63,0 mm a tl. 4,0 mm. Horní pásy podélného ztužení mezi střešními vazníky jsou tvořeny vaznicemi se zvětšeným průřezem – 120 x 60 mm a tloušťkou stěny 5,0 mm. Vazníky podélného ztužení jsou kloubově připojeny k vedlejším sloupům a vazníkům.

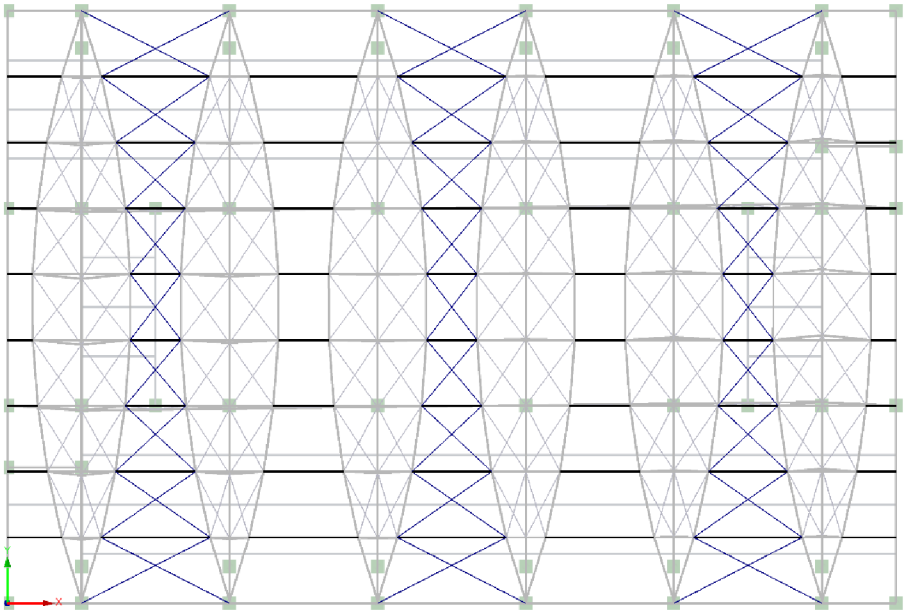


Obrázek 11: Uspořádání podélného ztužení ve střešní konstrukci.

2.7 Střešní vaznice a ztužení střechy

Navržené profily vaznic jsou uzavřené, čtyřhranné trubky o rozměrech 100 x 50 mm. Tloušťka profilů vaznic se liší v závislosti na jejich rozpětí. Profily krajních dvou řad vaznic mají tloušťku 5,6 mm. Vnitřní vaznice s menším rozpětím pak mají tloušťku stěny 3,2 mm (výjimku tvoří vaznice, které jsou zároveň horní pásy podélného ztužení střechy). Střešní plášť ztužují táhla průměru 10 (vnitřní pole) a 12 mm (dvě krajní pole). Vaznice byly modelovány jako běžné pruty s klouby na koncích; táhla byla modelována jako pruty účinkující pouze v tahu.

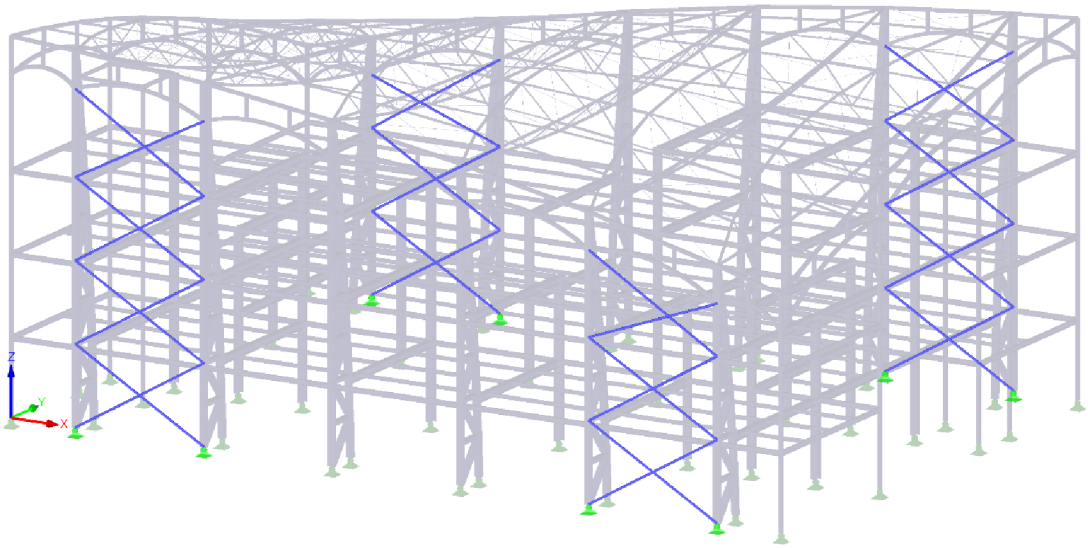
Vaznice společně s táhly a podélným ztužením střešní konstrukce zabezpečují stabilitu střešních vazníků, proti natočení podél jejich podélné osy.



Obrázek 12: Dispozice vaznic a táhel ve střešní rovině.

2.8 Stěnové ztužení

Stěnové ztužení je tvořeno křížově uspořádanými trubkami o průměru 101,6 mm a tloušťce stěny 8 mm. Pruty byly modelovány jako vzpěrné, tzn. kromě působení v tahu mohou též přenášet tlakové účinky do překročení vzpěrné únosnosti. Připojení prutů ke sloupům je uvažováno jako kloubové.

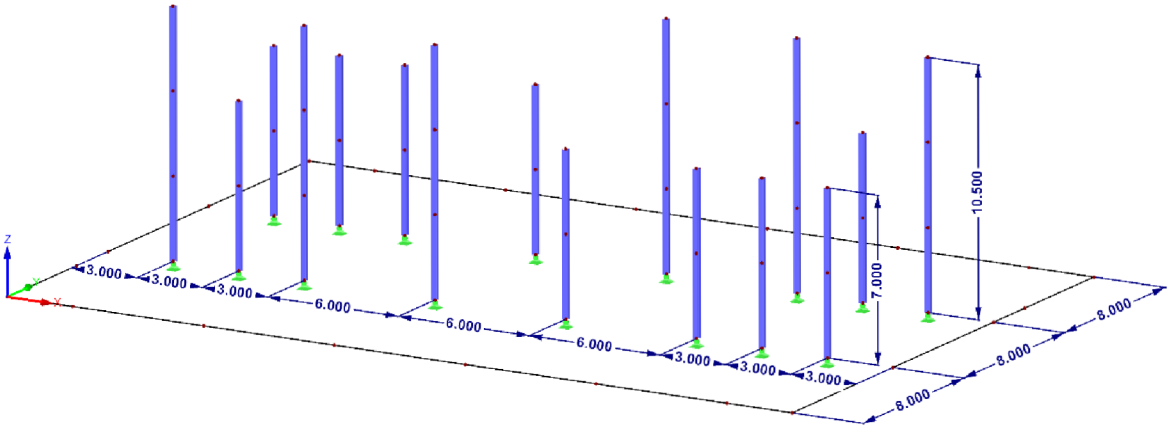


Obrázek 13: Stěnové ztužení.

2.9 Konstrukce podlaží

2.9.1 Vnitřní sloupy

Vnitřní sloupy jsou tvořeny průřezy HEB 260. Podepření je tvořeno neposuvnými klouby.



Obrázek 14: Vnitřní sloupy.

2.9.2 Příčle

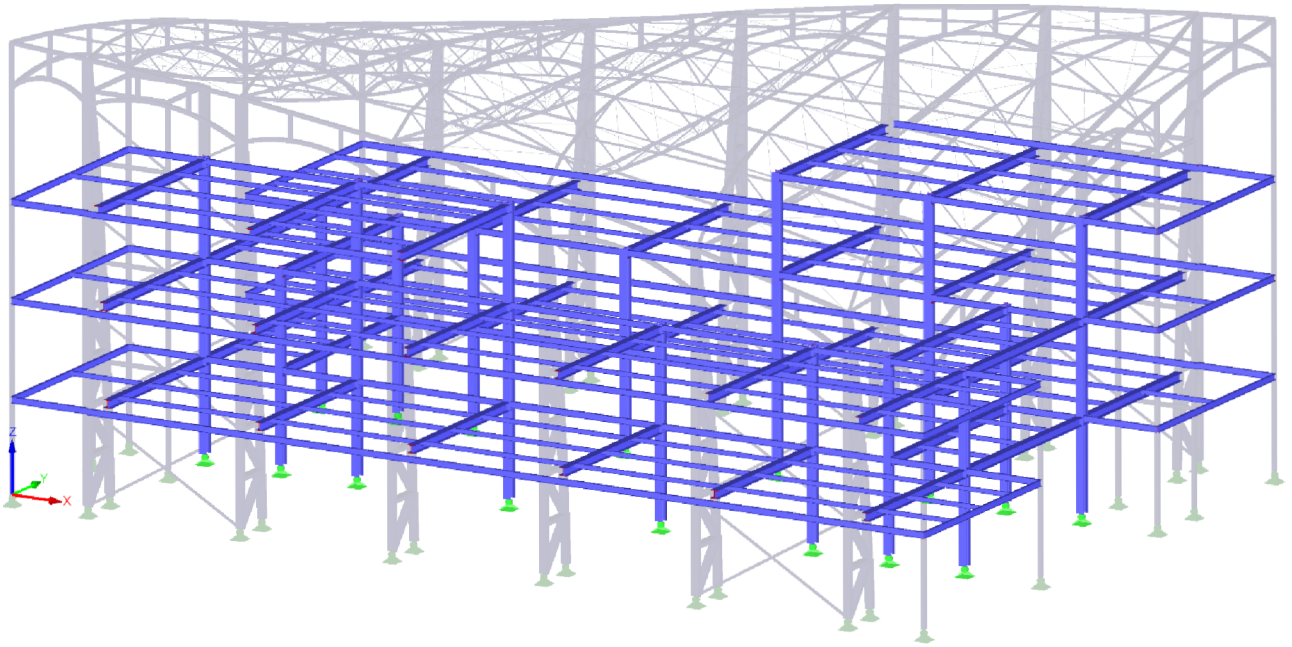
Příčle jsou tvořeny profily HEB 260; připojení ke sloupům je kloubové.

2.9.3 Podélné průvlaky

Profil podélných průvlaků je IPE 220. Podélné průvlaky jsou rovněž kloubově připojeny k ostatním prvkům.

2.9.4 Stropnice

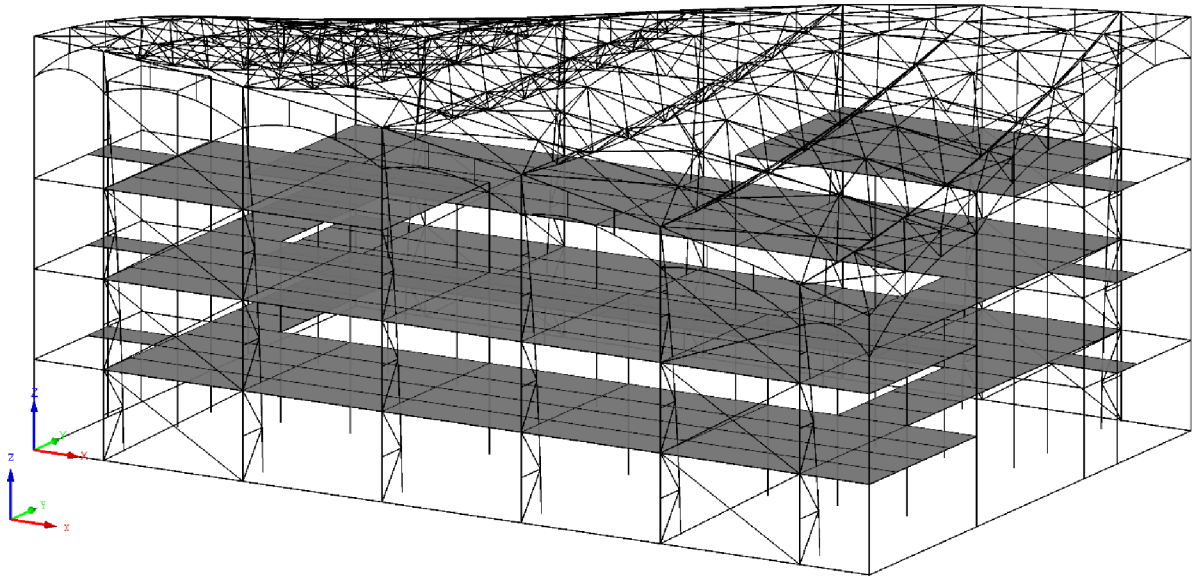
Stropnice jsou tvořeny podélně uspořádanými pruty, kloubově připojenými k příčlím. Pruty stropnic byly integrovány do plochy betonové desky pro modelování jejich spolupůsobení s betonem. Průřez stropnic je IPE 160.



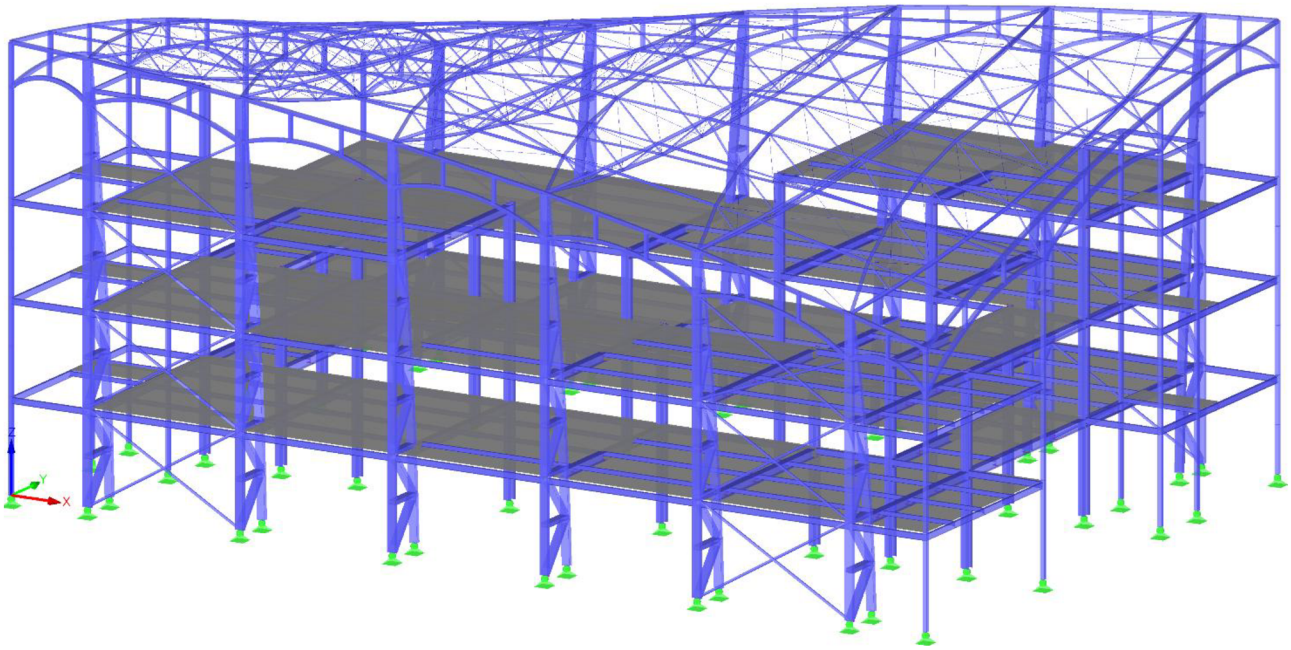
Obrázek 15: Celkový pohled na ocelovou konstrukci podlaží.

2.10 Stropní deska

Stropní desky byly modelovány obdélníkovou plochou s integrovanými pruty stropnic a příčlí. Tloušťka desky ve výpočtovém modelu je rovna průměrné výšce betonové desky vylité do trapézového plechu, která činí 123 mm.



Obrázek 16: Stropní desky ve statickém modelu.



Obrázek 17: Celkový pohled na statický model konstrukce budovy.

3 Zatížení konstrukce

3.1 Stálé zatížení

3.1.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha ocelových konstrukčních prvků a betonových desek byla generována automaticky programem RFEM.

3.1.2 Ostatní stálé zatížení

3.1.2.1 Střešní plášť

Popis	Tloušťka[mm]	γ[kN/m^3]	g_k [kN/m^2]
Střešní panely Linitherm PGV Flex	2·60,0	0,60	0,10
Drobné podpůrné prvky, upevňovací prostředky, klempířské prvky	/	/	0,10
CELKEM		**$g_{k,\ plášť}$ =**	**0,20**

3.1.2.2 Světlíky

Popis	Tloušťka[mm]	γ[kN/m^3]	g_k [kN/m^2]
Dvojvrstvá ETFE fólie	2·3,0	17,00	0,15
Konstrukce světlíků, spojovací prvky, klempířské prvky	/	/	0,80
CELKEM		**$g_{k,\ světlík}$ =**	**0,95**

Plošné zatížení střešního pláště a světlíků bylo dále zpracováno programem MS Excel pro určení liniového a bodového zatížení zadaného na pruty ležící v rovině střešního pláště:

POLE DÉLEK													
	1	a	2	b	3	c	4	d	5	e	6	f	7
10	3107,653	0	6171,903	0	6122,349	0	6081,808	0	6049,777	0	6025,872	0	3006,55
9	2250,942	2620,52	4481,464	2592,774	4462,27	2570,042	4448,846	2551,234	4440,926	2536,436	4438,305	2525,269	2219,021
8	1629,162	3342,612	3251,564	3307,219	3247,09	3278,223	3246,574	3254,233	3249,852	3235,537	3256,815	3221,113	1632,252
7	1224,622	4263,677	2447,242	4234,973	2447,314	4211,283	2450,321	4192,684	2456,192	4179,168	2464,874	4170,436	123,401
6	1027,306	4713,077	2051,112	4695,698	2049,557	4683,465	2050,474	4676,477	2053,839	4674,732	2059,643	4678,063	1027,306
5	1027,306	4678,063	2059,643	4674,732	2053,839	4676,477	2050,474	4683,465	2049,557	4695,698	2051,112	4713,077	1027,306
4	123,401	4170,436	2464,874	4179,168	2456,192	4192,684	2450,321	4211,283	2447,314	4234,973	2447,242	4263,677	1224,622
3	1632,252	3221,113	3256,815	3235,537	3249,852	3254,233	3246,574	3278,223	3247,09	3307,219	3251,564	3342,612	1629,162
2	2219,021	2525,269	4438,305	2536,436	4440,926	2551,234	4448,846	2570,042	4462,27	2592,774	4481,464	2620,52	2250,942
1	3006,55	0	6025,872	0	6049,777	0	6081,808	0	6122,349	0	6171,903	0	3107,653

Tabulka 1: Délky prutů ležících ve střešní rovině. Jedná se o skutečné délky prutů měřené ke střednici.

POLE ZATĚŽOVACÍCH ŠÍŘEK													
	1	a	2	b	3	c	4	d	5	e	6	f	7
10	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333
9	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667
8	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667
7	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667
6	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667
5	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667
4	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667
3	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667
2	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667	2666,667
1	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333	1333,333

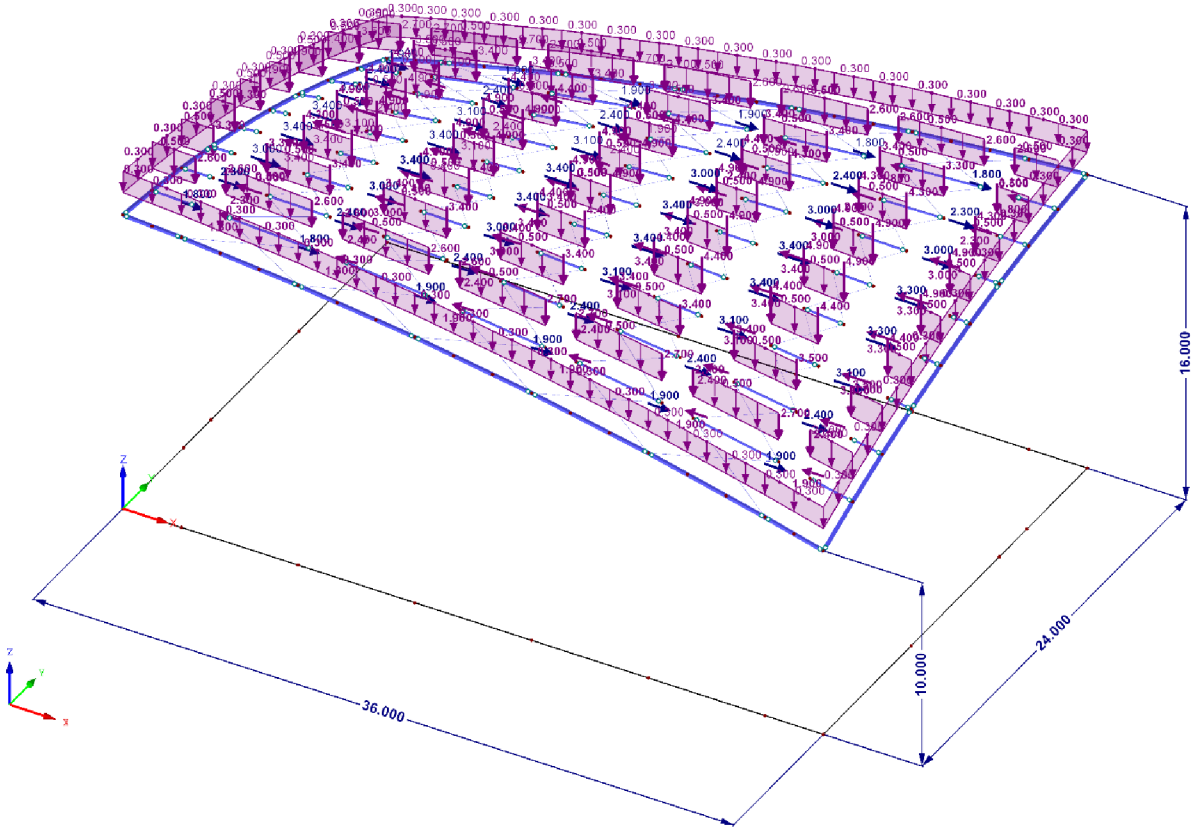
Tabulka 2: Zatěžovací šířky prutů ležících ve střešní rovině.

OSTATNÍ STÁLÉ [kN/m'], [kN]

	1	ax	ay	2	bx	by	3	cx	cy	4	dx	dy	5	ex	ey	6	fx	fy	7
10	0,3	2·0	2·0	0,3	2·0	2·0	0,3	2·0	2·0	0,3	2·0	2·0	0,3	2·0	2·0	0,3	2·0	2·0	0,3
9	0,5	2·1,9	2·2,7	0,5	2·1,9	2·2,7	0,5	2·1,9	2·2,7	0,5	2·1,9	2·2,6	0,5	2·1,8	2·2,6	0,5	2·1,8	2·2,6	0,5
8	0,5	2·2,4	2·3,5	0,5	2·2,4	2·3,4	0,5	2·2,4	2·3,4	0,5	2·2,4	2·3,4	0,5	2·2,4	2·3,4	0,5	2·2,3	2·3,3	0,5
7	0,5	2·3,1	2·4,4	0,5	2·3,1	2·4,4	0,5	2·3,1	2·4,4	0,5	2·3	2·4,4	0,5	2·3	2·4,3	0,5	2·3	2·4,3	0,5
6	0,5	2·3,4	2·4,9	0,5	2·3,4	2·4,9	0,5	2·3,4	2·4,9	0,5	2·3,4	2·4,9	0,5	2·3,4	2·4,9	0,5	2·3,4	2·4,9	0,5
5	0,5	2·3,4	2·4,9	0,5	2·3,4	2·4,9	0,5	2·3,4	2·4,9	0,5	2·3,4	2·4,9	0,5	2·3,4	2·4,9	0,5	2·3,4	2·4,9	0,5
4	0,5	2·3	2·4,3	0,5	2·3	2·4,3	0,5	2·3	2·4,4	0,5	2·3,1	2·4,4	0,5	2·3,1	2·4,4	0,5	2·3,1	2·4,4	0,5
3	0,5	2·2,3	2·3,3	0,5	2·2,4	2·3,4	0,5	2·2,4	2·3,4	0,5	2·2,4	2·3,4	0,5	2·2,4	2·3,4	0,5	2·2,4	2·3,5	0,5
2	0,5	2·1,8	2·2,6	0,5	2·1,8	2·2,6	0,5	2·1,9	2·2,6	0,5	2·1,9	2·2,7	0,5	2·1,9	2·2,7	0,5	2·1,9	2·2,7	0,5
1	0,3	2·0	2·0	0,3	2·0	2·0	0,3	2·0	2·0	0,3	2·0	2·0	0,3	2·0	2·0	0,3	2·0	2·0	0,3

Tabulka 3: Výsledné zatížení střechy ostatním stálým zatížením.

Řádky korespondují s řadou vaznic, sloupce označené číslicí značí liniové zatížení pro vaznice mezi světlíky. Sloupce označené písmeny představují bodové zatížení od světlíků, rozložené do svislého a vodorovného směru.



Obrázek 18: Ostatní stálé zatížení střechy ve výpočtovém modelu.

3.1.2.3 Stropy

Popis	Tloušťka[mm]	γ[kN/m³]	g_k [kN/m²]
Dlažba	8,0	27	0,22
Anhydrit	10,0	20	0,2
Betonová mazanina, bet. výztuž	50,0	26	1,3
Separační vrstva	5,0	5,9	0,03
Kročejová izolace	30,0	1,2	0,04
Vzduchotechnika	/	/	0,12
Osvětlení	/	/	0,02
Podhled	/	/	0,1
CELKEM		**$g_{k,strop}$ =**	**2,03**

Dále jsou stropní desky zatíženy zábradlím při okrajích, zjednodušeně uvažovaným jako liniové zatížení o hodnotě 0,5 kN/m'.

3.1.2.4 Fasáda – PUR panely

Popis	Tloušťka[mm]	γ[kN/m^3]	g_k [kN/m^2]
PUR panely	100	0,8	0,10
Prvky fasádního systému, klempířské prvky, spojovací prostředky	/	/	0,30
CELKEM		**$g_{k,\ fasáda1}$ =**	**0,40**

3.1.2.5 Fasáda – zasklení

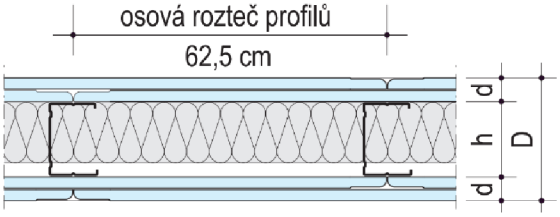
Popis	Tloušťka[mm]	γ[kN/m^3]	g_k [kN/m^2]
Izolační dvojsklo	100	0,6	0,30
Prvky fasádního systému, klempířské prvky, spojovací prostředky	/	/	0,30
CELKEM		**$g_{k,\ fasáda2}$ =**	**0,60**

3.1.2.6 Schodiště

Zatížení schodištěm je uvažováno zjednodušeně charakteristickou hodnotou 3,50 kN/m^2. Do výpočtového modelu je zadáno osamělými břemeny v předpokládaných místech kotvení.

3.1.2.7 Příčky stálé

Dispoziční členění kancelářských prostor předpokládá umístění jedné průběžné dvojvrstvé příčky typu Knauf W112 v podélném směru každého podlaží, oddělující prostory kanceláří od komunikačních prostor. Zatížení příčkou je na konstrukční výšku uvažováno liniovým zatížením s charakteristickou hodnotou 1,53 kN/m'.



D = 125 mm

Obrázek 19: Skladba dělící příčky.

3.1.2.8 Výtahy

Předpokládá se samostatná nosná konstrukce výtahů a jejich příslušenství. Předpokládané umístění strojovny je na dně šachty, kotvení do základové konstrukce oddělené od navrhované konstrukce budovy. Zatížení od výtahů není v modelu uvažováno.

3.2 Proměnné zatížení

3.2.1 Užitná zatížení

3.2.1.1 Stropy

Kategorie B – kancelářské plochy

$q_k = 2{,}50$ kN/m^2

$Q_k = 4{,}50$ kN

3.2.1.2 Přemístitelné příčky

Uvažovány přemístitelné příčky s vlastní tíhou do 1,0 kN/m' => $q_k = 0{,}50$ kN/m^2

3.2.1.3 Schodiště

Užitné zatížení schodiště uvažováno charakteristickou hodnotou $q_k = 1{,}50$ kN/m^2

3.2.2 Klimatická zatížení

3.2.2.1 Zatížení větrem

3.2.2.1.1 Základní rychlost větru

$V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$

$V_{b,0} = 22{,}5$ m/s … větrná oblast I, lokalita Olomouc

$c_{dir} = 1{,}0$ … součinitel směru větru

$c_{season} = 1{,}0$ … součinitel ročního období

$v_b = 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 22{,}5 = 22{,}50$ m/s

3.2.2.1.2 Součinitel drsnosti

$c_{r(z)} = k_r \cdot \ln(z/z_{min})$

Kategorie terénu II:

$z_0 = 0{,}05$ m

$z_{0,II} = 0{,}05$ m

$z_{min} = 2{,}0$ m

$z_{max} = 200$ m

$z = 16{,}0$ m; $z_{min} < z < z_{max}$

$k_r = 0{,}19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0{,}07} = 0{,}19 \cdot 1{,}0 = 0{,}19$

$c_{r(z)} = 0{,}19 \cdot \ln(16/0{,}05) = 1{,}096$

3.2.2.1.3 Základní dynamický tlak

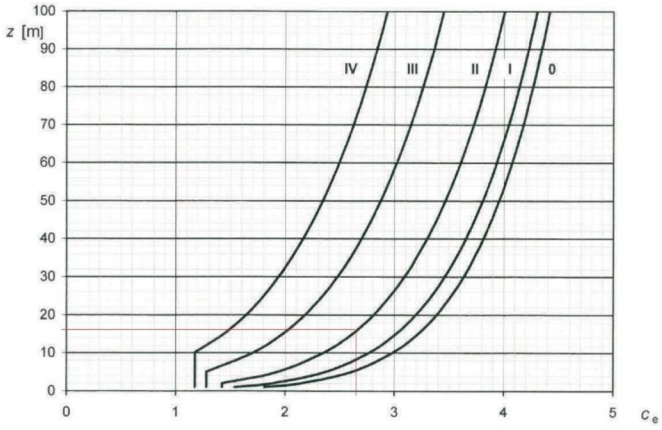
$q_b = ½ \cdot \rho \cdot v_b(z)^2$

$\rho = 1{,}25$ kg/m3 … standartní hodnota hustoty vzduchu

$q_b = ½ \cdot 1{,}25 \cdot 22{,}5^2 = 316{,}50$ N/m^2 $= 0{,}317$ kN/m^2

3.2.2.1.4 Součinitel expozice

Pro plochý terén, kde $c_{o(z)} = 1,0$ a $k_I = 1,0$, lze hodnotu stanovit z normy (ČSN EN 1991-1-4), graf 4.2.

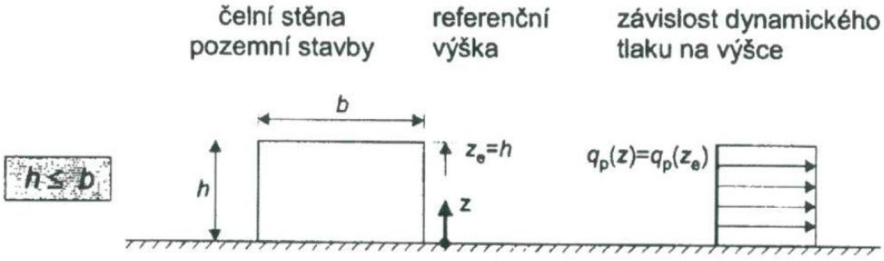


Obrázek 20: Stanovení součinitele expozice.

$c_e(z) = 2,70$

3.2.2.1.5 Maximální dynamický tlak

$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = 2,7 \cdot 0,317 = 0,86$ kN/m^2



Obrázek 21: Referenční výška pro směr X (-X) a Y (-Y).

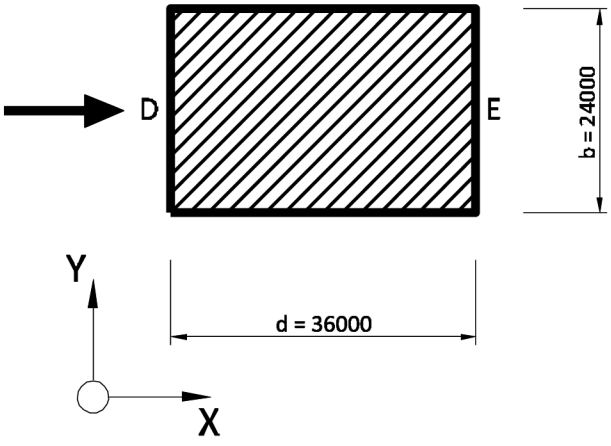
3.2.2.1.6 Tlak větru na vnější povrchy objektu

$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe}$

Výpočet zatížení je proveden v kapitolách 2.2.2.1.7, 2.2.2.1.8, 2.2.2.1.10 a 2.2.2.1.11.

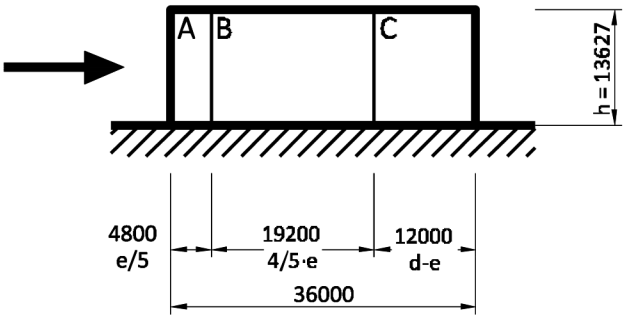
3.2.2.1.7 Zatížení svislých stěn ve směrech X a –X

Pro stanovení zatížení větrem byla určena průměrná výška budovy.



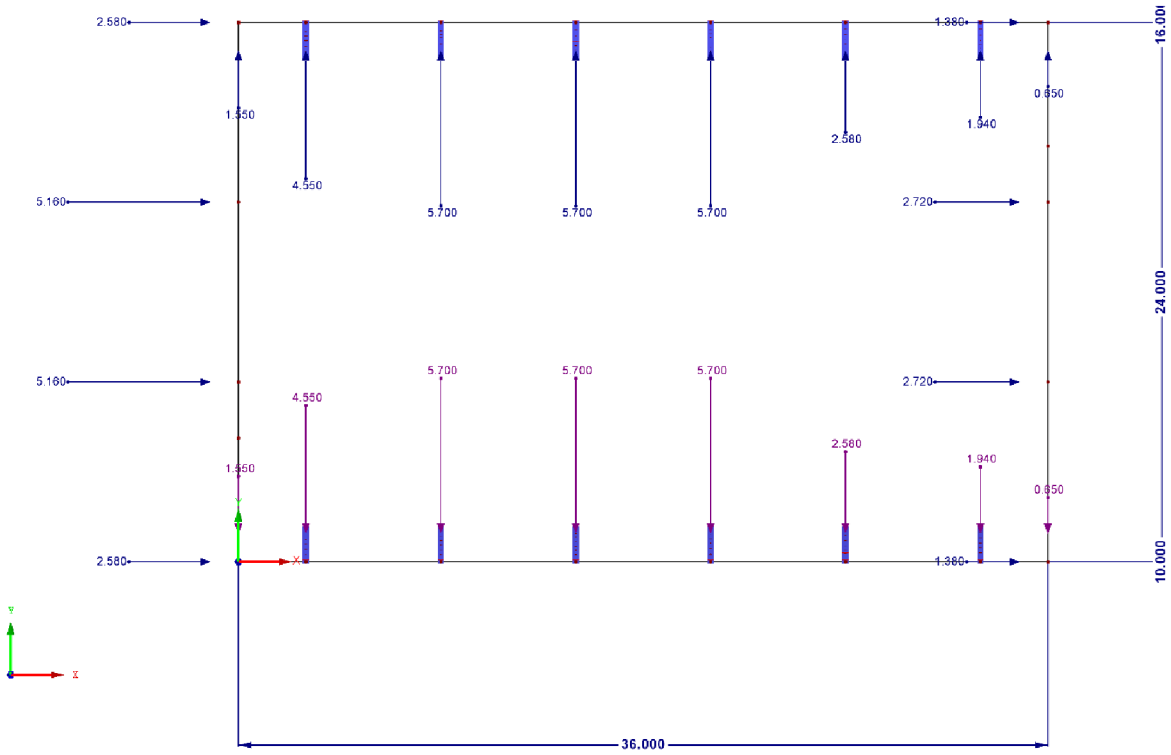
Průměrná výška h = 13,627 m
e = min{b; 2·h} = min{24; 27,25} = 24 m
d = 36,0 m
h/d = 13,627/36 = 0,37

Pro e < d:



A:
$c_{pe,10}$ = -1,20; $w_{e,A}$ = -1,03 kN/m^2
B:
$c_{pe,10}$ = -1,10; $w_{e,B}$ = -0,95 kN/m^2
C:
$c_{pe,10}$ = -0,50; $w_{e,C}$ = -0,43 kN/m^2
D:
$c_{pe,10}$ = 0,75; $w_{e,D}$ = 0,65 kN/m^2
E:
$c_{pe,10}$ = -0,40; $w_{e,E}$ = -0,34 kN/m^2

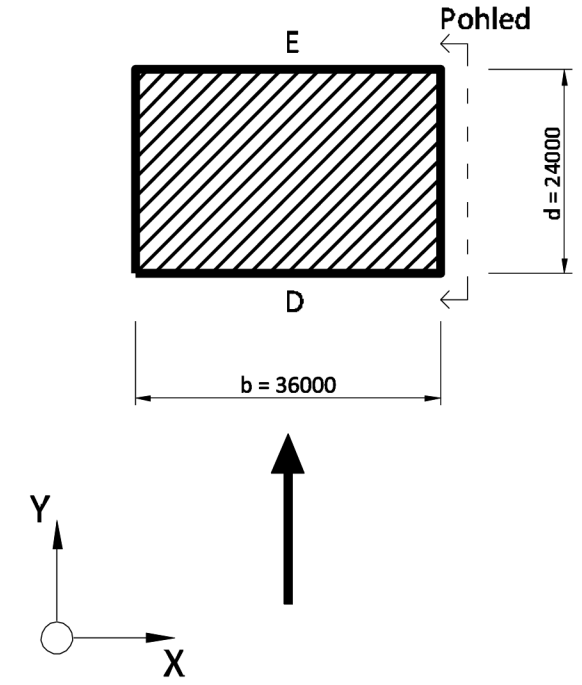
Plošné zatížení svislých stěn od působení větru bylo následně rozpočítáno na zatížení liniové, v závislosti na zatěžovacích šířkách a rozměrech oblastí působení, které bylo následně naneseno na sloupy.



Obrázek 22: Zatížení svislých stěn větrem, směr X (-X).

3.2.2.1.8 Zatížení svislých stěn ve směrech Y a –Y

Pro stanovení zatížení větrem byla určena průměrná výška budovy.



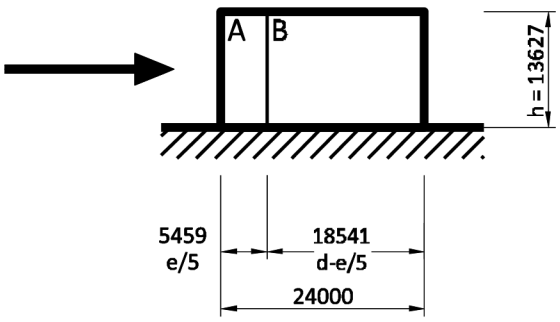
Průměrná výška h = 13,648 m

e= min{b; 2·h}= min{36; 27,29} = 27,29 m

d = 24,0 m

h/d = 13,627/36 = 0,566

Pro e ≥ d:



A:

$c_{pe,10}$ = -1,20; $w_{e,A}$ = -1,03 kN/m^2

B:

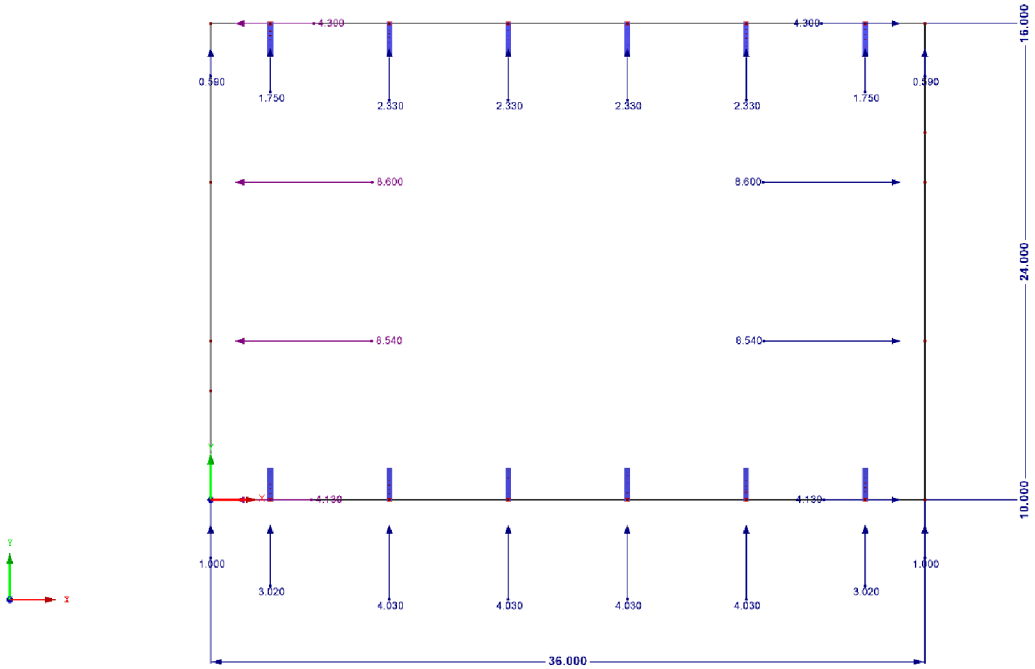
$c_{pe,10}$ = -1,25; $w_{e,B}$ = -1,08 kN/m^2

D:

$c_{pe,10}$ = 0,78; $w_{e,D}$ = 0,67 kN/m^2

E:

$c_{pe,10}$ = -0,45; $w_{e,E}$ = -0,39 kN/m^2



Obrázek 23: Zatížení svislých stěn větrem, směr Y (-Y).

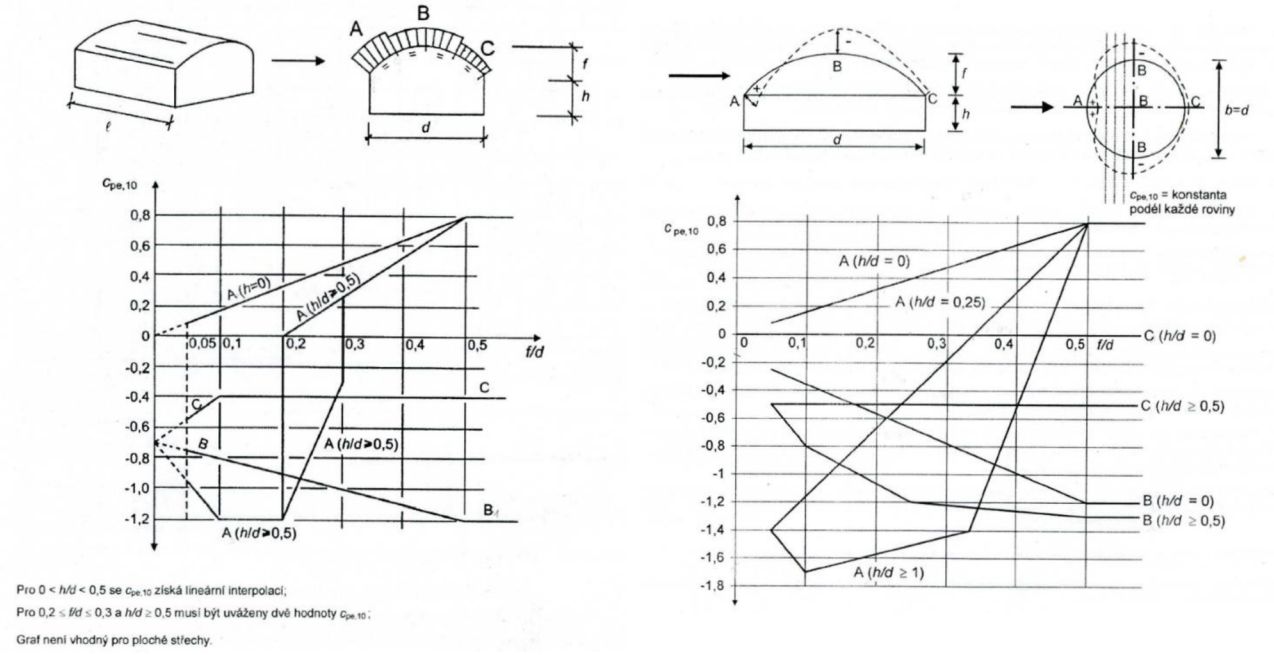
3.2.2.1.9 Zatížení střechy větrem - obecně

Vzhledem k atypickému tvaru bylo zatížení střechy administrativní budovy stanoveno na základě porovnání hodnot součinitele $c_{pe,10}$, stanoveným pomocí grafů 7.11 (válcové střechy) a 7.12 (kopule), článku 7.2.8 normy ČSN EN 1991-1-4, s průběhy povrchových tlaků stanovenými pomocí CFD simulace proudění vzduchu kolem budovy, provedené v programu Autodesk DesignFlow.

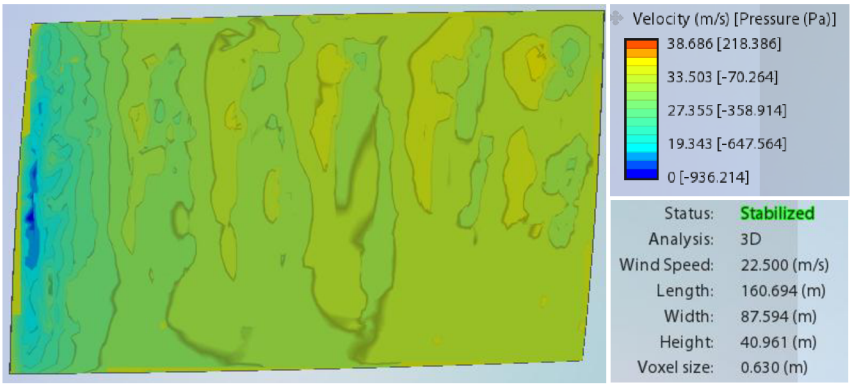
Hodnoty součinitele $c_{pe,10,A,B,C}$ pro střechu byly určeny pro směry X a Y a následně byly vyneseny do plošného grafu. Pro stanovení výsledného zatížení větrem byly pak použity hodnoty součinitele $c_{pe,10}$ nejvíce se blížící výsledkům CFD simulace.

Výpočet součinitele $c_{pe,10}$ dle normy neuvažoval ve výpočtu světlíky, jak ukázala simulace, jejich vliv na výsledné zatížení střechy větrem lze zanedbat.

Takto stanovené zatížení střechy bylo naneseno jako liniové a bodové zatížení na prvky výpočtového modelu.



Obrázek 24: Výpočet součinitele cpe,10 pro válcové střechy (vlevo) a pro kopule (vpravo) dle normy.



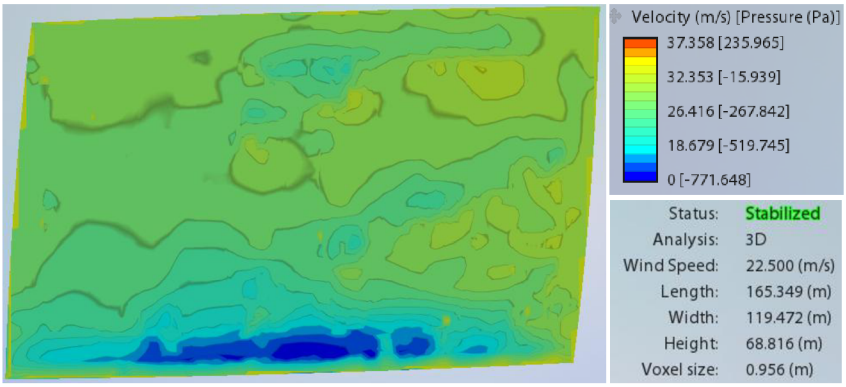
Obrázek 25: CFD simulace: povrchové tlaky od účinků větru.

Rychlost větru v simulaci odpovídala základní rychlosti větru v_b = 22,50 m/s. Z výsledků je patrné, že na většině plochy střechy účinkuje sání větru. Malé lokální tlaky jsou způsobeny přítomností světlíků v modelu pro CFD analýzu. Pro statickou analýzu bude vliv světlíků na rozložení zatížení větrem zanedbán.

Obrázek 26: Vítr v X: průběh cpe,10 pro kopuli.

Výstup průběhu součinitele $c_{pe,10}$ po ploše střechy zpracovaný programem MS Excel na základě metod výpočtu pro kopule a válcové střechy. Data z řezů pro odměření vzepětí a výšky budovy byly vygenerovány modulem Grasshopper programu Rhinoceros v hustotě 100 řezů v každém směru.

Obrázek 27: Vítr v X: průběh cpe,10 pro válcové střechy.



Obrázek 28: CFD simulace: povrchové tlaky od účinků větru.

Obrázek 29:Vítr v Y: průběh cpe,10 pro kopuli.

Obrázek 30: Vítr v Y: průběh cpe,10 pro válcové střechy.

Výpočty $c_{pe,10}$ a simulace pro směr Y byly provedeny identickým způsobem. Z grafů je patrné, že nejlépe simulaci odpovídá metoda výpočtu $c_{pe,10}$ pro kopule. Výsledné hodnoty součinitele cpe,10 pro zatížení střešního pláště byly tedy stanoveny na základě grafu 7.12. normy ČSN EN 1991-1-4.

3.2.2.1.10 Zatížení střechy větrem – směr X a –X

Výsledné zatížení střešního pláště účinky větru bylo zpracováno obdobným způsobem jako v případě ostatního stálého zatížení. Délky prutů byly měřeny na svislém průmětu, Zatěžovací šířky prutů zůstávají stejné.

POLE DÉLEK													
	1	a	2	b	3	c	4	d	5	e	6	f	7
10	3000	0	6000	0	6000	0	6000	0	6000	0	6000	0	3000
9	2192,949	1587,74	4412,503	1587,74	4412,503	1587,74	4412,503	1587,74	4412,503	1587,74	4412,503	1587,74	2218,098
8	1599,546	2767,212	3232,997	2767,212	3232,997	2767,212	3232,997	2767,212	3232,997	2767,212	3232,997	2767,212	1632,199
7	1210,045	3553,421	2446,654	3553,421	2446,654	3553,421	2446,654	3553,421	2446,654	3553,421	2446,654	3553,421	1236,161
6	1020,174	3949,78	2050,192	3949,78	2050,192	3949,78	2050,192	3949,78	2050,192	3949,78	2050,192	3949,78	1030,194
5	1030,194	3949,78	2050,192	3949,78	2050,192	3949,78	2050,192	3949,78	2050,192	3949,78	2050,192	3949,78	1020,174
4	1236,161	3553,421	2446,654	3553,421	2446,654	3553,421	2446,654	3553,421	2446,654	3553,421	2446,654	3553,421	1210,045
3	1632,199	2767,212	3232,997	2767,212	3232,997	2767,212	3232,997	2767,212	3232,997	2767,212	3232,997	2767,212	1599,546
2	2218,098	1587,74	4412,503	1587,74	4412,503	1587,74	4412,503	1587,74	4412,503	1587,74	4412,503	1587,74	2192,949
1	3000	0	6000	0	6000	0	6000	0	6000	0	6000	0	3000

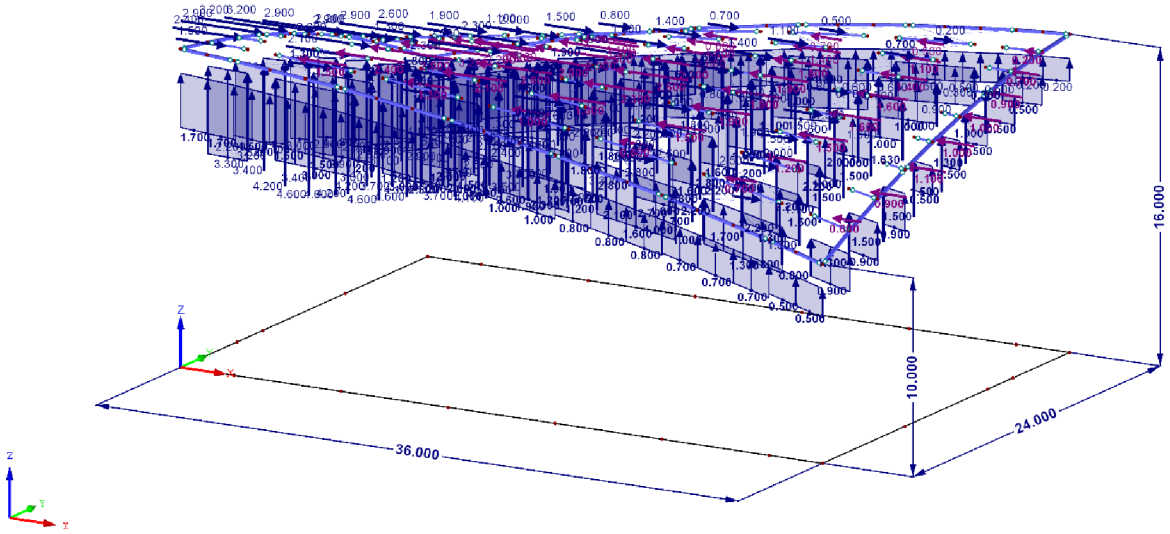
Tabulka 4: Délky prutů střešní roviny. Délky měřeny na půdorysném průmětu střednic prutů.

ZATÍŽENÍ VĚTREM - SOUČINITEL $c_{pe,10}$ - SMĚR X													
	1	a	2	b	3	c	4	d	5	e	6	f	7
10	-1,2	-1,15	-1,1	-1,05	-1	-0,8	-0,7	-0,6	-0,55	-0,5	-0,4	-0,2	-0,2
9	-1,25	-1,2	-1,1	-1,05	-1	-0,8	-0,75	-0,7	-0,65	-0,5	-0,4	-0,2	-0,2
8	-1,26	-1,2	-1,1	-1,05	-1	-0,85	-0,8	-0,75	-0,65	-0,6	-0,45	-0,4	-0,2
7	-1,27	-1,25	-1,15	-1,1	-1	-0,85	-0,8	-0,75	-0,65	-0,6	-0,45	-0,4	-0,2
6	-1,28	-1,25	-1,15	-1,1	-1,05	-0,9	-0,8	-0,75	-0,7	-0,6	-0,45	-0,4	-0,2
5	-1,32	-1,25	-1,15	-1,1	-1,05	-0,95	-0,8	-0,75	-0,7	-0,6	-0,45	-0,4	-0,2
4	-1,35	-1,25	-1,2	-1,12	-1,1	-1	-0,8	-0,8	-0,7	-0,65	-0,5	-0,45	-0,4
3	-1,4	-1,3	-1,25	-1,15	-1,1	-1	-0,85	-0,8	-0,7	-0,65	-0,55	-0,5	-0,4
2	-1,45	-1,45	-1,3	-1,2	-1,1	-1	-0,85	-0,8	-0,7	-0,65	-0,55	-0,55	-0,4
1	-1,5	-1,45	-1,35	-1,25	-1,05	-1	-0,85	-0,8	-0,7	-0,65	-0,6	-0,55	-0,4

Tabulka 5: Součinitel cpe,10 nad střešním pláštěm pro směr X (-X)

VÍTR X [kN/m'], [kN]																					
	1	a		2	b		3	c		4	d		5	e		6	f		7
10	-1,4	2·(0)	2·(0)	-1,3	2·(0)	2·(0)	-1,1	2·(0)	2·(0)	-0,8	2·(0)	2·(0)	-0,6	2·(0)	2·(0)	-0,5	2·(0)	2·(0)	-0,2
9	-2,9	2·(-1,3)	2·(-1,8)	-2,5	2·(-1,1)	2·(-1,6)	-2,3	2·(-0,8)	2·(-1,2)	-1,7	2·(-0,7)	2·(-1)	-1,5	2·(-0,5)	2·(-0,7)	-0,9	2·(-0,2)	2·(-0,3)	-0,5
8	-2,9	2·(-2,2)	2·(-3,1)	-2,5	2·(-1,9)	2·(-2,7)	-2,3	2·(-1,5)	2·(-2,2)	-1,8	2·(-1,4)	2·(-1,9)	-1,5	2·(-1,1)	2·(-1,6)	-1,0	2·(-0,7)	2·(-1)	-0,5
7	-2,9	2·(-2,9)	2·(-4,2)	-2,6	2·(-2,6)	2·(-3,7)	-2,3	2·(-2)	2·(-2,8)	-1,8	2·(-1,8)	2·(-2,5)	-1,5	2·(-1,4)	2·(-2)	-1,0	2·(-0,9)	2·(-1,3)	-0,5
6	-2,9	2·(-3,2)	2·(-4,6)	-2,6	2·(-2,9)	2·(-4,1)	-2,4	2·(-2,3)	2·(-3,3)	-1,8	2·(-1,9)	2·(-2,8)	-1,6	2·(-1,6)	2·(-2,2)	-1,0	2·(-1)	2·(-1,5)	-0,5
5	-3,0	2·(-3,2)	2·(-4,6)	-2,6	2·(-2,9)	2·(-4,1)	-2,4	2·(-2,5)	2·(-3,5)	-1,8	2·(-1,9)	2·(-2,8)	-1,6	2·(-1,6)	2·(-2,2)	-1,0	2·(-1)	2·(-1,5)	-0,5
4	-3,1	2·(-2,9)	2·(-4,2)	-2,8	2·(-2,6)	2·(-3,7)	-2,5	2·(-2,3)	2·(-3,3)	-1,8	2·(-1,9)	2·(-2,7)	-1,6	2·(-1,5)	2·(-2,2)	-1,1	2·(-1,1)	2·(-1,5)	-0,9
3	-3,2	2·(-2,4)	2·(-3,4)	-2,9	2·(-2,1)	2·(-3)	-2,5	2·(-1,8)	2·(-2,6)	-1,9	2·(-1,5)	2·(-2,1)	-1,6	2·(-1,2)	2·(-1,7)	-1,3	2·(-0,9)	2·(-1,3)	-0,9
2	-3,3	2·(-1,5)	2·(-2,2)	-3,0	2·(-1,3)	2·(-1,8)	-2,5	2·(-1)	2·(-1,5)	-1,9	2·(-0,8)	2·(-1,2)	-1,6	2·(-0,7)	2·(-1)	-1,3	2·(-0,6)	2·(-0,8)	-0,9
1	-1,7	2·(0)	2·(0)	-1,5	2·(0)	2·(0)	-1,2	2·(0)	2·(0)	-1,0	2·(0)	2·(0)	-0,8	2·(0)	2·(0)	-0,7	2·(0)	2·(0)	-0,5

Tabulka 6: Výsledné liniové a bodové zatížení prvků v rovině střechy pro směr X (-X).



Obrázek 31: Zatížení střešního pláště větrem, dle tab. 6.

3.2.2.1.11 Zatížení střechy větrem – směr Y a –Y

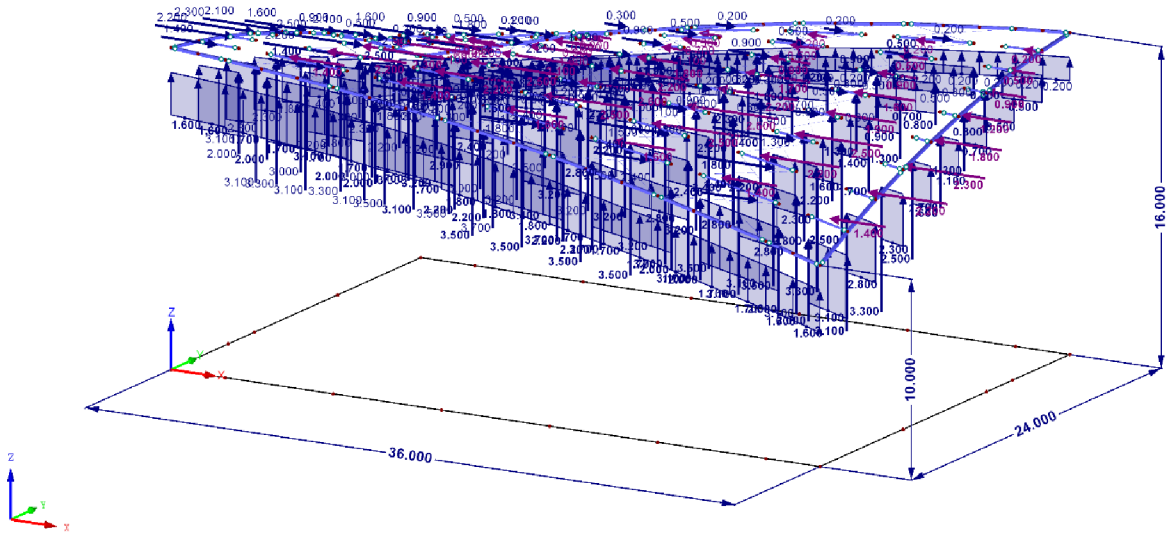
Délky prutů zůstávají stejné.

ZATÍŽENÍ VĚTREM - POLE SOUČINITELE $C_{pe,10}$ - SMĚR Y													
	1	a	2	b	3	c	4	d	5	e	6	f	7
10	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
9	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
8	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2
7	-0,45	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,45	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3
6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,68	-0,7	-0,66	-0,6	-0,6	-0,6	-0,45	-0,5
5	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,85	-0,95	-0,85	-0,8	-0,75	-0,7	-0,68	-0,7
4	-1	-1	-1	-1,05	-1,05	-1,1	-1,2	-1,1	-1,05	-1,05	-1	-1	-1
3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,25	-1,35	-1,4	-1,35	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
2	-1,35	-1,35	-1,35	-1,35	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,35	-1,35	-1,35	-1,35
1	-1,4	-1,4	-1,45	-1,45	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,45	-1,45	-1,4	-1,4

Tabulka 7: Součinitel cpe,10 nad střešním pláštěm pro směr Y (-Y)

VÍTR Y [kN/m'], [kN]																			
	1	a		2	b		3	c		4	d		5	e		6	f		7
10	-0,2	2·(0)	2·(0)	-0,2	2·(0)	2·(0)	-0,2	2·(0)	2·(0)	-0,2	2·(0)	2·(0)	-0,2	2·(0)	2·(0)	-0,2	2·(0)	2·(0)	-0,2
9	-0,7	2·(-0,2)	2·(-0,3)	-0,5	2·(-0,2)	2·(-0,3)	-0,7	2·(-0,3)	2·(-0,4)	-0,7	2·(-0,2)	2·(-0,3)	-0,5	2·(-0,2)	2·(-0,3)	-0,5	2·(-0,2)	2·(-0,3)	-0,5
8	-0,9	2·(-0,5)	2·(-0,8)	-0,7	2·(-0,5)	2·(-0,8)	-0,9	2·(-0,7)	2·(-1)	-0,9	2·(-0,5)	2·(-0,8)	-0,7	2·(-0,5)	2·(-0,8)	-0,7	2·(-0,5)	2·(-0,8)	-0,5
7	-1,0	2·(-0,9)	2·(-1,3)	-0,9	2·(-0,9)	2·(-1,3)	-0,9	2·(-1,1)	2·(-1,5)	-1,1	2·(-0,9)	2·(-1,3)	-0,9	2·(-0,9)	2·(-1,3)	-0,9	2·(-0,9)	2·(-1,3)	-0,7
6	-1,4	2·(-1,6)	2·(-2,2)	-1,4	2·(-1,6)	2·(-2,2)	-1,4	2·(-1,8)	2·(-2,5)	-1,6	2·(-1,7)	2·(-2,4)	-1,4	2·(-1,6)	2·(-2,2)	-1,4	2·(-1,2)	2·(-1,7)	-1,1
5	-1,8	2·(-2,1)	2·(-3)	-1,8	2·(-2,1)	2·(-3)	-1,8	2·(-2,2)	2·(-3,2)	-2,2	2·(-2,2)	2·(-3,2)	-1,8	2·(-1,9)	2·(-2,8)	-1,6	2·(-1,8)	2·(-2,5)	-1,6
4	-2,3	2·(-2,3)	2·(-3,3)	-2,3	2·(-2,5)	2·(-3,5)	-2,4	2·(-2,6)	2·(-3,7)	-2,8	2·(-2,6)	2·(-3,7)	-2,4	2·(-2,5)	2·(-3,5)	-2,3	2·(-2,3)	2·(-3,3)	-2,3
3	-2,8	2·(-2,2)	2·(-3,1)	-2,8	2·(-2,2)	2·(-3,1)	-2,9	2·(-2,5)	2·(-3,5)	-3,2	2·(-2,5)	2·(-3,5)	-2,8	2·(-2,2)	2·(-3,1)	-2,8	2·(-2,2)	2·(-3,1)	-2,8
2	-3,1	2·(-1,4)	2·(-2)	-3,1	2·(-1,4)	2·(-2)	-3,2	2·(-1,6)	2·(-2,2)	-3,4	2·(-1,6)	2·(-2,2)	-3,2	2·(-1,4)	2·(-2)	-3,1	2·(-1,4)	2·(-2)	-3,1
1	-1,6	2·(0)	2·(0)	-1,7	2·(0)	2·(0)	-1,7	2·(0)	2·(0)	-1,8	2·(0)	2·(0)	-1,7	2·(0)	2·(0)	-1,7	2·(0)	2·(0)	-1,6

Tabulka 8: Výsledné liniové a bodové zatížení prvků v rovině střechy pro směr Y (-Y).



Obrázek 32:Zatížení střešního pláště větrem, dle tab. 8.

3.2.2.1.12 Zatížení třením od účinků větru

Pro směr X:

Plocha vnějších povrchů rovnoběžná se směrem X:

$A_x = 13,627 \cdot 36 \cdot 2 = 981,144\ m^2$

Čtyřnásobek plochy vnějších povrchů kolmých na směr X:

$4 \cdot A_y = 4 \cdot 13,648 \cdot 24 \cdot 2 = 2620,416\ m2$

$A_x \leq 4 \cdot A_y$

$981,144 \leq 2620,416$

… dle čl. 5.3 odst. (4) normy ČSN EN 1991-1-4 možno účinky zanedbat.

3.2.2.2 Zatížení sněhem

3.2.2.2.1 Zatížení sněhem – obecně

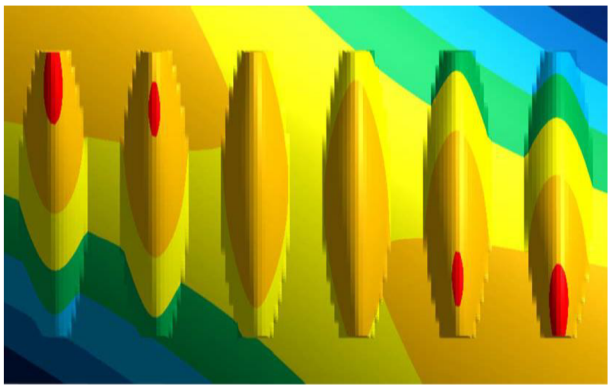
Umístění stavby: Olomouc

Sněhová oblast I.: s_k = 0,75 kN/m2

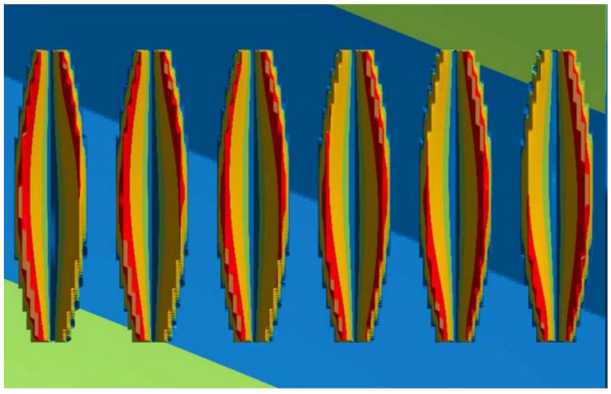
Součinitel okolního prostředí c_e = 1,0

Tepelný součinitel c_t = 1,0

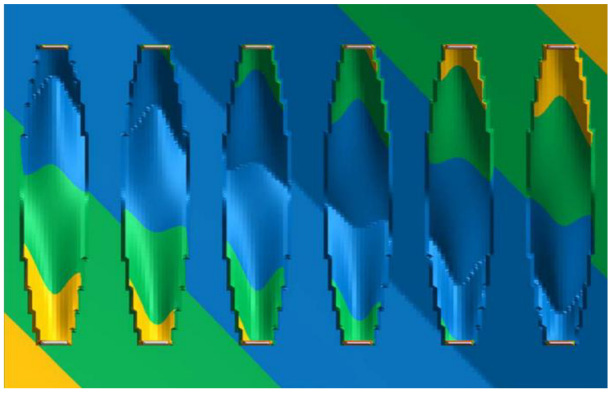
3.2.2.2.2 Tvarový součinitel



Obrázek 33: Tvar střechy, znázorněn v programu MS Excel.



Obrázek 34: Sklon povrchu střechy ve směru X [°].



Obrázek 35: Sklon povrchu střechy ve směru Y [°].

Ze sklonových poměrů střešního pláště včetně světlíků byl stanoven tvarový součinitel μ_1 a μ_2. Součinitel μ_1 byl použit pro výpočet zatížení mezi světlíky, součinitel μ_2 byl použit pro výpočet zatížení nad světlíky.

Průběh tvarových součinitelů byl určen pro každý směr na základě vztahů v tab. 5.2 a obr. 5.4 – Tvarové součinitele zatížení sněhem pro střechy s více sklony, uvedené v normě ČSN EN 1991-1-3 – Zatížení sněhem. Výsledná hodnota tvarových součinitelů je pak zjednodušeně uvažována jako průměr hodnot μ_i ve směru X a ve směru Y.

Výsledné zatížení sněhem je rozděleno do třech zatěžovacích stavů:

a) sníh plný

b) návěje mezi světlíky 1

c) návěje mezi světlíky 2

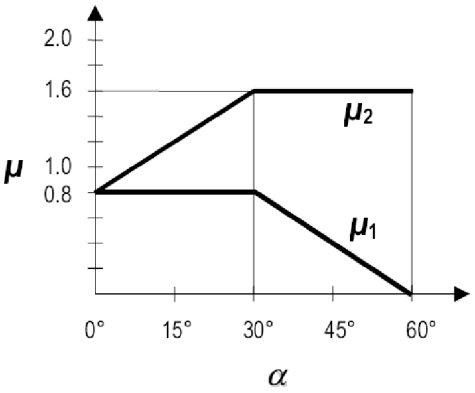


Table 5.2: Snow load shape coefficients

Angle of pitch of roof α	$0° \le \alpha \le 30°$	$30° < \alpha < 60°$	$\alpha \ge 60°$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8\ \alpha/30$	1,6	--

(3) The load arrangement of Figure 5.2 should be used for both the undrifted and drifted load arrangements.

Obrázek 36: Výchozí vztahy pro stanovení tvarových součinitelů.

ZATÍŽENÍ SNĚHEM - SNÍH PLNÝ													
	1	a	2	b	3	c	4	d	5	e	6	f	7
10	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
3	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Tabulka 9: Průběh μ pro sníh plný.

ZATÍŽENÍ SNĚHEM 1 - SOUČINITEL μ													
	1	a	2	b	3	c	4	d	5	e	6	f	7
10	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	0,8	1	0,8	1,2	0,8	1,4	0,8	0,8
7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	0,8	1,2	0,8	1,4	0,8	0,8
6	0,8	0,8	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	0,8	1,2	0,8	0,8
5	0,8	0,8	1,2	0,8	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	0,8	0,8
4	0,8	0,8	1,4	0,8	1,2	0,8	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
3	0,8	0,8	1,4	0,8	1,2	0,8	1	0,8	1	0,8	0,8	0,8	0,8
2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Tabulka 10: Průběh μ pro návěje mezi světlíky (μ_1 nad světlíky, μ_2 mezi světlíky).

ZATÍŽENÍ SNĚHEM 2 - SOUČINITEL μ													
	1	a	2	b	3	c	4	d	5	e	6	f	7
10	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
8	0,8	0,8	1,4	0,8	1,2	0,8	1	0,8	1	0,8	0,8	0,8	0,8
7	0,8	0,8	1,4	0,8	1,2	0,8	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
6	0,8	0,8	1,2	0,8	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	0,8	0,8
5	0,8	0,8	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	0,8	1,2	0,8	0,8
4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	0,8	1,2	0,8	1,4	0,8	0,8
3	0,8	0,8	0,8	0,8	1	0,8	1	0,8	1,2	0,8	1,4	0,8	0,8
2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Tabulka 11: Průběh μ pro návěje mezi světlíky (μ_1 nad světlíky, μ_2 mezi světlíky).

3.2.2.2.3 Zatížení sněhem

$s = \mu \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k$

$c_e = 1,0$

$c_t = 1,0$

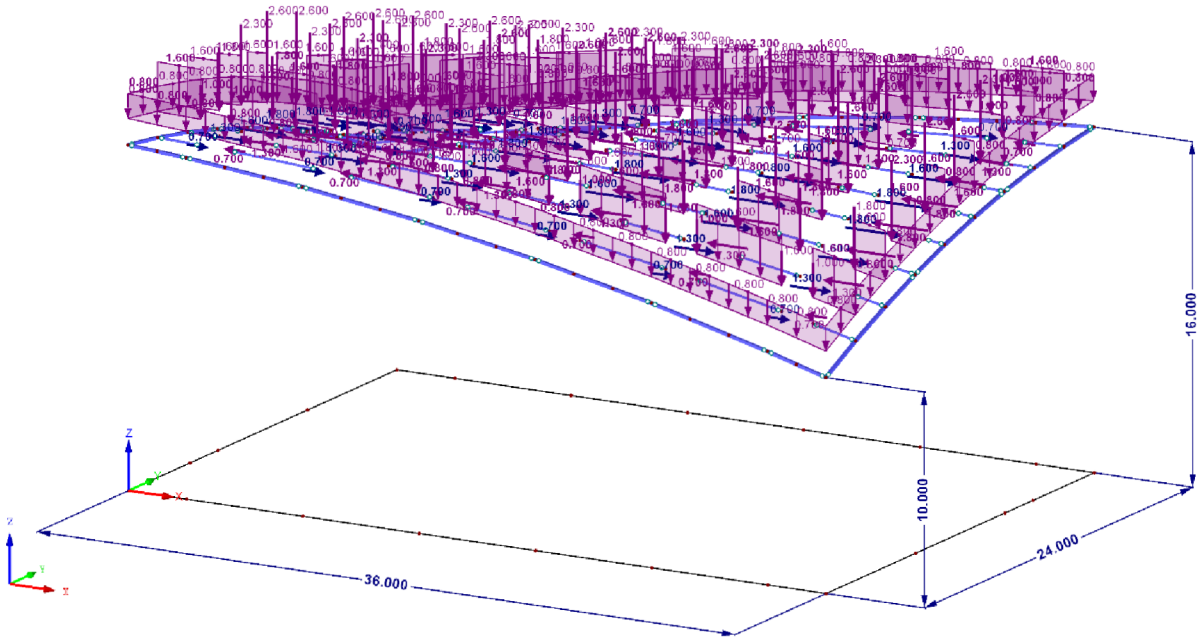
$s_k = 0,75\ kN/m^2$

3.2.2.2.4 Sníh plný

SNÍH PLNÝ [kN/m'], [kN]

	1	ax	ay	2	bx	by	3	cx	cy	4	dx	dy	5	ex	ey	6	fx	fy	7
10	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8
9	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6
8	1,6	2·1,3	2·1,8	1,6	2·1,3	2·1,8	1,6	2·1,3	2·1,8	1,6	2·1,3	2·1,8	1,6	2·1,3	2·1,8	1,6	2·1,3	2·1,8	1,6
7	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6
6	1,6	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	1,6
5	1,6	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	1,6
4	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6
3	1,6	2·1,3	2·1,8	1,6	2·1,3	2·1,8	1,6	2·1,3	2·1,8	1,6	2·1,3	2·1,8	1,6	2·1,3	2·1,8	1,6	2·1,3	2·1,8	1,6
2	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6
1	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8

Tabulka 12: Výsledné liniové a bodové zatížení prvků v rovině střechy.



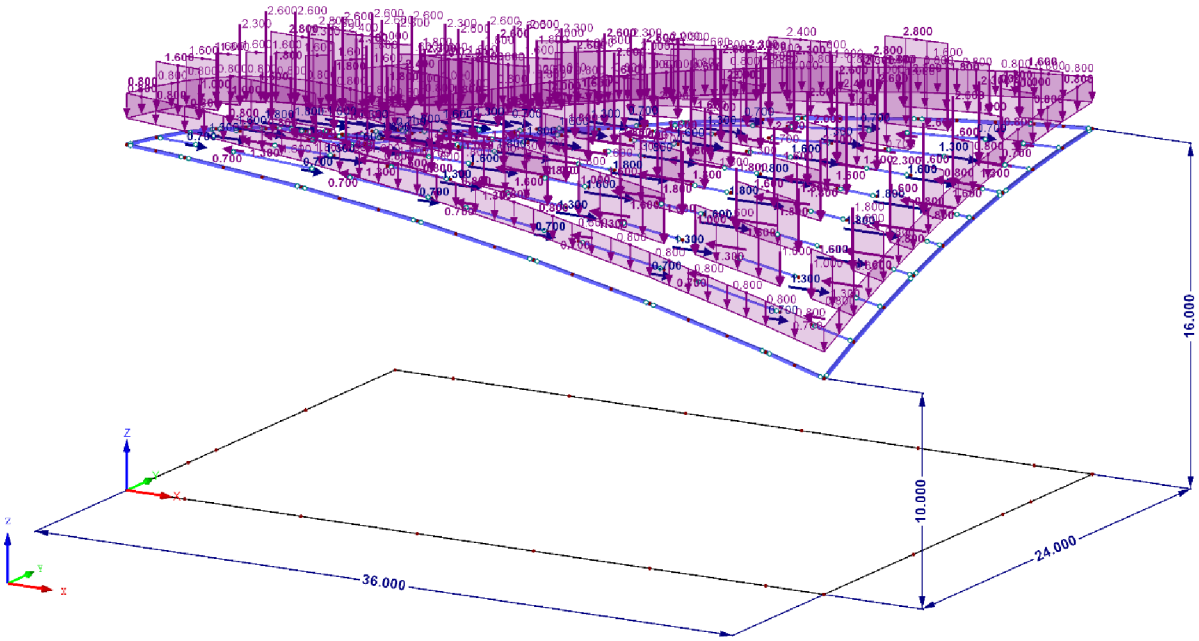
Obrázek 37: Zatížení střešního pláště sněhem, dle tab. 12.

3.2.2.2.5 Sníh – Případ (i)

SNÍH 1 [kN/m'], [kN]

	1	ax	ay	2	bx	by	3	cx	cy	4	dx	dy	5	ex	ey	6	fx	fy	7
10	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8
9	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6
8	1,6	2·1,3	2·1,8	1,6	2·1,3	2·1,8	2,0	2·1,3	2·1,8	2,0	2·1,3	2·1,8	2,4	2·1,3	2·1,8	2,8	2·1,3	2·1,8	1,6
7	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	2,0	2·1,6	2·2,3	2,4	2·1,6	2·2,3	2,8	2·1,6	2·2,3	1,6
6	1,6	2·1,8	2·2,6	2,0	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	2,0	2·1,8	2·2,6	2,4	2·1,8	2·2,6	1,6
5	1,6	2·1,8	2·2,6	2,4	2·1,8	2·2,6	2,0	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	2,0	2·1,8	2·2,6	1,6
4	1,6	2·1,6	2·2,3	2,8	2·1,6	2·2,3	2,4	2·1,6	2·2,3	2,0	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6
3	1,6	2·1,3	2·1,8	2,8	2·1,3	2·1,8	2,4	2·1,3	2·1,8	2,0	2·1,3	2·1,8	2,0	2·1,3	2·1,8	1,6	2·1,3	2·1,8	1,6
2	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6
1	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8

Tabulka 13: Výsledné liniové a bodové zatížení prvků v rovině střechy.



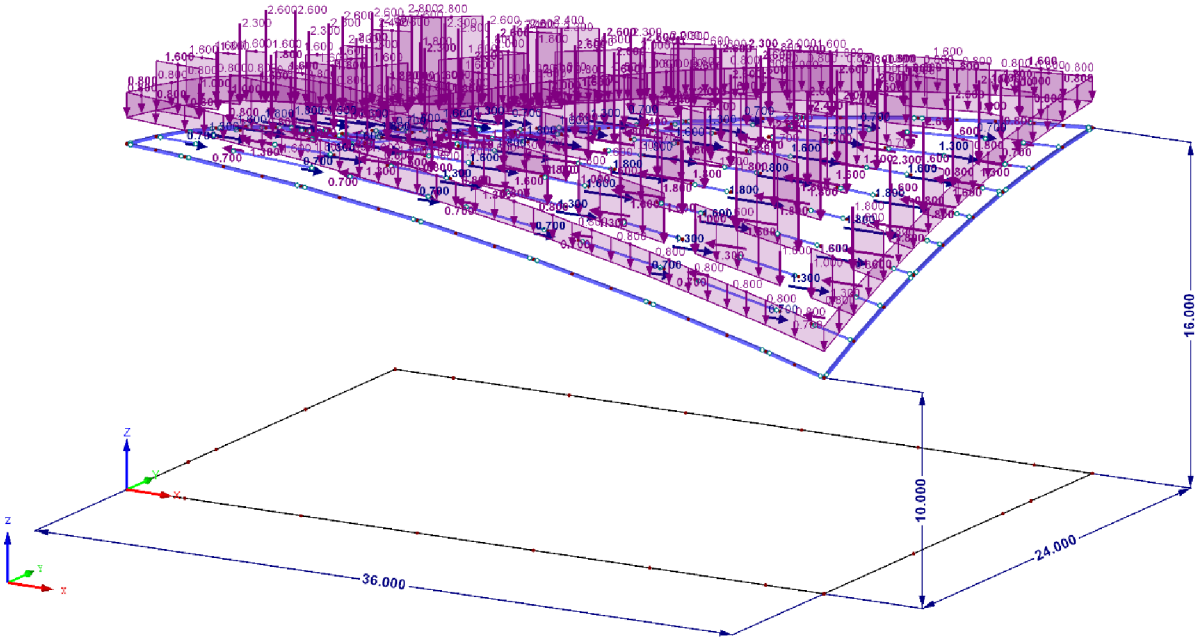
Obrázek 38: Zatížení střešního pláště sněhem, dle tab. 13.

3.2.2.2.6 Sníh – Případ (ii)

SNÍH 2 [kN/m'], [kN]

	1	ax	ay	2	bx	by	3	cx	cy	4	dx	dy	5	ex	ey	6	fx	fy	7
10	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8
9	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6
8	1,6	2·1,3	2·1,8	2,8	2·1,3	2·1,8	2,4	2·1,3	2·1,8	2,0	2·1,3	2·1,8	2,0	2·1,3	2·1,8	1,6	2·1,3	2·1,8	1,6
7	1,6	2·1,6	2·2,3	2,8	2·1,6	2·2,3	2,4	2·1,6	2·2,3	2,0	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6
6	1,6	2·1,8	2·2,6	2,4	2·1,8	2·2,6	2,0	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	2,0	2·1,8	2·2,6	1,6
5	1,6	2·1,8	2·2,6	2,0	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	1,6	2·1,8	2·2,6	2,0	2·1,8	2·2,6	2,4	2·1,8	2·2,6	1,6
4	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	1,6	2·1,6	2·2,3	2,0	2·1,6	2·2,3	2,4	2·1,6	2·2,3	2,8	2·1,6	2·2,3	1,6
3	1,6	2·1,3	2·1,8	1,6	2·1,3	2·1,8	2,0	2·1,3	2·1,8	2,0	2·1,3	2·1,8	2,4	2·1,3	2·1,8	2,8	2·1,3	2·1,8	1,6
2	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6	2·0,7	2·1	1,6
1	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8	2·0	2·0	0,8

Tabulka 14: Výsledné liniové a bodové zatížení prvků v rovině střechy.



Obrázek 39: Zatížení střešního pláště sněhem, dle tab. 14.

3.3 Zatěžovací stavy

ZS1 – Vlastní tíha
ZS2 – Ostatní stálé
ZS3 – Užitné plné
ZS4 – Užitné šach 1
ZS5 – Užitné šach 2
ZS6 – Vítr X
ZS7 – Vítr –X
ZS8 – Vítr Y
ZS9 – Vítr –Y
ZS10 – Sníh plný
ZS11 – Sníh 1
ZS12 – Sníh 2

3.4 Kombinace zatížení

3.4.1 Kombinační vztah pro MSÚ:

$$\begin{cases} \sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} \,"+"\, \gamma_P P \,"+"\, \gamma_{Q,1}\psi_{0,1} Q_{k,1} \,"+"\, \sum_{i>1} \gamma_{Q,i}\psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j\geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} \,"+"\, \gamma_P P \,"+"\, \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \,"+"\, \sum_{i>1} \gamma_{Q,i}\psi_{0,i} Q_{k,i} \end{cases}$$

*Rovnice 1: Rovnice 6.10.a + 6.10b**

3.4.2 Kombinační vztah pro MSP:

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

*Rovnice 2: Rovnice 6.14b**

*statický program používá odlišné označení účinků

3.4.3 Účinky

G	...	ZS1 + ZS2	...	stálé
Qi B	...	ZS3 + ZS4 + ZS5	...	proměnné
Qs	...	ZS10 + ZS11 + ZS12	...	sníh
Qw	...	ZS6 + ZS7 + ZS8 + ZS9	...	vítr

3.4.4 Kombinace účinků pro MSÚ

STR	KÚ1	1.35G
STR	KÚ2	1.15G
STR	KÚ3	1.35G + 1.05QiB
STR	KÚ4	1.15G + 1.50QiB
STR	KÚ5	1.35G + 1.05QiB + 0.75Qs
STR	KÚ6	1.35G + 0.75Qs
STR	KÚ7	1.15G + 1.50QiB + 0.75Qs
STR	KÚ8	1.15G + 1.50Qs
STR	KÚ9	1.15G + 1.05QiB + 1.50Qs
STR	KÚ10	1.35G + 1.05QiB + 0.75Qs + 0.90Qw
STR	KÚ11	1.35G + 1.05QiB + 0.90Qw
STR	KÚ12	1.35G + 0.75Qs + 0.90Qw
STR	KÚ13	1.35G + 0.90Qw
STR	KÚ14	1.15G + 1.50QiB + 0.75Qs + 0.90Qw
STR	KÚ15	1.15G + 1.50QiB + 0.90Qw
STR	KÚ16	1.15G + 1.05QiB + 1.50Qs + 0.90Qw
STR	KÚ17	1.15G + 1.50Qs + 0.90Qw
STR	KÚ18	1.15G + 1.50Qw
STR	KÚ19	1.15G + 1.05QiB + 1.50Qw
STR	KÚ20	1.15G + 1.05QiB + 0.75Qs + 1.50Qw
STR	KÚ21	1.15G + 0.75Qs + 1.50Qw

Tabulka 15: Kombinace účinků pro MSÚ.

3.4.5 Kombinace účinků pro MSP

S Ch	KÚ22	1.00G
S Ch	KÚ23	1.00G + 1.00QiB
S Ch	KÚ24	1.00G + 1.00QiB + 0.50Qs
S Ch	KÚ25	1.00G + 1.00Qs
S Ch	KÚ26	1.00G + 0.70QiB + 1.00Qs
S Ch	KÚ27	1.00G + 1.00QiB + 0.50Qs + 0.60Qw
S Ch	KÚ28	1.00G + 1.00QiB + 0.60Qw
S Ch	KÚ29	1.00G + 0.70QiB + 1.00Qs + 0.60Qw
S Ch	KÚ30	1.00G + 1.00Qs + 0.60Qw
S Ch	KÚ31	1.00G + 1.00Qw
S Ch	KÚ32	1.00G + 0.70QiB + 1.00Qw
S Ch	KÚ33	1.00G + 0.70QiB + 0.50Qs + 1.00Qw
S Ch	KÚ34	1.00G + 0.50Qs + 1.00Qw

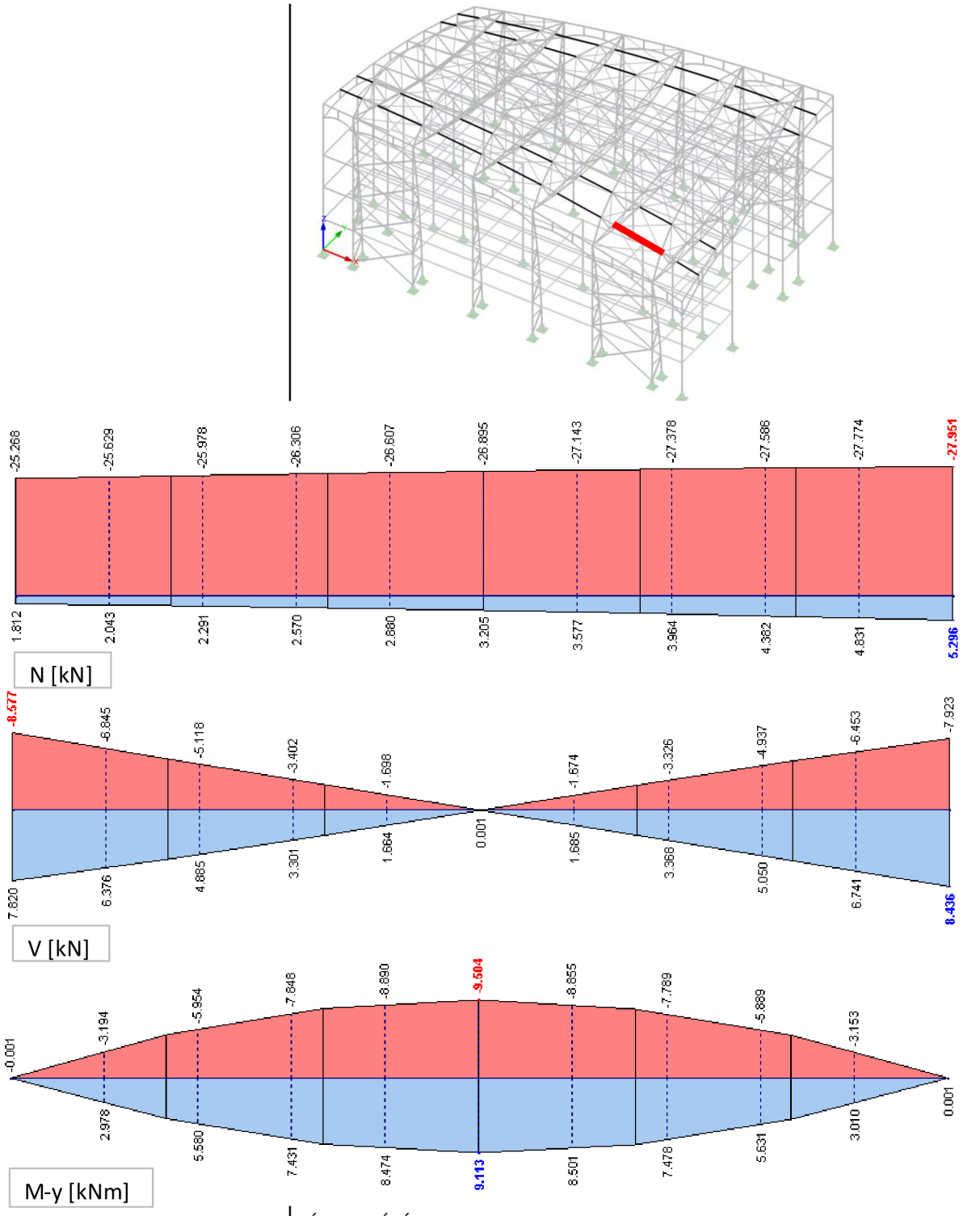
Tabulka 16: Kombinace účinků pro MSP.

3.4.6 Kombinace zatížení

Z kombinací účinků bylo celkem automaticky vygenerováno 1749 kombinací zatížení pro oba mezní stavy (1095 kombinací pro MSÚ a 654 kombinací pro MSP). Seznam kombinací je uveden v části 4.

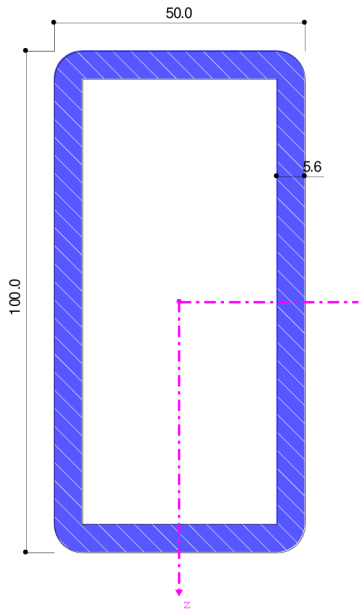
4 Posouzení

4.1 Krajní řady střešních vaznic



NÁVRHOVÉ SÍLY:

$M_{Ed,y}$ = 9,50 kNm	$M_{Ed,z}$ = 0,62 kNm
$N_{Ed,tlak}$ = 27,95 kN	$V_{Ed,z}$ = 8,58 kN
$N_{Ed,tah}$ = 5,30 kN	



NAVRŽENÝ PROFIL:

- TR OBD 50 / 100 / 5,6
- třída průřezu: 1
- nejdelší vaznice:
  L = 4481 mm
- průřezové charakteristiky:
  A = 1530,00 mm²
  $A_{v,z}$ = 1020,00 mm²
  Iy = 1,84E+6 mm⁴
  I_z = 5,94E+5 mm⁴
  i_y = 34,70 mm
  i_z = 19,70 mm
  I_t = 1,44E+6 mm⁴
  $W_{y,pl}$ = 4,72E+4 mm³
  $W_{z,pl}$ = 2,84E+4 mm³
- materiálové charakteristiky
  f_{yk} = 355,00 MPa
  E = 210,00 GPa
  G = 81,00 GPa
  γ_{M0} = 1,00

POSOUZENÍ NA OHYB:

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{y,pl} f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$M_{pl,Rd}$ = 16,76 kNm

M_{Ed}	<	$M_{pl,Rd}$		
9,50 kNm	<	**16,76 kNm**	...	VYHOVÍ

využití 56,7 %

POSOUZENÍ NA SMYK:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_{yk}}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

$V_{pl,Rd}$ = 209,06 kN

$V_{Ed,z}$	<	$V_{pl,Rd}$		
16,76 kN	<	**209,06 kN**	...	VYHOVÍ

využití 8 %

POSOUZENÍ NA TAH:

$$N_{Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

N_{Rd} = 543,15 kN

$N_{Ed,tah}$	<	N_{Rd}		
5,30 kN	<	**543,15 kN**	...	VYHOVÍ

využití 1 %

POSOUZENÍ NA ROVINNÝ VZPĚR:

- vzpěrné délky

$L_{cr,z} = L = 4481$ mm

- křivka vzpěrné pevnosti: a

$\alpha = 0,21$

- vzpěr kolmo k y:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$\varepsilon = 0,814$

$\lambda_1 = 93,9e = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i}\frac{1}{\lambda_1}$$

$\bar{\lambda}_y = 1,690$

$$\phi = 0,5\left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0,2\right) + \bar{\lambda}^2\right]$$

$\phi_y = 2,085$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$\chi_y = 0,303$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$N_{b,Rd,y} = 164,30$ kN

$N_{Ed,tlak}$	<	$N_{b,Rd,y}$		
27,95 kN	**<**	**164,30 kN**	...	VYHOVÍ

využití 17 %

- vzpěr kolmo k z:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$\varepsilon = 0,814$

$\lambda_1 = 93,9e = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i}\frac{1}{\lambda_1}$$

$\bar{\lambda}_z = 2,977$

$$\phi = 0,5\left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0,2\right) + \bar{\lambda}^2\right]$$

$\phi_z = 5,224$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$\chi_z = 0,105$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$N_{b,Rd,z}$ = 57,08 kN

$N_{Ed,tlak}$	<	$N_{b,Rd,z}$		
27,95 kN	**<**	**57,08 kN**	...	VYHOVÍ

využití 49 %

POSOUZENÍ NA KOMBINACI OHYB + OSOVÝ TLAK:

χ_y = 0,303
χ_z = 0,105
χ_{LT} = 1,000 ... průřez není citlivý na klopení

$M_{y,Rk}$ = 16,76 kNm
$M_{z,Rk}$ = 10,10 kNm

- výpočet interakčních součinitelů k_{yy}, k_{yz}, k_{zy} a k_{zz}:

- dle tab. B.1 ČSN EN 1993-1-1

C_{my} = 0,95
C_{mz} = 0,95

$$k_{yy} = C_{my}\left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0{,}2)\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right] \leq C_{my}\left(1 + 0{,}8\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$$

k_{yy} = 1,079 ≤ 1,079

k_{zy}=0,6k_{yy} = 0,648

$$k_{zz} = C_{mz}\left[1 + (\bar{\lambda}_z - 0{,}2)\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right] \leq C_{mz}\left(1 + 0{,}8\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$$

k_{zz} = 1,322 ≤ 1,322

k_{yz}=0,6k_{zz} = 0,793

- dosazení do 6.61 a 6.62:

6.61

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy}\frac{M_{y,Ed}+\Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz}\frac{M_{z,Ed}+\Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

0,831 < **1,00** ... VYHOVÍ

využití 83,1 %

6.62

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy}\frac{M_{y,Ed}+\Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz}\frac{M_{z,Ed}+\Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

0,938 < **1,00** ... VYHOVÍ

využití 93,8 %

POSOUZENÍ NA II.MS:

δ_{max} = 20,50 mm ... max průhyb od proměnného zatížení

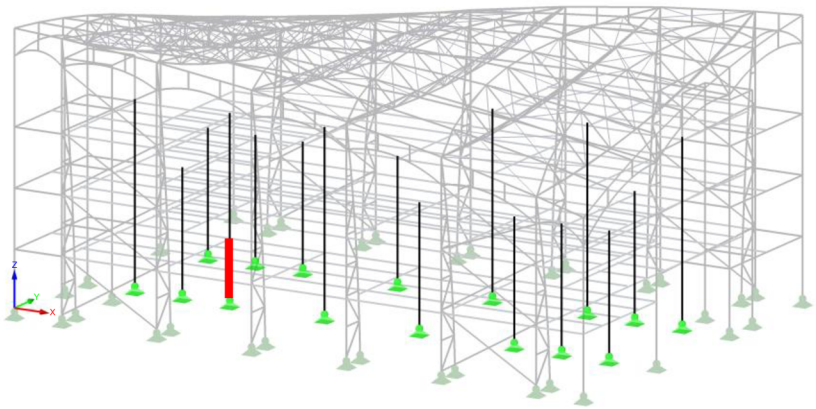
$\delta_{lim} = \delta_2$ = 1/200·L = 1/200·4481 = 22,41 mm

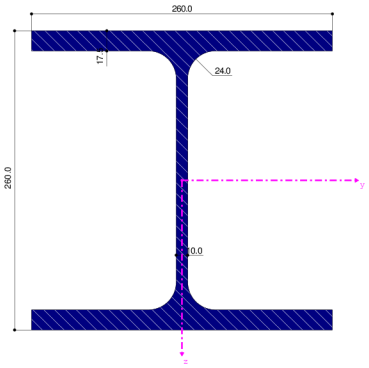
δ_{max} < δ_{lim}

20,50 mm < **22,41 mm** ... VYHOVÍ

využití 91,5 %

4.2 Vnitřní sloup C4





NAVRŽENÝ PROFIL:

- HEB 260
- konstrukční výška podlaží: 3500 mm
- průřezové charakteristiky:

$A = 11800{,}00\ mm^2$
$A_{v,z} = 3715{,}00\ mm^2$
$I_y = 1{,}49E{+}8\ mm^4$
$I_z = 5{,}13E{+}7\ mm^4$
$i_y = 112{,}00\ mm$
$i_z = 65{,}80\ mm$
$I_t = 1{,}24E{+}6\ mm^4$
$I_w = 7{,}54E{+}11\ mm^6$
$W_{y,pl} = 1{,}28E{+}6\ mm^3$
$W_{z,pl} = 6{,}02E{+}5\ mm^3$

- třída průřezu: 1
- materiálové charakteristiky

$f_{yk} = 355{,}00\ MPa$
$E = 210{,}00\ GPa$
$G = 81{,}00\ GPa$
$\gamma_{M0} = 1{,}00$
$\gamma_{M1} = 1{,}00$

NÁVRHOVÉ SÍLY:

$M_{Ed,y} = 54{,}75\ kNm$
$M_{Ed,z} = 6{,}60\ kNm$
$N_{Ed} = 729{,}87\ kN$
$V_{Ed,z} = 16{,}04\ kN$
$V_{Ed,y} = 2{,}03\ kN$

POSOUZENÍ NA OHYB:

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{y,pl} f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$M_{pl,Rd} = 455{,}11\ kNm$

M_{Ed}	<	$M_{pl,Rd,y}$		
54,75 kNm	**<**	**455,11 kNm**	...	VYHOVÍ

využití 12 %

$$M_{pl,Rd,z} = \frac{W_{z,pl} f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$M_{pl,Rd}$ = 213,80 kNm

M_{Ed}	<	$M_{pl,Rd,z}$		
6,60 kNm	<	**213,80 kNm**	...	VYHOVÍ

využití 3,1 %

POSOUZENÍ NA ROVINNÝ VZPĚR:

- vzpěrné délky

$L_{cr,y}$ = L = 3500 mm

$L_{cr,z}$ = L = 3500 mm

- vzpěr kolmo k y:

- křivka vzpěrné pevnosti: b

α = 0,34

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

ε = 0,814

λ_1 = 93,9e = 93,9·0,814 = 76,399

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i}\frac{1}{\lambda_1}$$

$\bar{\lambda}_y$ = 0,409

$$\phi = 0{,}5\left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}^2\right]$$

ϕ_y = 0,619

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

χ_y = 0,922

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$N_{b,Rd,y}$ = 3864,23 kN

N_{Ed}	<	$N_{b,Rd,y}$		
729,87 kN	<	**3864,23 kN**	...	VYHOVÍ

využití 18,9 %

- vzpěr kolmo k z:

- křivka vzpěrné pevnosti: c

α = 0,49

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

ε = 0,814

λ_1 = 93,9e = 93,9·0,814 = 76,399

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i}\frac{1}{\lambda_1}$$

$\bar{\lambda}_z$ = 0,696

$$\phi = 0{,}5\left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}^2\right]$$

ϕ_z = 0,864

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

χ_z = 0,727

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$N_{b,Rd,z}$ = 3045,48 kN

N_{Ed}	<	$N_{b,Rd,z}$		
729,87 kN	<	**3045,48 kN**	...	VYHOVÍ

využití 24 %

POSOUZENÍ NA PROSTOROVÝ VZPĚR:

- vzpěrné délky

- křivka vzpěrné pevnosti: c

$L_{cr,T}$ = L = 3500 mm

α = 0,49

$y_0 = z_0 = 0$

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2$$

i_0^2 = 16873,64 mm²

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2}\left(GI_T + \frac{\pi^2 EI_w}{L_{cr,T}^2}\right)$$

$N_{cr,T}$ = 13509,88 kN

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_T$ = 0,557

$$\phi = 0{,}5\left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_T - 0{,}2\right) + \overline{\bar{\lambda}_T}^2\right]$$

ϕ_T = 0,742

$$\chi_T = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_T^2}}$$

χ_T = 0,811

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_T A f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$N_{b,Rd,y}$ = 3395,87 kN

N_{Ed}	<	$N_{b,Rd,T}$		
729,87 kN	**<**	**3395,87 kN**	...	VYHOVÍ

využití 21,5 %

POSOUZENÍ NA KLOPENÍ:

- délka prutu:
  L = 3500,00 mm
- křivka vzpěrné pevnosti: b
  α = 0,34
- součinitele k_z a k_w.
  k_z = 1,00
  k_w = 1,00

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L}\sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$$

κ_{wt} = 1,13

- součinitele $c_{1,0}$ a $c_{1,1}$:
  $c_{1,0}$ = 1,77
  $c_{1,1}$ = 1,85

- pro $k_{wt} < c_{1,1}$ platí:

$$c_1 = c_{1,0} + (c_{1,1} - c_{1,0})\kappa_{wt}$$

c_1 = 1,86 ≤ $c_{1,1}$ ... NEVYHOVÍ

$c_1 = c_{1,1}$ = 1,85

$$\mu_{cr} = \frac{c_1}{k_z}\left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}{}^2}\right]$$

μ_{cr} = 2,787

$$M_{cr} = \mu_{cr}\frac{\pi\sqrt{EI_z GI_t}}{L}$$

M_{cr} = 2602,27 kNm

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,pl} A f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}$ = 0,418

$$\phi_{LT} = 0{,}5\left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_{LT} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_{LT}{}^2\right]$$

ϕ_{LT} = 0,625

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_{LT}{}^2}}$$

χ_{LT} = 0,919

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}}$$

$M_{b,Rd}$ = 418,15 kNm

$M_{y,Ed}$	<	$M_{b,Rd}$		
54,75 kN	<	**418,15 kN**	...	VYHOVÍ

využití 13,1 %

POSOUZENÍ NA KOMBINACI OHYB + OSOVÝ TLAK:

χ_y = 0,922
χ_z = 0,727
χ_{LT} = 0,919

$M_{y,Rk}$ = 455,11 kNm
$M_{z,Rk}$ = 213,80 kNm

- výpočet interakčních součinitelů k_{yy}, k_{yz}, k_{zy} a k_{zz}:

- dle tab. B.1 ČSN EN 1993-1-1

C_{my} = 0,6
C_{mz} = 0,6
C_{mLT} = 0,6

$$k_{yy} = C_{my}\left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0{,}2)\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right] \leq C_{my}\left(1 + 0{,}8\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$$

k_{yy} = 0,624 ≤ 0,691

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0{,}1\bar{\lambda}_z}{(c_{mL,T} - 0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right] \leq \left[1 - \frac{0{,}1}{(c_{mL,T} - 0{,}25)}\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right]$$

k_{zy}= 0,932 ≤ 0,932

$$k_{zz} = C_{mz}\left[1 + (\bar{\lambda}_z - 0{,}2)\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right] \leq C_{mz}\left(1 + 0{,}8\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$$

k_{zz} = 0,671 ≤ 0,715

k_{yz}=0,6k_{zz} = 0,403

- dosazení do vztahů 6.61 a 6.62:

6.61

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy}\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz}\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

0,283	<	**1,00**	...	VYHOVÍ

využití 28,3 %

6.62

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy}\frac{M_{y,Ed}+\Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz}\frac{M_{z,Ed}+\Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

0,382	<	**1,00**	...	VYHOVÍ

využití 38,2 %

POSOUZENÍ NA II.MS:

- nejnižší vnitřní sloup - h_0: 7000 mm

$u_{x,max}$ = 6,50 mm
$u_{y,max}$ = 1,60 mm
$u_{h,tot}$ = 6,69 mm

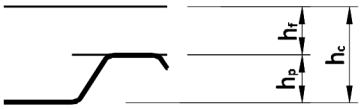
... výchylky u vrcholu sloupu od ZS6 - VÍTR X

u_{lim} = h0/500 = 7000/500 = 14,00 mm

$u_{h,tot}$	<	u_{lim}		
6,69 mm	**<**	**14,00 mm**	...	VYHOVÍ

využití 47,8 %

4.3 Spřažená stropnice



POSOUZENÍ TRAPÉZOVÉHO PLECHU - MONTÁŽNÍ STAV

GEOMETRIE BETONOVÉ DESKY:

h_f = 91,50 mm

h_c = 140,00 mm

TRAPÉZOVÝ PLECH TR 50/250/0,88

- rozměry

h_p = 48,50 mm

t_p = 1,00 mm

b_0 = 250,00 mm

žeber v 1m: 4

- materiálové charakteristiky

f_{yp} = 320,00 MPa

γ_a = 1,00

- průřezové charakteristiky

A_g = 1197,00 mm²

$I_{y,g}$ = 4,69E+5 mm⁴

$I_{y,eff}^{+}$ = 3,11E+5 mm⁴

$I_{y,eff}^{-}$ = 4,13E+5 mm⁴

$W_{y,eff}^{+}$ = 1,2E+4 mm³

$W_{y,eff}^{-}$ = 1,3E+4 mm³

$A_{ž,1}$ = 7996,16 mm²

g = 0,10 kN/m²

z_g = 30,70 mm

ZATÍŽENÍ

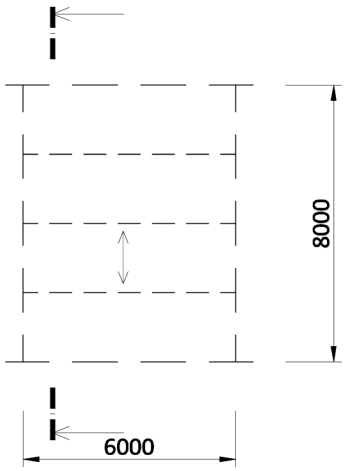
STÁLÉ

Popis	γ[kN/m^3]	g_k[kN/m^2]
čerstvý beton $\gamma\cdot(h_f+n\cdot A_{ž,1})$	26	3,21
plech	/	0,10
STÁLÉ CELKEM:	g_k =	3,31

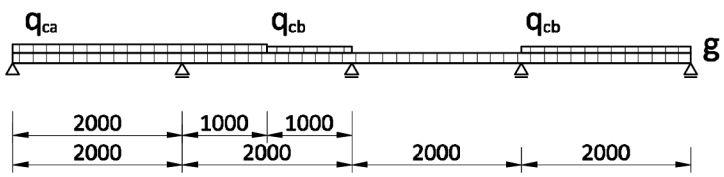
PROMĚNNÉ

Popis	q_k[kN/m^2]
soustředěné - q_{ca}	1,5
ostatní - q_{cb}	0,75

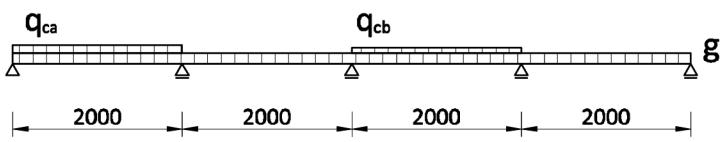
ROZMÍSTĚNÍ ZATÍŽENÍ:



a)

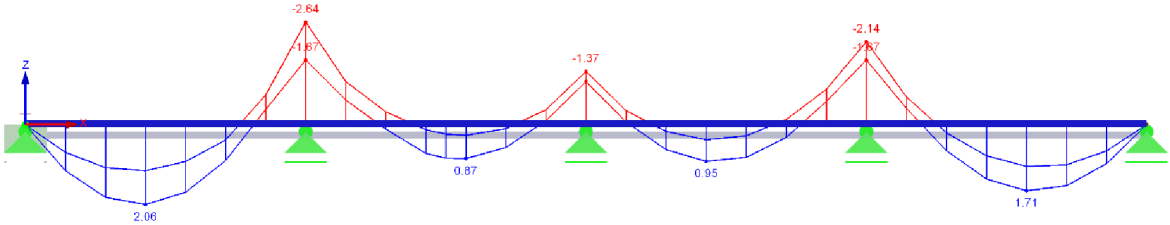


b)



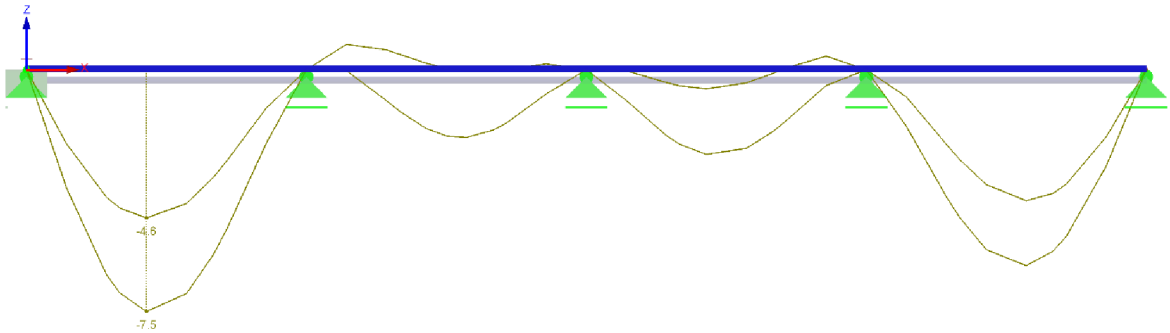
NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY A DEFORMACE:

- obálka návrhových momentů pro stav a) a b):



- moment v poli: $M_{Ed,pole}$ = 2,06 kNm
- moment nad podporou: $M_{Ed,podpora}$ = -2,64 kNm

- obálka průhybů char. kombinace pro stav a) a b):



δ_{max} = 7,50 mm

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI:

$$M_{a,pl,Rd} = W_{y,min}\frac{f_{yp}}{\gamma_a}$$

$W_{y,min}$ = 1,2E+4 mm³

$M_{a,pl,Rd}$ = 3,98 kNm

M_{Ed}	<	$M_{a,pl,Rd}$		
2,64 kNm	<	**3,98 kNm**	...	VYHOVÍ

využití 66,4 %

LIMITNÍ PRŮHYB

$\delta_{lim} = h_c/10$ = 14,00 mm

δ_{max}	<	δ_{lim}		
7,50 mm	<	**14,00 mm**	...	VYHOVÍ

využití 53,6 %

není nutno zahrnout rybníkový efekt

POSOUZENÍ STROPNICE - MONTÁŽNÍ STAV

- stropnice je v montážním stavu podepřena uprostřed pole

NAVRŽENÁ STROPNICE

- profil IPE 160
  - h = 160 mm
  - t_w = 5,00 mm
- materiálové charakteristiky
  - f_{yk} = 355,00 MPa
  - E = 210,00 GPa
  - G = 81,00 GPa
  - γ_{M0} = 1,00
- průřezové charakteristiky
  - A = 2009,00 mm²
  - I_y = 8,69E+6 mm⁴
  - I_z = 6,83E+5 mm⁴
  - I_t = 3,60E+4 mm⁴
  - I_ω = 3,96E+9 mm⁶
  - i_y = 65,80 mm
  - i_z = 18,40 mm
  - i_o = 68,32 mm
  - $W_{y,pl}$ = 1,24E+5 mm³
  - $W_{z,pl}$ = 2,61E+4 mm³
  - g = 0,16 kN/m'

ZATÍŽENÍ

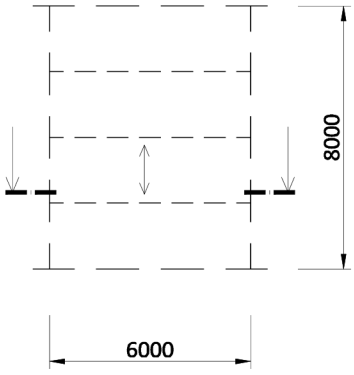
STÁLÉ

Popis	γ[kN/m³]	ZŠ [m]	g_k[kN/m']
čerstvý beton $\gamma\cdot(h_f+n\cdot A_{ž,1})$	26	2,00	6,42
plech | g=0,1007kN/m^2	/	2,00	0,20
profil | g=0,158kN/m'	/	/	0,16
STÁLÉ CELKEM:		g_k =	6,78

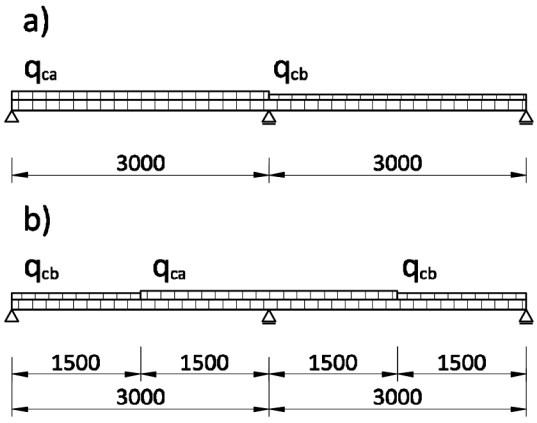
PROMĚNNÉ

Popis	ZŠ [m]	q_k[kN/m']
soustředěné - q_{ca} = 1,5 kN/m²	2,00	3
ostatní - q_{cb} = 0,75 kN/m²	2,00	1,5

ROZMÍSTĚNÍ ZATÍŽENÍ:

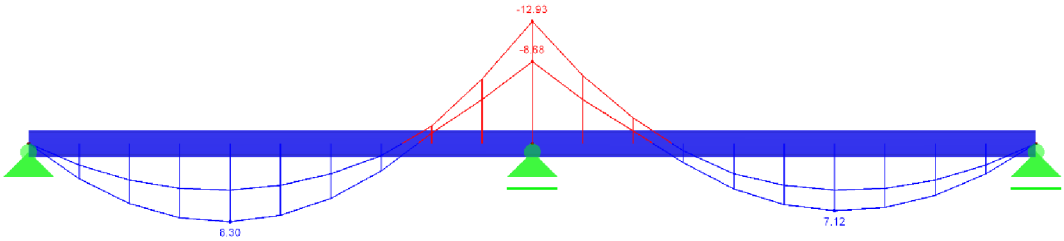


- dl. pole: 3000,00 mm



NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY A DEFORMACE:

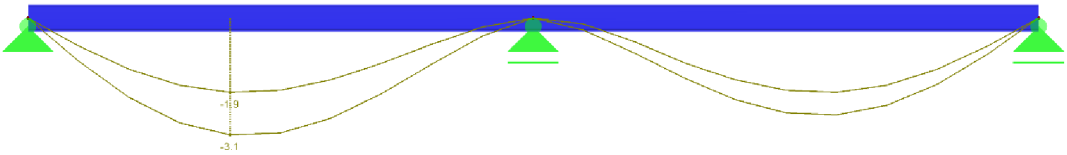
- obálka návrhových momentů pro stav a) a b):



- moment v poli: $M_{Ed,pole}$ = 8,30 kNm
- moment nad podporou: $M_{Ed,podpora}$ = -12,93 kNm

- délka části se záporným momentem:
L = 1800,00 mm

- obálka průhybů, char. kombinace pro stav a) a b):



δ_{max} = 3,10 mm

POSOUZENÍ NA OHYB

- návrhová únosnost v ohybu:

$$M_{y,pl,Rd} = W_{y,pl}\frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$M_{y,pl,Rd}$ = 43,98 kNm

M_{Ed}	<	$M_{y,pl,Rd}$		
12,93 kNm	**<**	**43,98 kNm**	...	VYHOVÍ

využití 29,4 %

POSOUZENÍ NA KLOPENÍ

- parametry posouzení

L = 1800,00 mm

k_y = 1		C_1 =	2,55
k_z = 1		C_2 =	2,85
k_w = 1		C_3 =	1,00
ψ_f = 0		μ_{cr} =	0,808
z_j = 0,00 mm		M_{cr} =	28,84 kNm
z_g = 80,00 mm		λ_{LT} =	1,235
k_{wt} = 0,932		α_{LT} =	0,21
z_g = 0,979		f_{LT} =	1,371
z_j = 0,00 mm		χ_{LT} =	0,508

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$M_{b,Rd}$ = 22,36 kNm

M_{Ed}	<	$M_{b,Rd}$		
12,93 kNm	<	**22,36 kNm**	...	VYHOVÍ

využití 57,8 %

LIMITNÍ PRŮHYB

$\delta_{lim} = h_c/10$ = 14,00 mm

δ_{max}	<	δ_{lim}		
3,10 mm	<	**14,00 mm**	...	VYHOVÍ

využití 22,1 %

není nutno zahrnout rybníkový efekt

POSOUZENÍ PLECHOBETONOVÉ DESKY

GEOMETRIE BETONOVÉ DESKY:

h_f = 91,50 mm

h_c = 140,00 mm

TRAPÉZOVÝ PLECH:

- rozměry

h_p = 48,50 mm

t_p = 1,00 mm

žeber v 1m: 4

- materiálové charakteristiky

f_{yp} = 320,00 MPa

γ_a = 1,00

f_{ck} = 25,00 MPa

γ_c = 1,50

E_{cm} = 31,00 GPa

- průřezové charakteristiky

A_g = 1197,00 mm²

$I_{y,g}$ = 4,69E+5 mm⁴

$I_{y,eff}^{+}$ = 3,11E+5 mm⁴

$I_{y,eff}^{-}$ = 4,13E+5 mm⁴

$W_{y,eff}^{+}$ = 1,24E+4 mm³

$W_{y,eff}^{-}$ = 1,28E+4 mm³

$A_{ž,1}$ = 7996,16 mm²

g = 0,10 kN/m²

z_g = 30,70 mm

ZATÍŽENÍ

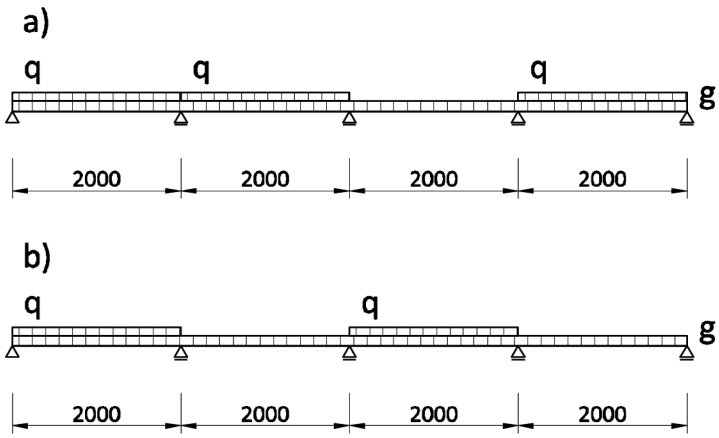
STÁLÉ na 1m' desky

Popis	γ[kN/m³]	g_k[kN/m²]
ost. stálé - skladba podl.	/	2,03
betonová deska $\gamma \cdot (h_f + n \cdot A_{ž,1})$	25	3,09
plech	/	0,10
STÁLÉ CELKEM:	g_k =	5,22

PROMĚNNÉ

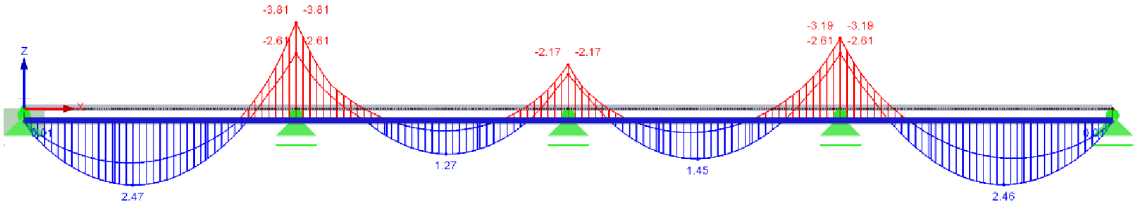
Popis	q_k[kN/m²]
užitné	3,0
přemistitelné příčky	0,5

ROZMÍSTĚNÍ ZATÍŽENÍ:



NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY A DEFORMACE:

- obálka návrhových momentů pro stav a) a b):



- moment v poli:
$M_{Ed,pole}$ = 2,47 kNm

- moment nad podporou:
$M_{Ed,podpora}$ = -3,81 kNm

ÚNOSNOST 1m' DESKY

-poloha n.o.:

$$x = \frac{A_a f_{yd}}{b_{eff}\, 0{,}85 \frac{f_{ck}}{\gamma_C}}$$

b_{eff} = 1000,00 mm
x = 27,04 mm ... n.o. leží v betonu

- rameno vnitřních sil z:
z = 108,68 mm

$$M_{pl,Rd} = N_a \cdot z$$

N_a = $A_a \cdot f_{yd}$ = 1197·320 = 383040,0 N
= 383,04 kN
$M_{pl,Rd}$ = 41,63 kNm/m

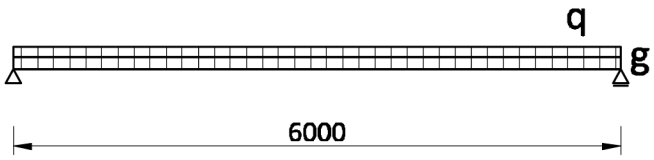
M_{Ed}	<	$M_{y,pl,Rd}$		
3,81 kNm	**<**	**41,63 kNm**	...	VYHOVÍ

využití 9,2 %

- předepsaná minimální plocha výztuže je 80 mm^2; navrhuji kari síť 150 x 150 mm, průměr výztuže ϕ = 6 mm. Krytí c = 20 mm.

SPŘAŽENÝ OCELOBETONOVÝ PRŮŘEZ - PROVOZNÍ STAV

- dl. pole:
6000,00 mm



ZATÍŽENÍ

STÁLÉ

Popis	γ[kN/m^3]	ZŠ [m]	g_k[kN/m']
ostatní stálé | g0k=2,03	/	2,00	4,06
betonová deska $\gamma\cdot(h_f+n\cdot A_{ž,1})$	25	2,00	6,17
plech | g=0,1007kN/m^2	/	2,00	0,20
profil | g=0,158kN/m'	/	/	0,16
STÁLÉ CELKEM:		g_k =	10,59

PROMĚNNÉ

Popis	ZŠ [m]	q_k[kN/m']
užitné | q = 3,0 kN/m^2	2,00	6
přemístitelné příčky | q=0,5 kN/m^2	2,00	1
PROMĚNNÉ CELKEM:	q_k =	7,00

- charakteristické zatížení celkem
$f_k = g_k+q_k =$ 17,59 kN/m'
- návrhové zatížení celkem
$f_d = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k =$ 24,80 kN/m'

NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY:

- maximální návrhový moment
$M_{Ed,max} = 0,125 \cdot f_d \cdot L^2 =$ 0,125 · 24,81 · 6^2 = 111,61 kNm

- maximální posouvající síla
$V_{Ed,max} = 0,5 \cdot f_d \cdot L =$ 0,5 · 24,81 · 6 = 74,40 kN

ÚNOSNOST VE SMYKU:

- smyková plocha

$$A_v = 1,04 \cdot ht_w$$

A_v = 832,00 mm²

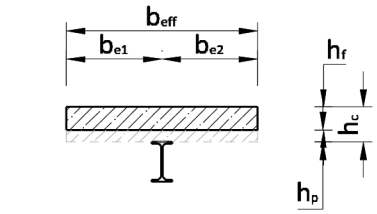
- únosnost

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

$V_{pl,Rd}$ = 170,53 kN

$V_{Ed,max}$	<	$V_{pl,Rd}$		
74,40 kNm	**<**	**170,53 kN**	...	VYHOVÍ

využití 43,6 %



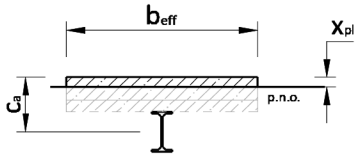
SPOLUPŮSOBÍCÍ ŠÍŘKA DESKY:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_0$$

$b_{e1} = b_{e2} =$ 0,125 · L = 750,00 mm

b_0 = 0,00 mm

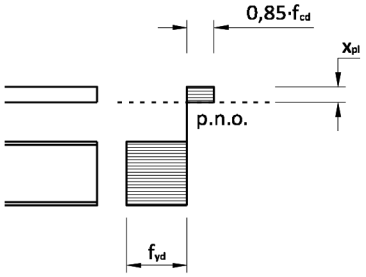
b_{eff} = 1500,00 mm



POLOHA P.N.O.:

$$x = \frac{A_a f_{yd}}{b_{eff} 0{,}85 \frac{f_{ck}}{\gamma_C}}$$

x = 33,56 mm ... n.o. leží v betonu



MOMENTOVÁ ÚNOSNOST:

- normálová síla v betonu

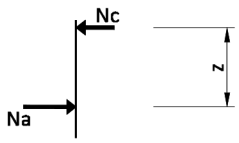
$$N_{c,f} = b_{eff} \cdot x_{pl} \cdot 0{,}85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_C}$$

$N_{c,f}$ = 713,20 kN

- normálová síla v oceli

$$N_{pl,a} = A_a \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$N_{pl,a}$ = 713,20 kN



- rameno vnitřních sil

$c_a = h_a/2 + h_c =$
$= 160/2 + 140 =$
$= 220{,}00$ mm

$$z = c_a - \frac{x_{pl}}{2}$$

z = 203,22 mm

- momentová únosnost

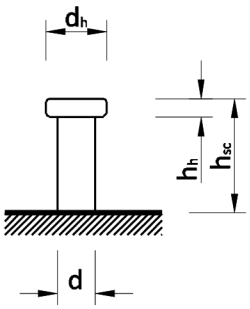
$$M_{pl,Rd} = N_a \cdot z$$

$M_{pl,Rd}$ = 144,93 kNm

M_{Ed}	<	$M_{pl,Rd}$		
111,61 kNm	**<**	**144,9 kNm**	...	VYHOVÍ

využití 77 %

SPŘAŽENÍ



TRNY:

- rozměry
  - d = 25 mm
  - d_h = 40 mm
  - h_{sc} = 75 mm
  - h_h = 12 mm
- materiálové charakteristiky; St 37-3k
  - f_{yk} = 235,00 MPa
  - f_u = 360,00 MPa
  - γ_{M0} = 1,00
  - γ_v = 1,25

ÚNOSNOST JEDNOHO TRNU:

$$P_{Rd,1} = 0{,}8 f_u \frac{\pi d^2}{4} \frac{1}{\gamma_v}$$

$P_{Rd,1}$ = 113,10 kN

$$P_{Rd,2} = 0{,}29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \frac{1}{\gamma_v}$$

$$\alpha = \begin{cases} 1{,}0 & pro\ \dfrac{h_{sc}}{d} > 4d \\ 0{,}2 \cdot \left(\dfrac{h_{sc}}{d} + 1\right) & pro\ 3 \le \dfrac{h_{sc}}{d} \le 4 \end{cases}$$

α = 0,80

$P_{Rd,2}$ = 102,12 kN

$$P_{Rd}{}' = min \begin{cases} P_{Rd1,} \\ P_{Rd2,} \end{cases}$$

P_{Rd}' = 102,12 kN

- redukční součinitel k_t pro zohlednění uložení plechu kolmo na stropnice

$$k_t = \frac{0{,}7}{\sqrt{n_r}} \frac{b_0}{h_p} \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1\right)$$

b_0 = 250,00 mm
n_r = 1 … počet trnů v žebru v příčném řezu nosníkem
k_t = 0,75 ≤ $k_{t,max}$ = 0,75

- výsledná únosnost jednoho trnu v žebru

$$P_{Rd} = k_t \cdot P_{Rd}{}'$$

P_{Rd} = 76,59 kN

POSOUZENÍ:

- síla na spřažení při MSÚ

$F_{c,f}$ = $N_a = N_{c,f}$ = 713,20 kN

- počet trnů potřebných k přenesení

$$n_f = \frac{F_{c,f}}{P_{Rd}}$$

n_f = 10 ks

- počet trnů které je možno umístit na polovinu rozpětí

n = 12

$n_{potřebných}$	<	$n_{možných}$		
10 ks	**<**	**12 ks**	...	VYHOVÍ

využití 83,3 %

- konstrukční zásady

	$h_c - h_{sc} \leq 2d$ ...	VYHOVÍ
s_l = 250,00 mm	$sl \leq 5d$	VYHOVÍ

POSOUZENÍ II.MS, elastický výpočet:

- modul pružnosti zahrnující dotvarování

E_c' = $E_{cm}/2$ = 15,50 GPa

- pracovní součinitel

$n = E_a/E_c$ = 6,77

- plocha ocel. profilu A_a: 2009,00 mm²
- plocha betonu Ac: beff·hf=1500·91,5=137250 mm^2
- rameno a_c: ac = hf/2 = 91,5/2 = 45,75 mm

- poloha neutrální osy

$$e = \frac{A_a c_a + \frac{1}{n} A_c a_c}{A_a + \frac{1}{n} A_c}$$

$c_a = h_f + h_p$ + 220,00 mm

e = 61,47 mm

$z_a = c_a - e$ = 220-61,47 = 158,53 mm

$z_c = e - h_f/2$ = 61,47 - 91,5/2 = 15,72 mm

- průřezové charakteristiky ideálního průřezu

$$I_i = I_a + A_a \cdot {z_a}^2 + \frac{1}{n} \cdot (I_c + A_c \cdot {z_c}^2)$$

I_i= 7,83E+7 mm⁴

- průhyb ideálního průřezu:

Δf_k = 11,06 kN/m' ... užitné + ost. stálé

R_k = 24,78 kN ... opačná reakce od odebrané montážní podporyzatížené stálým zatížením

$$\delta_1 = \frac{5}{384}\frac{f_k L^4}{E_a I_i} \qquad \delta_2 = \frac{1}{48}\frac{F L^3}{E_a I_i}$$

δ_1 = 11,35 mm δ_2 = 6,78 mm

$\delta = \delta_1 + \delta_2$ = 18 mm

- limitní průhyb

δ_{lim} = L/250 = 24,00 mm

δ_{max}	<	δ_{lim}		
18,13 mm	**<**	**24,00 mm**	...	VYHOVÍ

4.4 Spřažený průvlak

POSOUZENÍ PRŮVLAKU - MONTÁŽNÍ STAV

NAVRŽENÝ PRŮVLAK

- profil HEB260

h =	260 mm	A =	11800,00 mm²
t_w =	10,00 mm	I_y =	1,49E+8 mm⁴
t_f =	17,50 mm	I_z =	5,13E+7 mm⁴
třída:	1	I_t =	1,24E+6 mm⁴
		I_ω =	7,54E+11 mm⁶
		i_y =	112,00 mm
f_{yk} =	355,00 MPa	i_z =	65,80 mm
E =	210,00 GPa	i_o =	129,90 mm
G =	81,00 GPa	$W_{y,pl}$ =	1,28E+6 mm³
γ_{M0} =	1,00	$W_{y,el}$ =	1,15E+6 mm³
		$W_{z,pl}$ =	6,02E+5 mm³
		g =	0,93 kN/m'

- materiálové charakteristiky

ZATÍŽENÍ*

* návrhové hodnoty byly generovány programem RFEM

STÁLÉ

Popis	g_k[kN/m'], G_k [kN]
reakce od stropnice během montážního stavu	7,47
profil | g=0,93kN/m'	0,93

**

PROMĚNNÉ

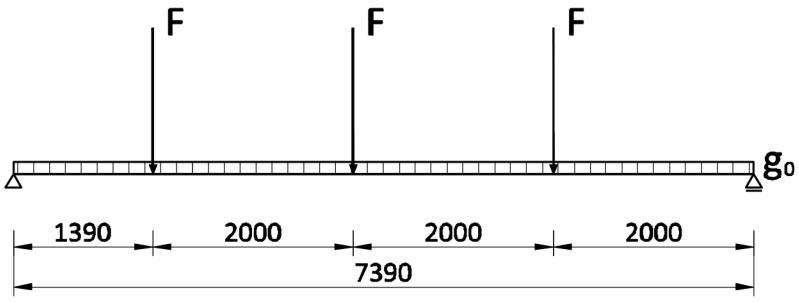
Popis	Q_k [kN]
reakce od stropnice během montážního stavu	5,61

**

** hodnoty reakcí krajních podpor stropnic s montážními podporami uprostřed rozpětí

STATICKÉ SCHÉMA

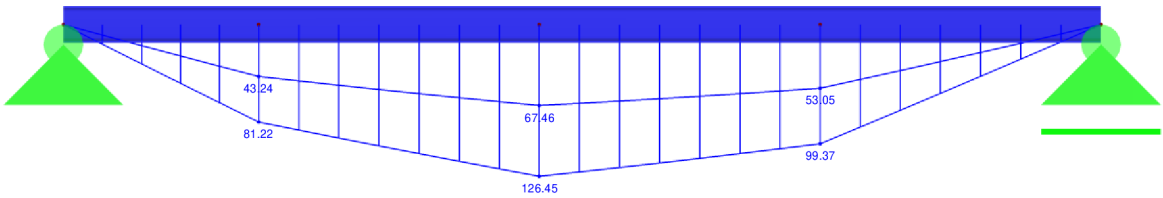
F = 2(G+Q)



- dl. pole: 7390,00 mm

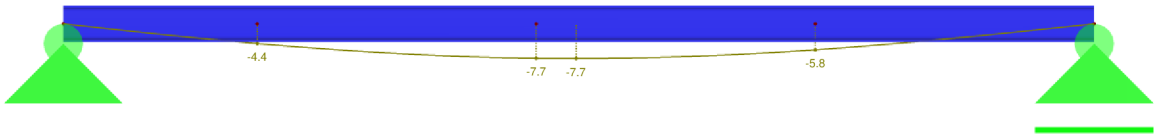
NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY A DEFORMACE:

- obálka návrhových momentů:



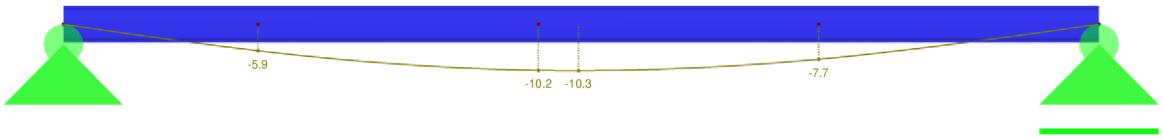
$M_{Ed,pole}$ = 126,45 kNm

- průhyb - pouze od proměnného zatížení:



$\delta_{max,q}$ = 7,70 mm

- průhyb - pouze od stálého zatížení:



$\delta_{max,g}$ = 10,30 mm

POSOUZENÍ NA OHYB

- návrhová únosnost v ohybu:

$$M_{y,pl,Rd} = W_{y,pl}\frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$M_{y,pl,Rd}$ = 455,11 kNm

M_{Ed}	<	$M_{y,pl,Rd}$		
126,45 kNm	<	**455,11 kNm**	...	VYHOVÍ

využití 27,8 %

LIMITNÍ PRŮHYB

δ_{lim} =L/400= 18,48 mm

- nárůst průhybu od stálých zat. již přenáší ocelobetonový průřez

$\delta_{max,q}$	<	δ_{lim}		
7,70 mm	<	**18,48 mm**	...	VYHOVÍ

využití 41,7 %

POSOUZENÍ PRŮVLAKU - PROVOZNÍ STAV

ZATÍŽENÍ*

* návrhové hodnoty byly generovány programem RFEM

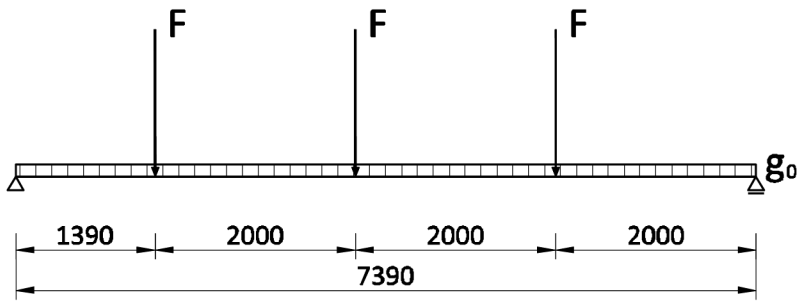
STÁLÉ

Popis	g_k[kN/m'], G_k [kN]
reakce od stropnice při provozním zatížení	31,78
profil | g=kN/m'	0,93

PROMĚNNÉ

Popis	Q_k [kN]
reakce od stropnice při provozním zatížení	21,00 kN

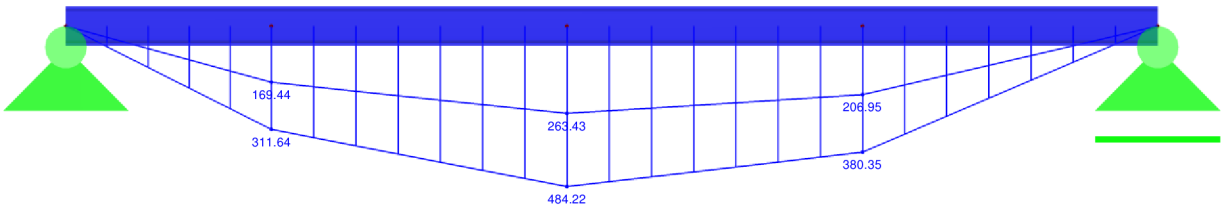
F = 2(G+Q)



- dl. pole:
7390,00 mm

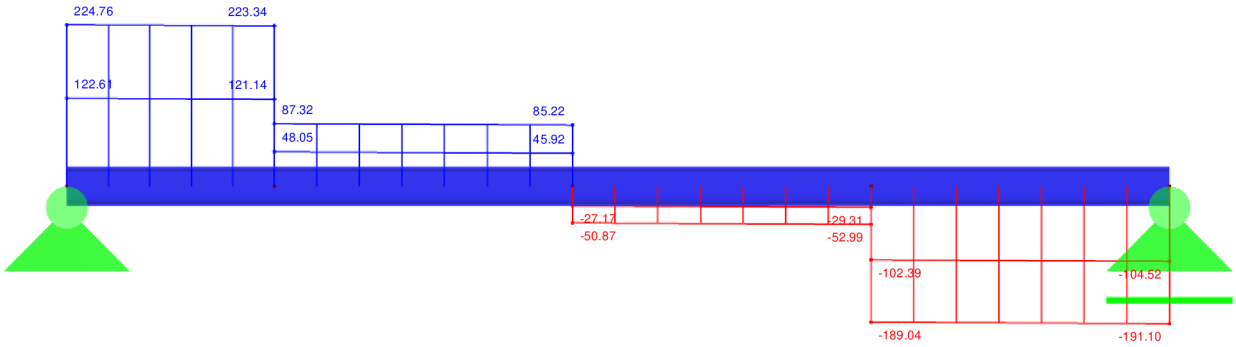
NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY A DEFORMACE:

- obálka návrhových momentů při provozním zatížení:



$M_{Ed,max}$ = 484,22 kNm

- obálka posouvajících sil při provozním zatížení:



$V_{Ed,max}$ = 224,76 kN

- f_{ck}:
25,00 MPa
- γ_c:
1,50
- E_{cm}:
31,00 GPa

ÚNOSNOST VE SMYKU:

- smyková plocha

$$A_v = 1{,}04 \cdot ht_w$$

A_v = 2704,00 mm²

- únosnost

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

$V_{pl,Rd}$ = 554,21 kN

$V_{Ed,max}$	<	$V_{pl,Rd}$		
224,76 kNm	**<**	**554,21 kN**	...	VYHOVÍ

využití 40,6 %

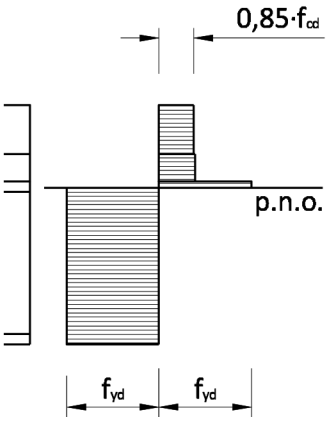
SPOLUPŮSOBÍCÍ ŠÍŘKA DESKY:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_0$$

$b_{e1} = b_{e2} =$ 0,125 · L = 923,75 mm
b_0 = 100,00 mm
b_{eff} = 1947,50 mm

POLOHA P.N.O. A NORMÁLOVÉ SÍLY PŘI MSÚ

x = 148,40 mm n.o. leží v oceli



- normálová síla v oceli

$$N_{a,1} = A_{a,1} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$A_{a,1}$ = 2184,89 mm²
$N_{a,1}$ = 775,64 kN

$$N_{a,2} = A_{a,2} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$A_{a,2}$ = 9615,11 mm²
$N_{a,2}$ = 3413,36 kN

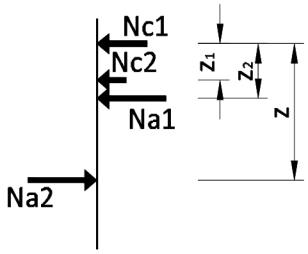
- normálová síla v desce:

$$N_{c,1} = A_{c,1} \cdot 0{,}85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_C}$$

$A_{c,1}$ = 178196,25 mm²
$N_{c,1}$ = 2524,45 kN

$$N_{c,2} = A_{\check{z},1} \cdot 0{,}85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_C}$$

$A_{c,2}$ = 7996,16 mm²
$N_{c,2}$ = 113,28 kN



- ramena sil
z_1 = 70,00 mm
z_2 = 98,45 mm
z = 246,75 mm

N_{c1} = 2524,45 kN
N_{c2} = 113,28 kN
N_{a1} = 775,64 kN
N_{a1} = 3413,36 kN

šířka pásnic:
260 mm
tloušťka pásnice
18 mm

PLASTICKÝ MOMENT ÚNOSNOSTI:

$$M_{pl,Rd} = N_{a,2} \cdot z - N_{a1} \cdot z_2 - N_{c2} \cdot z_1$$

$M_{pl,Rd}$ = 757,96 kNm

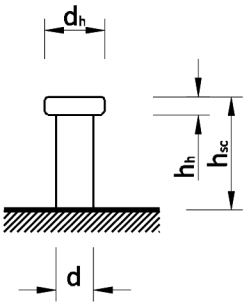
M_{Ed}	<	$M_{pl,Rd}$		
484,22 kNm	**<**	**758,0 kNm**	...	VYHOVÍ

využití 63,9 %

SPŘAŽENÍ

NAVRŽENÉ TRNY:

- rozměry
  - d = 22 mm
  - h_{sc} = 75 mm
- materiálové charakteristiky; S t37-3K
  - f_{yk} = 235,00 MPa
  - f_u = 360,00 MPa
  - γ_{M0} = 1,00
  - γ_v = 1,25



- f_{ck}: 25,00 MPa
- γ_c: 1,50
- E_{cm}: 31,00 GPa

ÚNOSNOST JEDNOHO TRNU:

$$P_{Rd,1} = 0{,}8 f_u \frac{\pi d^2}{4} \frac{1}{\gamma_v}$$

$P_{Rd,1}$ = 87,58 kN

$$P_{Rd,2} = 0{,}29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \frac{1}{\gamma_v}$$

$$\alpha = \begin{cases} 1{,}0 & pro\ \frac{h_{sc}}{d} > 4d \\ 0{,}2 \cdot \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1\right) & pro\ 3 \le \frac{h_{sc}}{d} \le 4 \end{cases}$$

α = 0,88

$P_{Rd,2}$ = 87,17 kN

$$P_{Rd}' = min \begin{cases} P_{Rd1,} \\ P_{Rd2,} \end{cases}$$

P_{Rd}' = 87,17 kN

- redukční součinitel k_t pro zohlednění uložení plechu rovnoběžně s průvlakem

$$k_l = 0{,}6\frac{b_0}{h_p}\left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1\right)$$

b_0 = 250,00 mm

n_r = 2 ... počet trnů v žebru v příčném řezu nosníkem

k_l = 1 ≤ $k_{l,max}$ = 1,00

- výsledná únosnost jednoho trnu v žebru

$$P_{Rd} = k_l \cdot P_{Rd}'$$

P_{Rd} = 87,17 kN

POSOUZENÍ:

- síla na spřažení při MSÚ

$F_{c,f}$ = $N_a = N_{c,f}$ = 2637,73 kN

- počet trnů potřebných k přenesení

$$n_f = \frac{F_{c,f}}{P_{Rd}}$$

n_f = 31 ks

- vzd. trnů v podélném směru s_l: 200,00 mm
- vzd. trnů v příčném směru s_t: 100,00 mm

- počet trnů které je možno umístit na polovinu rozpětí

n = 36

n_f	<	n		
31 ks	**<**	**36 ks**	...	VYHOVÍ

využití 86,1 %

- konstrukční zásady

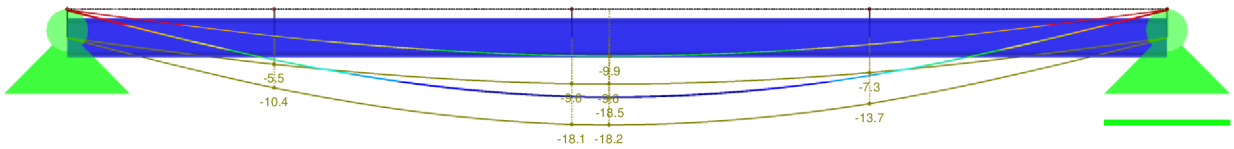
2d	<	$h_c - h_{sc}$		
44,00 mm	**<**	**65,00 mm**	...	VYHOVÍ
5d	<	s_l		
110,00 mm	**<**	**200,00 mm**	...	VYHOVÍ
min(6h_c; 800)	>	s_l		
800,00 mm	**>**	**200,00 mm**	...	VYHOVÍ
4d	<	s_t		
88,00 mm	**<**	**100,00 mm**	...	VYHOVÍ

- e_d: 20,00 mm

(b_f-s_t-d)/2	>	20 mm ($e_{d,min}$)		
69,00 mm	**>**	**20,00 mm**	...	VYHOVÍ

MSP

- průhyb ocelobetonového nosníku od zatížení skladbou podlahy, proměnným zatížením a přitížení vlivem odstranění montážních podpor stropnic



δ_{max} = 18,20 mm

- celkový průhyb:

δ_1 = 10,30 mm ... průhyb ocelového nosníku od stálého zat. v montážním stavu

δ_2 = 18,20 mm ... průhyb ocelobetonového nosníku od zatížení skladbou podlahy a proměnným zatížením a přitížení vlivem odstranění montážních podpor stropnic

$\delta = \delta_1 + d_2$ = 28,50 mm

- limitní průhyb

δ_{lim} = L/250 = 29,56 mm

δ	<	δ_{lim}		
28,50 mm	**<**	**29,56 mm**	...	VYHOVÍ

využití 96,4 %

KONTROLA NAPJATOSTI OCELOBETONOVÉHO PRŮŘEZU

- modul pružnosti zahrnující dotvarování

E_c' = $E_{cm}/2$ = 15,50 GPa

- pracovní součinitel

$n = E_a/E_c$ = 6,77

$c_a = h_f + h_p +$ 270,00 mm

c_{c1} = 45,75 mm

c_{c2} = 115,75 mm

- A_a: 11800,00 mm²

- $A_{c,1} = h_f \cdot b_{eff}$ 178196,25 mm²

$A_{c2} = A_{ž,1}$ 7996,16 mm²

- poloha el. neutrální osy

$$e = \frac{A_a c_a + \frac{1}{n}(A_{c1} c_{c1} + A_{c2} c_{c2})}{A_a + \frac{1}{n}(A_{c1} + A_{c2})}$$

e = 115,21 mm

$z_a = c_a - e$ = 270-115,21 = 154,79 mm

$z_{c1} = e1 - c_{c1}$ 115,21 - 45,75 = 69,46 mm

$z_{c2} = e1 - c_{c2}$ 115,21 - 115,75 = -0,54 mm

- průřezové charakteristiky ideálního průřezu

- I_a: 1,49E+8 mm⁴

$$I_i = I_a + A_a \cdot {z_a}^2 + \frac{1}{n} \cdot (I_{c1} + A_{c1} \cdot {z_{c1}}^2 + I_{c2} + A_{c2} \cdot {z_{c2}}^2)$$

I_{c1} = 1,24E+8 mm⁴
$I_{c2} = I_{ž,1}$ = 1,55E+6 mm⁴
$A_{c2} = A_{ž,1}$ = 7996,16 mm²

I_i = 5,77E+8 mm⁴

- vzdálenost k horním a dolním vláknům průřezu

$e_1 = e$ = 115,21 mm
e_2 = hc+ha-e1 = 140+260-115,21 = 284,79 mm

$M_{Ed,g}$ = 222,76 kNm ... moment od stálého zatížení při provozním stavu
$M_{Ed,q}$ = 261,10 kNm ... moment od proměnného zatížení při provozním stavu
483,86 kNm

- $W_{a,el,y}$: 1,15E+6 mm³

- napětí v dolních vláknech:

$$\sigma_2 = \frac{M_{Ed,g}}{W_{el,y}} + \frac{M_{Ed,q}}{I_i} \cdot e_2$$

σ_2 = 322,48 MPa

- napětí v horních vláknech:

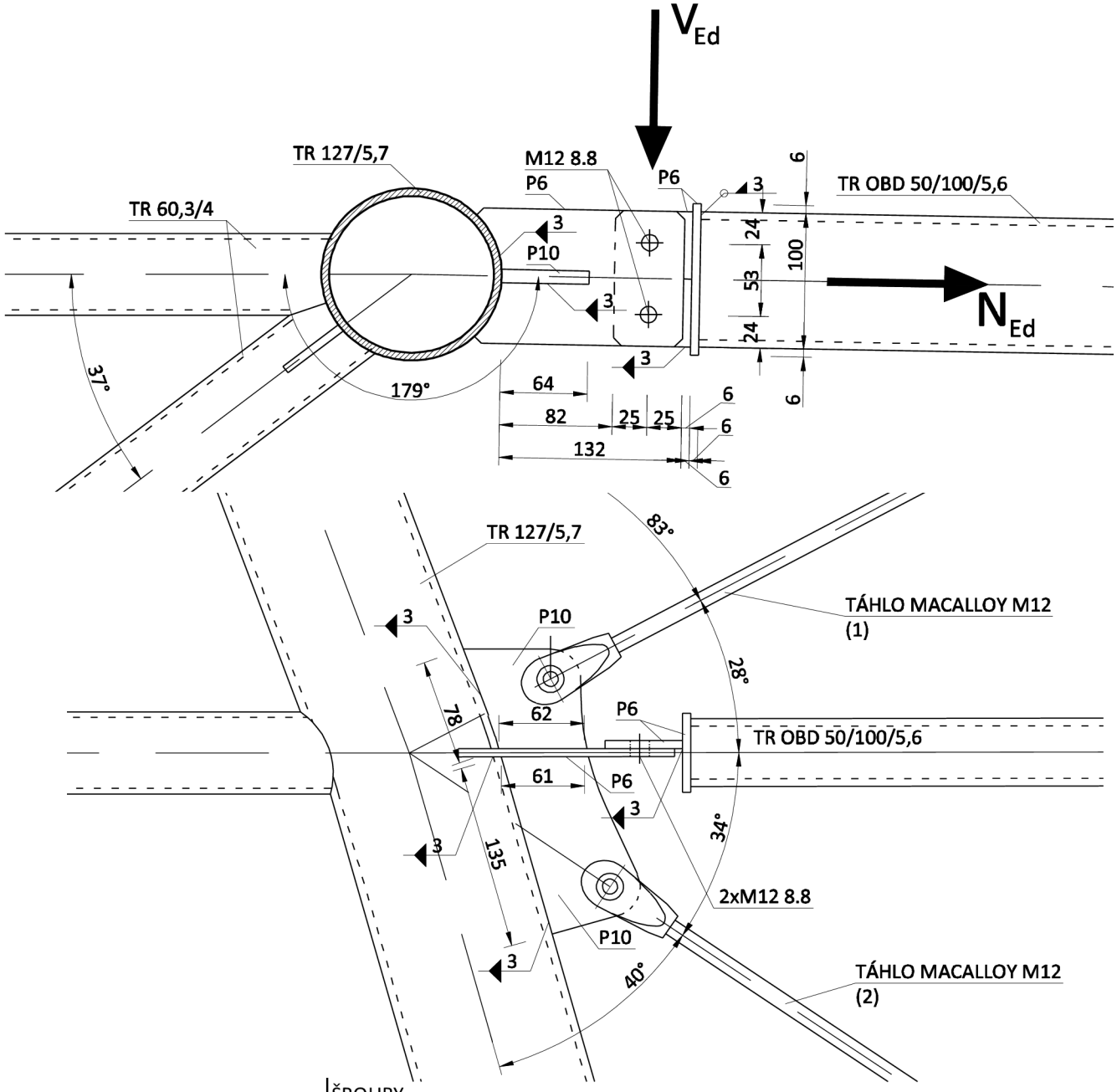
$$\sigma_1 = \frac{M_{Ed,q}}{n \cdot I_i} \cdot e_1$$

σ_1 = 7,69 MPa

- posouzení elastického chování

σ_1	<	$0{,}85 \cdot f_{cd}$		
7,69 MPa	**<**	**14,17 MPa**	...	VYHOVÍ
		využití 54,3 %		
σ_2	<	f_{yd}		
322,48 MPa	**<**	**355,00 MPa**	...	VYHOVÍ
		využití 90,8 %		

4.5 Přípoj vaznice na vazník



ŠROUBY	
- M16, jakost 8.8	- materiálové charakteristiky
d = 12 mm	f_{ub} = 800,00 MPa
d_0 = 14 mm	f_{yb} = 640,00 MPa
A_s = 84,30 mm²	f_y = 355,00 MPa
α_v = 0,6	f_u = 490,00 MPa
n = 2	γ_{M0} = 1,00
	γ_{M2} = 1,25
	γ_{M5} = 1
	β_w = 0,9

NAVRŽENÉ PRŮŘEZY

- vaznice: TR OBD 50/100/5,6

b = 50 mm
h = 100 mm
t = 6 mm

$A_{v,z}$ = 1020,00 mm²

NÁVRHOVÉ ÚČINKY:

V_{Ed} = 8,44 kN N_{Ed} = 27,95 kN

POSOUZENÍ NA STŘIH

- výslednice N a V:

$$R_{Ed} = \sqrt{N_{Ed}{}^2 + V_{Ed}{}^2}$$

R_{Ed} = 29,20 kN

- návrhová únosnost ve střihu jednoho šroubu

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

$F_{v,Rd,1}$ = 32,37 kN

- celková únosnost; 1 rovina střihu:

$F_{v,Rd}$ = 64,74 kN

R_{Ed}	<	$F_{v,Rd}$		
29,20 kN	<	**64,74 kN**	...	VYHOVÍ

využití 45,1 %

POSOUZENÍ NA OTLAČENÍ

- rozteče minimální

$e_{1,min}$ = 16,80 mm
$e_{2,min}$ = 16,80 mm
$p_{2,min}$ = 33,60 mm

- rozteče navržené

e_1 = 25,00 mm VYHOVÍ
e_2 = 24,00 mm VYHOVÍ
p_2 = 53,00 mm VYHOVÍ

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$$

α_{d1} = 0,595

$$\alpha_b = min\left\{\alpha_d; {}^{f_{ub}}/_{f_u}; 1{,}0\right\}$$

α_b = 0,595

$$k_l = \min\left\{2{,}8\frac{e_2}{d_0} - 1{,}7\ ; 2{,}5\right\}$$

k_l = 2,500

- únosnost v otlačení

$$F_{b,1,Rd} = \frac{\alpha_b k_l f_u d\, t}{\gamma_{M2}}$$

$F_{b,1,Rd}$ = 42,00 kN

- tl. plechu t_p: 6,00 mm
- výška. plechu h_p: 100,00 mm

- celková únosnost

$F_{b,Rd} = n \cdot F_{b,1,Rd}$

Fb,Rd = 84,00 kNm

V_{Ed}	<	$F_{b,Rd}$		
8,44 kN	**<**	**84,00 kN**	...	VYHOVÍ

využití 10 %

POSOUZENÍ OSLABENÉHO PRŮŘEZU STYČNÍKOVÉHO PLECHU NA TAH:

- tl. plechu t_p: 6,00 mm
- výška. plechu h_p: 100,00 mm

- oslabená plocha:

$A_{net} = t_p \cdot h_p - n \cdot d_0 \cdot t_p =$ 6·100-2·14·6 = 432,00 mm²

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

$N_{u,Rd}$ = 152,41 kN

N_{Ed}	<	$F_{b,Rd}$		
27,95 kN	**<**	**152,41 kN**	...	VYHOVÍ

využití 18,3 %

POSOUZENÍ STYČNÍKOVÉHO PLECHU NA SMYK:

$A_v = tp \cdot hp = 6 \cdot 100 =$ 600,00 mm²

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

$V_{pl,Rd}$ = 122,98 kN

V_{Ed}	<	$V_{pl,Rd}$		
8,44 kN	**<**	**122,98 kN**	...	VYHOVÍ

využití 6,9 %

V_{Ed}	<	$0,5 \cdot V_{pl,Rd}$		
29,20 kN	**<**	**61,49 kN**	...	VYHOVÍ

není nutno posuzovat kombinaci M+V

POSOUZENÍ VAZNICE NA SMYK

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

$V_{pl,Rd}$ = 209,06 kN

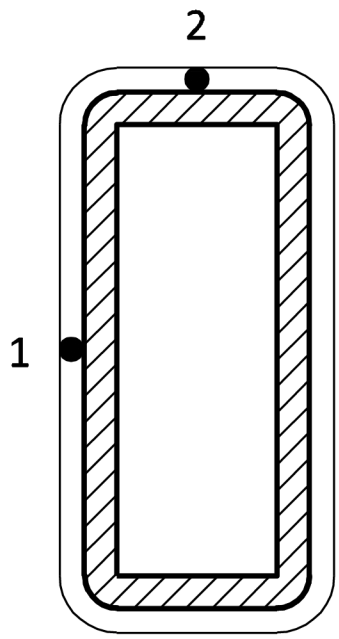
V_{Ed}	<	$V_{pl,Rd}$		
8,44 kN	**<**	**209,06 kN**	...	VYHOVÍ

využití 4 %

V_{Ed}	<	$0,5 \cdot V_{pl,Rd}$		
8,44 kN	**<**	**104,53 kN**	...	VYHOVÍ

není nutno posuzovat M+V

- účinná výška svaru
3 mm



POSOUZENÍ SVARU VÍČKA VAZNICE - bod 1:

- délka svaru

l_w = 2h+2b = 2·100 + 2·50 = 300,00 mm

- napětí od normálové síly:

$$\sigma_a = \frac{N_{Ed}}{a\,l_w}$$

σ_a = 31,06 MPa

$$\sigma_k = \tau_k = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$\tau_k = \sigma_k$ = 21,96 MPa

- napětí od posouvající síly

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{a\,l_w}$$

τ_{II} = 9,37 MPa

- srovnávací napětí

$$\sqrt{\sigma_k{}^2 + 3(\tau_k + \tau_{II})^2} \leq \frac{f_u}{\beta\gamma_{M2}}$$

58,55 MPa ≤ 435,56 MPa ... VYHOVÍ

využití 13,4 %

$$\sigma_k \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

21,96 MPa ≤ 392,00 MPa ... VYHOVÍ

využití 5,6 %

POSOUZENÍ SVARU VÍČKA VAZNICE - bod 2:

- napětí od normálové síly:

$$\sigma_a = \frac{N_{Ed}}{a\,l_w}$$

σ_a = 31,06 MPa

$$\sigma_{k1} = \tau_{k1} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$\tau_{k1} = \sigma_{k1}$ = 21,96 MPa

- napětí od posouvající síly

$$\sigma_b = \frac{V_{Ed}}{a\,l_w}$$

σ_b = 9,37 MPa

$$\sigma_{k2} = \tau_{k2} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}}$$

$\tau_{k2} = \sigma_{k2}$ = 6,63 MPa

τ_{II} = 0,00 MPa

$\sigma_k = \sigma_{k1} + \sigma_{k2}$ = 28,59 MPa

- srovnávací napětí

$$\sqrt{(\sigma_{k1} + \sigma_{k2})^2 + 3(\tau_{k1} - \tau_{k2})^2 + 3\tau_{II}{}^2} \leq \frac{f_u}{\beta\gamma_{M2}}$$

39,02 MPa ≤ 315,56 MPa ... VYHOVÍ

využití 12,4 %

$$\sigma_k \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

28,59 MPa ≤ 392,00 MPa ... VYHOVÍ

využití 7,3 %

- srovnávací napětí

$$\sqrt{(\sigma_{k1}-\sigma_{k2})^2+3(\tau_{k1}+\tau_{k2})^2+3\tau_{II}{}^2} \quad \leq \quad \frac{f_u}{\beta\gamma_{M2}}$$

51,84 MPa ≤ **315,56 MPa** ... VYHOVÍ

využití 16,4 %

POSOUZENÍ SVARU STYČNÍKOVÉHO PLECHU VAZNICE:

- účinná výška svaru 3 mm

- délka svaru

l_w = 2hp = 2·100 = 200,00 mm

- napětí od normálové síly:

$$\sigma_a = \frac{N_{Ed}}{a\,l_w}$$

σ_a = 46,59 MPa

$$\sigma_{k1} = \tau_{k1} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$\tau_{k1} = \sigma_{k1}$ = 32,94 MPa

- napětí od posouvající síly

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{a l_w}$$

τ_{II} = 14,06 MPa

- excentricita e: 4,50 mm

- napětí vlivem excentricity:

$$\sigma_{k2} = \tau_{k2} = \frac{M}{W} = \frac{0{,}5 \cdot N_{Ed} \cdot e}{\frac{1}{6}a(0{,}5l_w)^2}$$

σ_{k2} = 12,58 MPa

$\sigma_k = \sigma_{k1} + \sigma_{k2}$ = 45,52 MPa

- srovnávací napětí

$$\sqrt{(\sigma_{k1}+\sigma_{k2})^2+3(\tau_{k1}+\tau_{II})^2} \quad \leq \quad \frac{f_u}{\beta\gamma_{M2}}$$

93,27 MPa ≤ **315,56 MPa** ... VYHOVÍ

využití 29,6 %

$$\sigma_k \quad \leq \quad \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

45,52 MPa ≤ **392,00 MPa** ... VYHOVÍ

využití 11,6 %

POSOUZENÍ SVARU STYČNÍKOVÉHO PLECHU VAZNÍKU:

- POZN.: pro posouzení byl svar rovnoměrně rozdělen na dílky o délce 1 mm. Bylo stanoveno výsledné napětí v jednom dílku svaru od posouvající a normálové síly. Dále bylo stanovení napětí ve svaru vlivem excentricity, uvažováno na vodorovný průmět svaru. Výsledná napětí byla sečtena s ohledem na směr jejich působení a dosazena do vztahu pro výpočet srovnávacího napětí.

- účinná výška svaru:

a = 3,00 mm

- délka svaru na trubce:
  l_w = 97,30 mm
- úhel počátečního obdu svaru (horní bod) od vodorovné roviny
  α_0 = 43,00 °
- výslednice napětí v 1mm' svaru od V
  v_{Ed} = 14,45 MPa
- výslednice napětí v 1mm' svaru od N
  n_{Ed} = 47,88 MPa
- vztah pro výpočet $\sigma_k^V = \tau_k^V$:

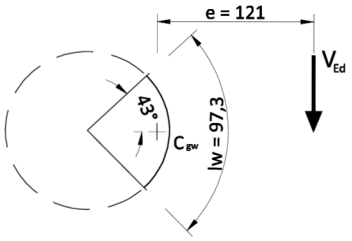
$$\tau_k{}^V = \sigma_k{}^V = \sqrt{\frac{(v_{Ed} sin\alpha)^2}{2}}$$

... $\tau_k = \sigma_k$ od posouvající síly

- vztah pro výpočet τ_{II}^V:

$$\tau_{II}{}^V = v_{Ed} cos\alpha$$

... τ_{II} od posouvající síly



- excentricita vzhledem k V:
  121 mm

- vztah pro výpočet $\sigma_k^N = \tau_k^N$:

$$\tau_k{}^N = \sigma_k{}^N = \sqrt{\frac{(n_{Ed} cos\alpha)^2}{2}}$$

... $\tau_k = \sigma_k$ od normálové síly

- vztah pro výpočet τ_{II}^V:

$$\tau_{II}{}^N = n_{Ed} sin\alpha$$

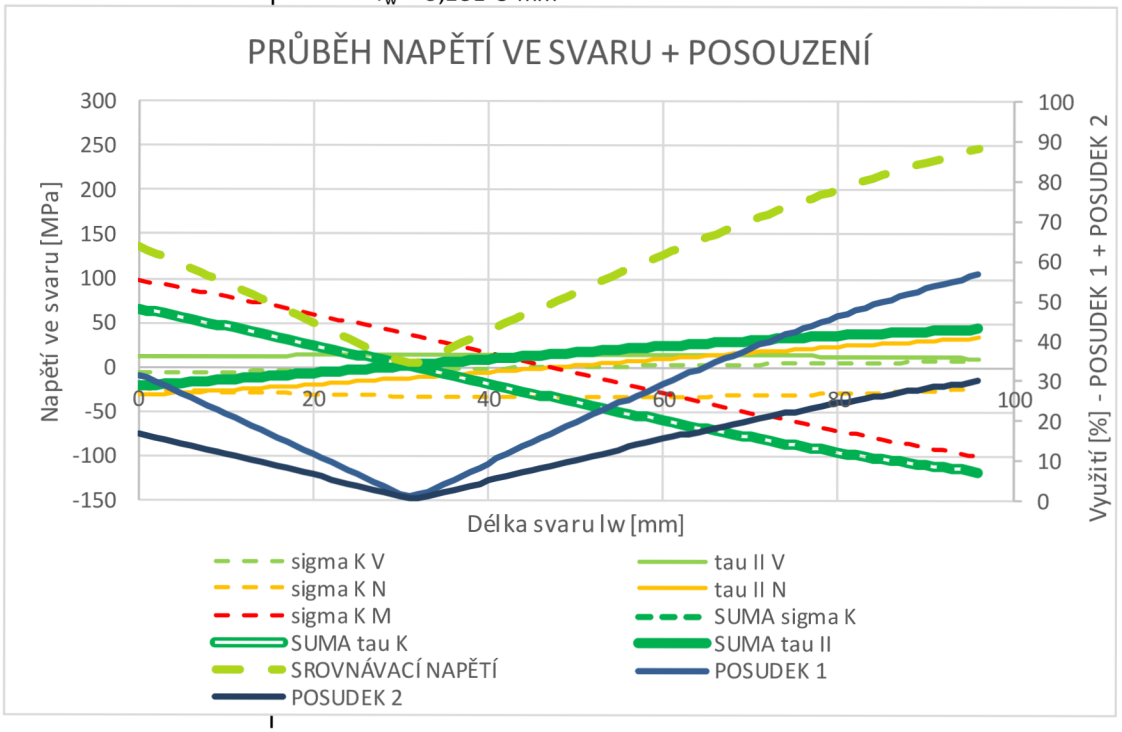
... τ_{II} od normálové síly

- napětí od momentu:

$$\sigma_k{}^M = \tau_k{}^M = \frac{\frac{V_{Ed} e}{I_w} z}{\sqrt{2}}$$

... $\tau_k = \sigma_k$ od momentu

- moment setrvačnosti svaru:
  I_w = 3,18E+5 mm⁴



- průměr trubky d_0:
127,00 mm
- tloušťka trubky t_0:
5,70 mm
- šířka plechu bi:
100,00 mm
- plocha trubky A_0:
2135,80 mm²

POSOUZENÍ PROLOMENÍ HORNÍHO PÁSU VAZNÍKU:

- návrhové účinky:

$N_1 = N_{Ed}$ = 33,51 kN

N_0 = 169,00 kN

- geometrické podmínky:

$$10 \leq \frac{d_0}{t_0} \leq 50$$

d_0/t_0 = 22,28 ... VYHOVÍ

$$\beta = \frac{b_i}{d_0} \geq 0{,}4$$

β = 0,79 ... VYHOVÍ

- součinitel np:

$$n_p = \frac{\frac{N_0}{A_0}\frac{1}{f_y}}{\gamma_{M5}}$$

n_p = 0,22

- součinitel kp:

$$k_p = 1 - 0{,}3n_p(1+n_p)$$

k_p = 0,92

- návrhová únosnost:

$$N_{i,Rd} = k_p f_{y0} {t_0}^2 (4+20\beta^2)/\gamma_{M5}$$

$N_{i,Rd}$ = 173,69 kN

N_{Ed}	<	$N_{i,Rd}$		
33,51 kN	**<**	**173,69 kN**	...	VYHOVÍ

využití 19,3 %

POSOUZENÍ TÁHEL:

- návrhové účinky:

$N_{Ed(1)}$ = 22,59 kN

$N_{Ed(2)}$ = 2,68 kN

- minimální hodnota meze kluzu navrženého táhla dle výrobce:

N_{Rd} = 36,00 kN

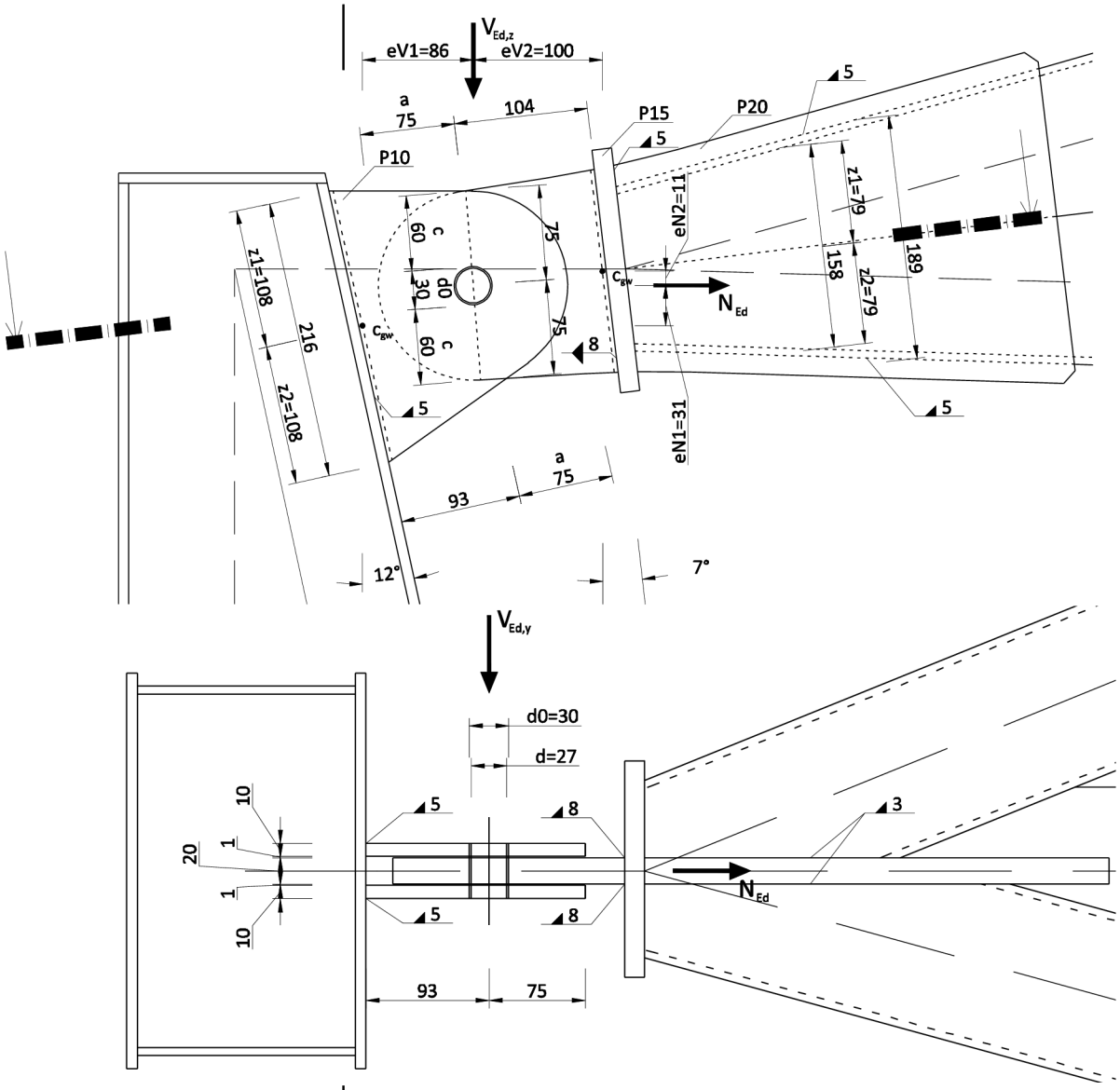
$N_{Ed(1)}$	<	N_{Rd}		
22,59 kN	**<**	**36,00 kN**	...	VYHOVÍ

využití 62,8 %

$N_{Ed(2)}$	<	N_{Rd}		
2,68 kN	**<**	**36,00 kN**	...	VYHOVÍ

využití 7,4 %

4.6 Přípoj vazníku na sloup



NAVRŽENÝ PLECH

a = 75,00 mm	t_{p1} = 20,00 mm
c = 60,00 mm	t_{p2} = 10,00 mm

NAVRŽENÝ ČEP

- M16, jakost 8.8	- materiálové charakteristiky
d = 27 mm	f_{yp} = 355,00 MPa
d_0 = 30 mm	f_{up} = 490,00 MPa
A_p = 572,60 mm²	$W_{el,p}$ = 1,9E+3 mm³
α_v = 0,6	f_y = 355,00 MPa
	f_u = 490,00 MPa
	γ_{M0} = 1,00
	γ_{M2} = 1,25
	β_w = 0,9

NÁVRHOVÉ ÚČINKY:

$N_{Ed,tah}$ = 22,17 kN
$N_{Ed,tlak}$ = 30,39 kN
$V_{Ed,z}$ = 111,56 kN
$V_{Ed,y}$ = 37,50 kN

- výslednice N + V:

$$R = \sqrt{N_{Ed}{}^2 + V_{Ed}{}^2}$$

R = 115,63 kN

OVĚŘENÍ ROZMĚRŮ PLECHU

- tl. plechu t_{p1}: 20,00 mm

- minimální rozměry plechu
  a ≥ 28,14 mm
  c ≥ 18,14 mm

- navržené rozměry
  a = 75,00 mm VYHOVÍ
  c = 60,00 mm VYHOVÍ

POSOUZENÍ ČEPU NA STŘIH

- návrhová únosnost ve střihu jednoho šroubu

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v f_{up} A_p}{\gamma_{M2}}$$

$F_{v,Rd,1}$ = 134,68 kN

- celková únosnost; 2 roviny střihu:

$F_{v,Rd}$ = 269,35 kN

R	<	$F_{v,Rd}$		
115,63 kN	<	**269,35 kN**	...	VYHOVÍ

využití 42,9 %

POSOUZENÍ NA OTLAČENÍ

- tl. plechu t_{p1}: 20,00 mm
- průměr čepu d: 27 mm

$$F_{b,Rd} = \frac{1{,}5 \cdot f_y d\, t}{\gamma_{M0}}$$

$F_{b,1,Rd}$ = 287,55 kN

R	<	$F_{b,Rd}$		
115,63 kN	<	**287,55 kN**	...	VYHOVÍ

využití 40,2 %

ÚNOSNOST ČEPU V OHYBU

- geometrie spoje:
  a = t_{p2}: 10,00 mm
  b = t_{p1} 20,00 mm
  c = 1,00 mm

- návrhový moment:

$$M_{Ed} = \frac{R}{8} \cdot (b + 4c + 2a)$$

M_{Ed} = 0,64 kNm

$$M_{Rd} = \frac{1{,}5 \cdot W_{el,p} f_{yp}}{\gamma_{M0}}$$

M_{Rd} = 1,03 kNm

M_{Ed}	<	M_{Rd}		
0,64 kNm	<	**1,03 kNm**	...	VYHOVÍ

využití 61,8 %

- posouzení kombinace smyku a ohybu:

$$\left[\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd}}\right]^2 + \left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right]^2 < 1{,}0$$

0,57 < 1,00 ... VYHOVÍ

využití 56,6 %

POSOUZENÍ OSLABENÉHO PRŮŘEZU STYČNÍKOVÉHO PLECHU NA TAH:

- oslabená plocha:

A_{net} = $2c \cdot t_{p1}$ = 2·60·20 = 2400,00 mm²

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

$N_{u,Rd}$ = 613,44 kN

N_{Ed} < $N_{u,Rd}$

22,17 kN < 613,44 kN ... VYHOVÍ

využití 3,6 %

POSOUZENÍ SVARŮ PLECHŮ NA STRANĚ SLOUPU - $N_{Ed,tah}$:

- účinná výška svaru a:
5,00 mm
- délka svaru l_w:
216,00 mm

- plocha svaru:

A_w = $2 \cdot l_w \cdot a$ = 2·216·5 = 2160,00 mm²

- moment setrvačnosti svaru:

I_w = $1/12 \cdot 2 \cdot a \cdot l_w^3$ = 1/12·2·5·216^3 = 8,40E+6 mm⁴

- 1) napětí od $V_{Ed,z}$:

- rozklad sil:

- úhel α:
12,00 °

$V_x = V_{Ed,z} \cdot \cos\alpha$ = 111,56·cos(12°) = 109,12 kN

$V_y = V_{Ed,z} \cdot \sin\alpha$ = 111,56·sin(12°) = 23,19 kN

- napětí od silových účinků:

$$\sigma_a = \frac{V_y}{A_w}$$

σ_a = 10,74 MPa

$$\sigma_k^{(1)} = \tau_k^{(1)} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(1)} = \tau_k^{(1)}$ = 7,59 MPa

$$\tau_{II}^{(1)} = \frac{V_x}{A_w}$$

$\tau_{II}^{(1)}$ = 50,52 MPa

- excentricita e_v:
86,00 mm

- moment od excentricity posouvající síly:

$M_{Ed} = V_{Ed,z} \cdot e_v$ = 9,59 kNm

- rameno z:
108,00 mm

- napětí od momentu:

$$\sigma_a{}^M = \frac{M_{Ed}}{I_w} z$$

$\sigma_a{}^M$ = 123,38 MPa

$$\sigma_k{}^{(1)M} = \tau_k{}^{(1)M} = \frac{\sigma_a{}^M}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(1)M} = \tau_k^{(1)M}$ = 87,24 MPa

- 2) napětí od $N_{Ed,tah}$:

- rozklad sil:

$N_x = N_{Ed} \cdot \sin\alpha$ = 22,165·sin(12°) = 4,61 kN

$N_y = N_{Ed} \cdot \cos\alpha$ = 22,165·cos(12°) = 21,68 kN

- napětí od silových účinků:

$$\sigma_a = \frac{N_y}{A_w}$$

σ_a = 10,04 MPa

$$\sigma_k{}^{(2)} = \tau_k{}^{(2)} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(2)} = \tau_k^{(2)}$ = 7,10 MPa

$$\tau_{II}{}^{(2)} = \frac{N_x}{A_w}$$

$\tau_{II}^{(2)}$ = 2,13 MPa

- excentricita e_N:
31,00 mm
- rameno z:
108,00 mm

- moment od excentricity normálové síly:

$M_1 = N_{Ed,tah} \cdot e_N$ = 0,69 kNm

- napětí od momentu:

$$\sigma_a{}^{M1} = \frac{M_1}{I_w} z$$

$\sigma_a{}^{M1}$ = 8,84 MPa

$$\sigma_k{}^{(2)M1} = \tau_k{}^{(2)M1} = \frac{\sigma_a{}^{M1}}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(2)M1} = \tau_k^{(2)M1}$ = 6,25 MPa

- excentricita e_{Nw}:
7,50 mm

- moment od excentricity svaru

$M_2 = N_{Ed}/2 \cdot e_{Nw}$ = 22,2/2·7,5·10^-3 =
= 0,08 kNm

- napětí od momentu

$$\sigma_k{}^{(2)M2} = \frac{M_2}{\frac{1}{6} l_w a^2}$$

$\sigma_k^{(2)M2}$ = 92,35 MPa

- 3) napětí od $V_{Ed,y}$:

$$\sigma_a = \frac{V_{Ed,y}}{A_w}$$

σ_a = 15,62 MPa

$$\sigma_k^{(3)} = \tau_k^{(3)} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(3)} = \tau_k^{(3)}$ = 11,05 MPa

- součet napětí (pro horní koncový bod svaru):

σ_k =	$-\sigma_k^{(1)}+\sigma_k^{(1)M}+\sigma_k^{(2)}+\sigma_k^{(2)M1}+\sigma_k^{(2)M2}+\sigma_k^{(3)}$ =	196,40 MPa
τ_k =	$-\tau_k^{(1)}+\tau_k^{(1)M}+\tau_k^{(2)}+\tau_k^{(2)M1}+\tau_k^{(3)}$ =	104,04 MPa
τ_{II} =	$-\tau_{II}^{(1)}+\tau_{II}^{(2)}$ =	-48,39 MPa

- součet napětí (pro dolní koncový bod svaru):

σ_k =	$-\sigma_k^{(1)}-\sigma_k^{(1)M}+\sigma_k^{(2)}-\sigma_k^{(2)M1}+\sigma_k^{(2)M2}-\sigma_k^{(3)}$ =	-12,68 MPa
τ_k =	$-\tau_k^{(1)}-\tau_k^{(1)M}+\tau_k^{(2)}-\tau_k^{(2)M1}-\tau_k^{(3)}$ =	-105,03 MPa
τ_{II} =	$-\tau_{II}^{(1)}+\tau_{II}^{(2)}$ =	-48,39 MPa

- srovnávací napětí (horní bod svaru)

$$\sqrt{\sigma_k^{\,2} + 3(\tau_k^{\,2} + \tau_{II}^{\,2})} \leq \frac{f_u}{\beta\gamma_{M2}}$$

279,41 MPa ≤ 435,56 MPa ... VYHOVÍ

využití 64,2 %

$$\sigma_k \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

196,40 MPa ≤ 392,00 MPa ... VYHOVÍ

využití 50,1 %

- srovnávací napětí (dolní bod svaru)

$$\sqrt{\sigma_k^{\,2} + 3(\tau_k^{\,2} + \tau_{II}^{\,2})} \leq \frac{f_u}{\beta\gamma_{M2}}$$

200,70 MPa ≤ 435,56 MPa ... VYHOVÍ

využití 46,1 %

$$\sigma_k \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

12,68 MPa ≤ 392,00 MPa ... VYHOVÍ

využití 3,2 %

POSOUZENÍ SVARŮ PLECHŮ NA STRANĚ SLOUPU - $N_{Ed,tlak}$:

- účinná výška svaru a:
5,00 mm
- délka svaru l_w:
216,00 mm

- plocha svaru:

$A_w = 2 \cdot l_w \cdot a = 2 \cdot 216 \cdot 5 =$ 2160,00 mm²

- moment setrvačnosti svaru:

$I_w = 1/12 \cdot 2 \cdot a \cdot l_w^3 =$ 1/12·2·5·216^3 = 8,40E+6 mm⁴

- 1) napětí od $V_{Ed,z}$:

- rozklad sil:

- úhel α:
12,00 °

$V_x = V_{Ed,z} \cdot \cos\alpha =$ 111,56·cos(12°) = 109,12 kN

$V_y = V_{Ed,z} \cdot \sin\alpha =$ 111,56·sin(12°) = 23,19 kN

- napětí od silových účinků:

$$\sigma_a = \frac{V_y}{A_w}$$

σ_a = 10,74 MPa

$$\sigma_k^{(1)} = \tau_k^{(1)} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(1)} = \tau_k^{(1)}$ = 7,59 MPa

$$\tau_{II}^{(1)} = \frac{V_x}{A_w}$$

$\tau_{II}^{(1)}$ = 50,52 MPa

- excentricita e_v:
86,00 mm
- rameno z:
108,00 mm

- moment od excentricity posouvající síly:

$M_{Ed} = V_{Ed,z} \cdot e_v$ = 9,59 kNm

- napětí od momentu:

$$\sigma_a^M = \frac{M_{Ed}}{I_w} z$$

σ_a^M = 123,38 MPa

$$\sigma_k^{(1)M} = \tau_k^{(1)M} = \frac{\sigma_a^M}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(1)M} = \tau_k^{(1)M}$ = 87,24 MPa

- 2) napětí od $N_{Ed,tlak}$:

- rozklad sil:

$N_x = N_{Ed} \cdot \sin\alpha =$ 30,394·sin(12°) = 6,32 kN

$N_y = N_{Ed} \cdot \cos\alpha =$ 30,394·cos(12°) = 29,73 kN

- napětí od silových účinků:

$$\sigma_a = \frac{N_y}{A_w}$$

σ_a = 13,76 MPa

$$\sigma_k{}^{(2)} = \tau_k{}^{(2)} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(2)} = \tau_k^{(2)}$ = 9,73 MPa

$$\tau_{II}{}^{(2)} = \frac{N_x}{A_w}$$

$\tau_{II}^{(2)}$ = 2,93 MPa

- excentricita e_N:
31,00 mm
- rameno z:
108,00 mm

- moment od excentricity normálové síly:
$M_1 = N_{Ed,tlak} \cdot e_N$ = 0,69 kNm
- napětí od momentu:

$$\sigma_a{}^{M1} = \frac{M_1}{I_w} z$$

σ_a^{M1} = 8,84 MPa

$$\sigma_k{}^{(2)M1} = \tau_k{}^{(2)M1} = \frac{\sigma_a{}^{M1}}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(2)M1} = \tau_k^{(2)M1}$ = 6,25 MPa

- 3) napětí od $V_{Ed,y}$:

$$\sigma_a = \frac{V_{Ed,y}}{A_w}$$

σ_a = 17,36 MPa

$$\sigma_k{}^{(3)} = \tau_k{}^{(3)} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(3)} = \tau_k^{(3)}$ = 12,27 MPa

- součet napětí (pro horní koncový bod svaru):

σ_k =	$-\sigma_k^{(1)}+\sigma_k^{(1)M}-\sigma_k^{(2)}-\sigma_k^{(2)M1}+\sigma_k^{(3)}$ =	75,94 MPa
τ_k =	$-\tau_k^{(1)}+\tau_k^{(1)M}-\tau_k^{(2)}-\tau_k^{(2)M1}+\tau_k^{(3)}$ =	75,94 MPa
τ_{II} =	$\tau_{II}^{(1)}-\tau_{II}^{(2)}$ =	-53,45 MPa

- součet napětí (pro dolní koncový bod svaru):

σ_k =	$-\sigma_k^{(1)}-\sigma_k^{(1)M}-\sigma_k^{(2)}+\sigma_k^{(2)M1}-\sigma_k^{(3)}$ =	-110,60 MPa
τ_k =	$-\tau_k^{(1)}-\tau_k^{(1)M}-\tau_k^{(2)}+\tau_k^{(2)M1}-\tau_k^{(3)}$ =	-110,60 MPa
τ_{II} =	$\tau_{II}^{(1)}-\tau_{II}^{(2)}$ =	-53,45 MPa

- srovnávací napětí (horní bod svaru)

$$\sqrt{\sigma_k{}^2 + 3(\tau_k{}^2 + \tau_{II}{}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta\gamma_{M2}}$$

177,88 MPa ≤ 435,56 MPa ... VYHOVÍ

využití 40,8 %

$$\sigma_k \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

75,94 MPa ≤ 392,00 MPa ... VYHOVÍ

využití 19,4 %

- srovnávací napětí (dolní bod svaru)

$$\sqrt{\sigma_k{}^2 + 3(\tau_k{}^2 + \tau_{II}{}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta\gamma_{M2}}$$

239,78 MPa	**≤**	**435,56 MPa**	...	VYHOVÍ
			využití 55,1 %	

$$\sigma_k \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

110,60 MPa	**≤**	**392,00 MPa**	...	VYHOVÍ
			využití 28,2 %	

POSOUZENÍ SVARŮ PLECHU NA STRANĚ VAZNÍKU - $N_{Ed,tah}$:

- účinná výška svaru a:
8,00 mm
- délka svaru l_w:
158,00 mm

- plocha svaru:
A_w = 2·l_w·a = 2·158·8 = 2528,00 mm²
- moment setrvačnosti svaru:
I_w = 1/12·2·a·l_w^3 = 1/12·2·8·158^3 = 5,26E+6 mm⁴

- 1) napětí od $V_{Ed,z}$:

- úhel α:
7,00 °

- rozklad sil:
$V_x = V_{Ed,z}\cdot\cos\alpha$ = 111,56·cos(7°) = 110,73 kN
$V_y = V_{Ed,z}\cdot\sin\alpha$ = 111,56·sin(7°) = 13,60 kN
- napětí od silových účinků:

$$\sigma_a = \frac{V_y}{A_w}$$

σ_a = 5,38 MPa

$$\sigma_k{}^{(1)} = \tau_k{}^{(1)} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(1)} = \tau_k^{(1)}$ = 3,80 MPa

$$\tau_{II}{}^{(1)} = \frac{V_x}{A_w}$$

$\tau_{II}^{(1)}$ = 43,80 MPa

- excentricita e_v:
100,00 mm
- rameno z:
79,00 mm

- moment od excentricity posouvající síly:
$M_{Ed} = V_{Ed,z}\cdot e_v$ = 11,16 kNm
- napětí od momentu:

$$\sigma_a{}^M = \frac{M_{Ed}}{I_w} z$$

σ_a^M = 167,58 MPa

$$\sigma_k{}^{(1)M} = \tau_k{}^{(1)M} = \frac{\sigma_a{}^M}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(1)M} = \tau_k^{(1)M}$ = 118,50 MPa

- 2) napětí od $N_{Ed,tah}$:

- rozklad sil:

$N_x = N_{Ed} \cdot \sin\alpha =$ $22{,}165 \cdot \sin(7°) =$ 2,70 kN

$N_y = N_{Ed} \cdot \cos\alpha =$ $22{,}165 \cdot \cos(7°) =$ 22,00 kN

- napětí od silových účinků:

$$\sigma_a = \frac{N_y}{A_w}$$

σ_a = 8,70 MPa

$$\sigma_k{}^{(2)} = \tau_k{}^{(2)} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(2)} = \tau_k^{(2)}$ = 6,15 MPa

$$\tau_{II}{}^{(2)} = \frac{N_x}{A_w}$$

$\tau_{II}^{(2)}$ = 1,07 MPa

- excentricita e_N: 11,00 mm
- rameno z: 79,00 mm

- moment od excentricity normálové síly:

$M_1 = N_{Ed,tah} \cdot e_N$ = 0,24 kNm

- napětí od momentu:

$$\sigma_a{}^{M1} = \frac{M_1}{I_w} z$$

σ_a^{M1} = 3,66 MPa

$$\sigma_k{}^{(2)M1} = \tau_k{}^{(2)M1} = \frac{\sigma_a{}^{M1}}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(2)M1} = \tau_k^{(2)M1}$ = 2,59 MPa

- 3) napětí od $V_{Ed,y}$:

$$\sigma_a = \frac{V_{Ed,y}}{A_w}$$

σ_a = 14,83 MPa

$$\sigma_k{}^{(3)} = \tau_k{}^{(3)} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(3)} = \tau_k^{(3)}$ = 10,49 MPa

- součet napětí (pro horní koncový bod svaru):

σ_k = $-\sigma_k^{(1)}-\sigma_k^{(1)M}+\sigma_k^{(2)}-\sigma_k^{(2)M1}-\sigma_k^{(3)}$ = -129,22 MPa

τ_k = $-\tau_k^{(1)}-\tau_k^{(1)M}+\tau_k^{(2)}-\tau_k^{(2)M1}-\tau_k^{(3)}$ = -129,22 MPa

τ_{II} = $-\tau_{II}^{(1)}+\tau_{II}^{(2)}$ = -42,73 MPa

- součet napětí (pro dolní koncový bod svaru):

σ_k = $-\sigma_k^{(1)}+\sigma_k^{(1)M}+\sigma_k^{(2)}+\sigma_k^{(2)M1}+\sigma_k^{(3)}$ = 133,93 MPa

τ_k = $-\tau_k^{(1)}+\tau_k^{(1)M}+\tau_k^{(2)}+\tau_k^{(2)M1}+\tau_k^{(3)}$ = 133,93 MPa

τ_{II} = $-\tau_{II}^{(1)}+\tau_{II}^{(2)}$ = -42,73 MPa

- srovnávací napětí (horní bod svaru)

$$\sqrt{\sigma_k{}^2 + 3(\tau_k{}^2 + \tau_{II}{}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta\gamma_{M2}}$$

268,84 MPa ≤ **435,56 MPa** ... VYHOVÍ

využití 61,7 %

$$\sigma_k \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

129,22 MPa ≤ **392,00 MPa** ... VYHOVÍ

využití 33 %

- srovnávací napětí (dolní bod svaru)

$$\sqrt{\sigma_k{}^2 + 3(\tau_k{}^2 + \tau_{II}{}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta\gamma_{M2}}$$

277,89 MPa ≤ **435,56 MPa** ... VYHOVÍ

využití 63,8 %

$$\sigma_k \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

133,93 MPa ≤ **392,00 MPa** ... VYHOVÍ

využití 34,2 %

POSOUZENÍ SVARŮ PLECHŮ NA STRANĚ SLOUPU - $N_{Ed,tlak}$:

- účinná výška svaru a:
8,00 mm
- délka svaru l_w:
158,00 mm

- plocha svaru:
A_w = 2·l_w·a = 2·158·8 = 2528,00 mm²
- moment setrvačnosti svaru:
I_w = 1/12·2·a·l_w^3 = 1/12·2·8·158^3 = 5,26E+6 mm⁴

- 1) napětí od $V_{Ed,z}$:

- rozklad sil:

- úhel α:
7,00 °

$V_x = V_{Ed,z}\cdot\cos\alpha$ = 111,56·cos(7°) = 110,73 kN
$V_y = V_{Ed,z}\cdot\sin\alpha$ = 111,56·sin(7°) = 13,60 kN

- napětí od silových účinků:

$$\sigma_a = \frac{V_y}{A_w}$$

σ_a = 5,38 MPa

$$\sigma_k{}^{(1)} = \tau_k{}^{(1)} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(1)} = \tau_k^{(1)}$ = 3,80 MPa

$$\tau_{II}{}^{(1)} = \frac{V_x}{A_w}$$

$\tau_{II}^{(1)}$ = 43,80 MPa

- excentricita e_v:
100,00 mm

- moment od excentricity posouvající síly:
$M_{Ed} = V_{Ed,z}\cdot e_v$ = 11,16 kNm

- rameno z:
79,00 mm

- napětí od momentu:

$$\sigma_a{}^M = \frac{M_{Ed}}{I_w} z$$

$\sigma_a{}^M$ = 167,58 MPa

$$\sigma_k{}^{(1)M} = \tau_k{}^{(1)M} = \frac{\sigma_a{}^M}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(1)M} = \tau_k^{(1)M}$ = 118,50 MPa

- 2) napětí od $N_{Ed,tlak}$:

- rozklad sil:

$N_x = N_{Ed} \cdot \sin\alpha$ = 30,394·sin(7°) = 3,70 kN

$N_y = N_{Ed} \cdot \cos\alpha$ = 30,394·cos(7°) = 30,17 kN

- napětí od silových účinků:

$$\sigma_a = \frac{N_y}{A_w}$$

σ_a = 11,93 MPa

$$\sigma_k{}^{(2)} = \tau_k{}^{(2)} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(2)} = \tau_k^{(2)}$ = 8,44 MPa

$$\tau_{II}{}^{(2)} = \frac{N_x}{A_w}$$

$\tau_{II}^{(2)}$ = 1,47 MPa

- excentricita e_N:
11,00 mm

- moment od excentricity normálové síly:

$M_1 = N_{Ed,tlak} \cdot e_N$ = 0,24 kNm

- rameno z:
79,00 mm

- napětí od momentu:

$$\sigma_a{}^{M1} = \frac{M_1}{I_w} z$$

$\sigma_a{}^{M1}$ = 3,66 MPa

$$\sigma_k{}^{(2)M1} = \tau_k{}^{(2)M1} = \frac{\sigma_a{}^{M1}}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(2)M1} = \tau_k^{(2)M1}$ = 2,59 MPa

- 3) napětí od $V_{Ed,y}$:

$$\sigma_a = \frac{V_{Ed,y}}{A_w}$$

σ_a = 14,83 MPa

$$\sigma_k{}^{(3)} = \tau_k{}^{(3)} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_k^{(3)} = \tau_k^{(3)}$ = 10,49 MPa

- součet napětí (pro horní koncový bod svaru):

σ_k = $-\sigma_k^{(1)}-\sigma_k^{(1)M}-\sigma_k^{(2)}+\sigma_k^{(2)M1}-\sigma_k^{(3)}$ = -138,64 MPa

τ_k = $-\tau_k^{(1)}-\tau_k^{(1)M}-\tau_k^{(2)}+\tau_k^{(2)M1}-\tau_k^{(3)}$ = -138,64 MPa

τ_{II} = $-\tau_{II}^{(1)}-\tau_{II}^{(2)}$ = -45,27 MPa

- součet napětí (pro dolní koncový bod svaru):

$\sigma_k = -\sigma_k^{(1)}+\sigma_k^{(1)M}-\sigma_k^{(2)}+\sigma_k^{(2)M1}+\sigma_k^{(3)} =$ 119,33 MPa

$\tau_k = -\tau_k^{(1)}+\tau_k^{(1)M}-\tau_k^{(2)}+\tau_k^{(2)M1}+\tau_k^{(3)} =$ 119,33 MPa

$\tau_{II} = -\tau_{II}^{(1)}-\tau_{II}^{(2)} =$ -45,27 MPa

- srovnávací napětí (horní bod svaru)

$$\sqrt{\sigma_k{}^2 + 3(\tau_k{}^2 + \tau_{II}{}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta\gamma_{M2}}$$

288,15 MPa ≤ **435,56 MPa** ... VYHOVÍ

využití 66,2 %

$$\sigma_k \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

138,64 MPa ≤ **392,00 MPa** ... VYHOVÍ

využití 35,4 %

- srovnávací napětí (dolní bod svaru)

$$\sqrt{\sigma_k{}^2 + 3(\tau_k{}^2 + \tau_{II}{}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta\gamma_{M2}}$$

251,22 MPa ≤ **435,56 MPa** ... VYHOVÍ

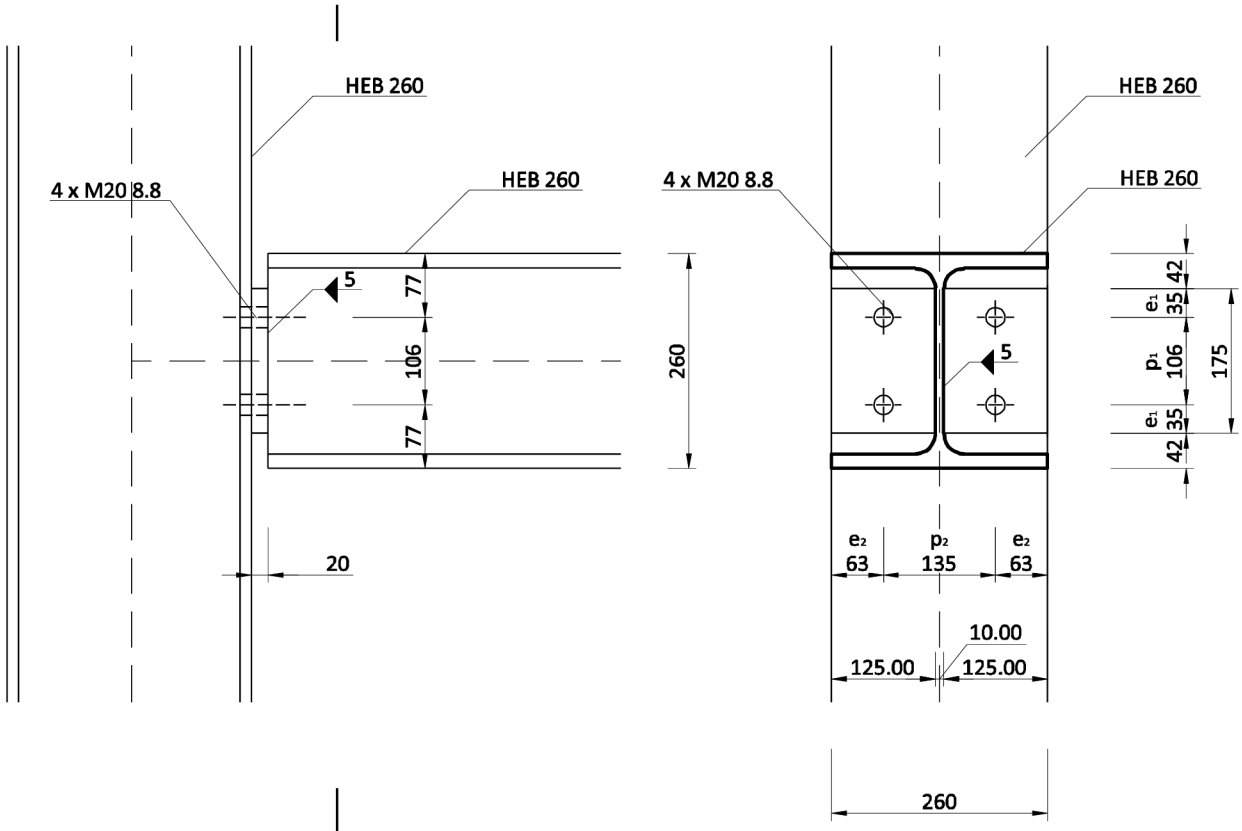
využití 57,7 %

$$\sigma_k \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

119,33 MPa ≤ **392,00 MPa** ... VYHOVÍ

využití 30,4 %

4.7 Přípoj průvlaku na sloup



ŠROUBY

- M24, jakost 8.8
  - d = 20 mm
  - d_0 = 22 mm
  - A_s = 245,00 mm²
  - α_v = 0,6
  - n = 4
- materiálové charakteristiky
  - f_{ub} = 800,00 MPa
  - f_{yb} = 640,00 MPa
  - f_y = 355,00 MPa
  - f_u = 490,00 MPa
  - γ_{M0} = 1,00
  - γ_{M2} = 1,25
  - β_w = 0,9

NAVRŽENÉ PRŮŘEZY

- sloup a průvlak: HEB 260
  - b_f = 260 mm
  - h_a = 260 mm
  - t_f = 17,50 mm
  - t_w = 10,00 mm
  - r = 24,00 mm

NÁVRHOVÉ ÚČINKY:

- V_{Ed} = 224,76 kN

POSOUZENÍ NA STŘIH

- návrhová únosnost ve střihu jednoho šroubu

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

$F_{v,Rd,1}$ = 94,08 kN

- celková únosnost; 1 rovina střihu; 4 x šroub:

$F_{v,Rd} = 0{,}8 \cdot n \cdot F_{v,Rd,1} = 0{,}8 \cdot 4 \cdot 94{,}08 =$ 301,06 kN

V_{Ed}	<	$F_{v,Rd}$		
224,76 kN	**<**	**301,06 kN**	...	VYHOVÍ

využití 74,7 %

POSOUZENÍ ČELNÍ DESKY NA OTLAČENÍ:

- tl. plechu t_p: 20,00 mm

- rozteče minimální		- rozteče navržené	
$e_{1,min}$ = 26,40 mm		e_1 = 35,00 mm	VYHOVÍ
$e_{2,min}$ = 26,40 mm		e_2 = 63,00 mm	VYHOVÍ
$p_{1,min}$ = 48,40 mm		p_1 = 106,00 mm	VYHOVÍ
$p_{2,min}$ = 52,80 mm		p_2 = 135,00 mm	VYHOVÍ

- pro otlačení ve svislém směru:

$$\alpha_b = \left\{ \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{up}}{f_{ub}}; 1{,}0 \right\} \quad k_l = \min\left\{ 2{,}8\frac{e_2}{d_0} - 1{,}7; 1{,}4\frac{p_2}{d_0} - 1{,}7 ; 2{,}5 \right\}$$

α_b = 0,530 k_1 = 2,500

- únosnost v otlačení jednoho šroubu:

$$F_{b,1,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_{up} d t_p}{\gamma_{M2}}$$

$F_{b,1,Rd}$ = 207,88 kN

- celková únosnost v otlačení:

$F_{b,Rd}$ = 831,52 kN

V_{Ed}	<	$F_{b,Rd}$		
224,76 kN	**<**	**831,52 kN**	...	VYHOVÍ

využití 27 %

POSOUZENÍ PÁSNICE SLOUPU NA OTLAČENÍ:

- rozteče navržené

e_2 = 63,00 mm
p_1 = 106,00 mm
p_2 = 135,00 mm

- pro otlačení ve svislém směru:

$$\alpha_b = min\left\{ \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{up}}{f_{ub}}; 1{,}0 \right\} \quad k_l = \min\left\{ 2{,}8\frac{e_2}{d_0} - 1{,}7; 1{,}4\frac{p_2}{d_0} - 1{,}7 ; 2{,}5 \right\}$$

α_b = 1,000 k_1 = 2,500

- tl. pásnice t_f:
17,50 mm

- únosnost v otlačení jednoho čroubu:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_{up} d t_f}{\gamma_{M2}}$$

$F_{b,Rd}$ = 343,00 kN

- celková únosnost v otlačení:

$F_{b,Rd}$ = 1372,00 kN

V_{Ed}	<	$F_{b,Rd}$		
224,76 kN	**<**	**1372,00 kN**	...	VYHOVÍ

využití 16,4 %

POSOUZENÍ ČELNÍ DESKY NA SMYK:

- plný průřez

$$V_{Rd} = \frac{2 h_p t_p}{1{,}27} \frac{f_{y,p}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

V_{Rd} = 1129,70 kN

V_{Ed}	<	V_{Rd}		
224,76 kN	**<**	**1129,70 kN**	...	VYHOVÍ

využití 19,9 %

- oslabený průřez

$A_{v,net}$ = $t_p(h_p - n_1 d_0)$ = 20(175 - 2·22) = 2620,00 mm²

$$V_{Rd} = 2 A_{v,net} \frac{f_{u,p}}{\sqrt{3}\gamma_{M2}}$$

V_{Rd} = 1185,92 kN

V_{Ed}	<	V_{Rd}		
224,76 kN	**<**	**1185,92 kN**	...	VYHOVÍ

využití 19 %

POSOUZENÍ PŘIVAŘENÉ ČÁSTI STOJINY PRŮVLAKU NA SMYK:

- výška čelní desky h_p:
175,00 mm

- smyková plocha

$A_v = h_p \cdot t_w$ = 175 · 10 = 1750,00 mm²

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

$V_{pl,Rd}$ = 358,68 kN

V_{Ed}	<	$V_{pl,Rd}$		
224,76 kN	**<**	**358,68 kN**	...	VYHOVÍ

využití 62,7 %

- účinná výška svaru
5

POSOUZENÍ SVARU:

- plocha svaru stojiny

$A_w = 2 \cdot h_p \cdot a = 2 \cdot 175 \cdot 5 = 1750{,}00\ mm^2$

- napětí od posouvající síly

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{A_w}$$

$\tau_{II} = 128{,}43$ MPa

$\tau_k = \sigma_k = 0{,}00$ MPa

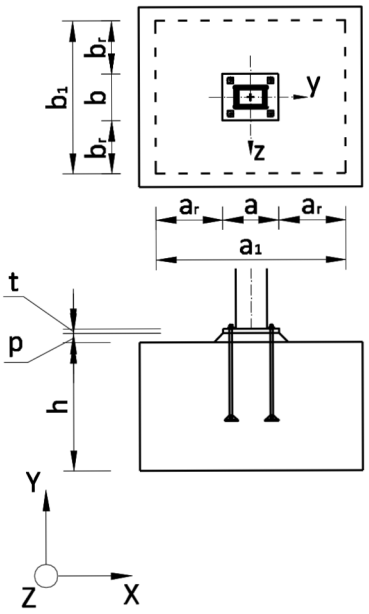
- srovnávací napětí

$$\sqrt{\sigma_k{}^2 + 3(\tau_k{}^2 + \tau_{II}{}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w}$$

222,45 MPa ≤ **435,56 MPa** ... VYHOVÍ

využití 51,1 %

4.8 Kotvení K1



- kotvení hlavních sloupů

NÁVRHOVÉ SÍLY:

$R_{z,tlak}$ = 665,60 kN	$R_{z,tah}$ = 44,64 kN
R_x = 81,00 kN	R_x = 82,46 kN
R_y = 84,24 kN	R_y = 84,31 kN

NÁVRHOVÉ PARAMETRY:

- rozměry patky předběžné
  - l = 1600 mm
  - b = 1400 mm
  - h = 2000 mm
- parametry kotvení
  - a = 560 mm
  - a_r = 520 mm
  - b = 460 mm
  - b_r = 470 mm
  - t = 20 mm
  - p = 50 mm
  - krytí c = 150 mm
- pevnost betonu: BETON C25/30
  - f_{ck} = 25,00 MPa
  - γ_c = 1,5
- kotvený profil: OCEL S355
  - f_{yk} = 355,00 MPa
  - γ_{M0} = 1,0
  - γ_{M2} = 1,25
- parametry kotevních šroubů (ocel S35
  - d = 24 mm
  - A_s = 353,00 mm²
  - f_{ub} = 490,00 MPa
  - n = 4
  - a_h = 100 mm (délka strany hlavy šroubu)

- vnější rozm. kotveného profilu:
  - 260 mm
  - x
  - 180 mm
- vzd. hrany patní desky od profilu
  - 150 mm
  - 150 mm
- tloušťky plechů ocel. profilu
  - 6,00 mm
  - 8,00 mm
- plocha průřezu sloupu A_a
  - 5888,00 mm²
- odsazení šroubů od hran p. d.
  - 80 mm
  - 80 mm

ÚNOSNOST PATKY:

- efektivní rozměry:

$a_1 = \min\{a+2a_r; 5a; a+h; 5b\} = \min\{1600; 2800; 2560; 2300\} = 1600$ mm

$b_1 = \min\{b+2b_r; 5b; b+h; 5b\} = \min\{1400; 2300; 2460; 2800\} = 1400$ mm

- součinitel koncentrace

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}}$$

k_j = 2,95

- návrhová pevnost betonu

$$f_j = \frac{0{,}67 \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$$

(v. podlití $p \leq 2 \cdot b$)

f_j = 32,93 MPa

- účinná šířka patního plechu:

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_j \cdot \gamma_{M0}}}$$

c = 37,91 mm

- účinná plocha patního plechu

A_{eff} = 74086,05 mm²

- návrhová únosnost patky

$$N_{Rd,c} = A_{eff} \cdot f_j$$

$N_{Rd,c}$ = 2439,56 kN

- návrhová únosnost ocelového profilu

$$N_{Rd,a} = \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{Rd,a}$ = 2090,24 kN

N_{Ed}	<	$N_{Rd,c}$		
665,60 kN	**<**	**2439,56 kN**	...	VYHOVÍ

využití 27,3 %

PÁČENÍ PATNÍHO PLECHU:

- rozměry a, b:

a = 99,00 mm
b = 113,00 mm

$$t_e = 4{,}3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d^2}{a}}$$

t_e = 37,39 mm > 20 mm ... DOCHÁZÍ K PÁČENÍ

$$\gamma_P = 1 + 0{,}005 \cdot \frac{{t_e}^3 - t^3}{d^2}$$

γ_p = 1,38

- přepočet celkové návrhové síly

N_{Ed}' = $\gamma_P \cdot N_{Ed}$ = 1,38 · 44,64 = 61,80 kN

ÚNOSNOST KOTEVNÍCH ŠROUBŮ V TAHU:

- předem zabetonované šrouby; d = 24 mm
- návrhová síla působící na jeden šroub

$N_{Ed,1}$ = N_{Ed} / n = 61,8 / 4 = 15,45 kN

- únosnost jednoho šroubu:

$$F_{v,Rd,1} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

k_2 = 0,9
$F_{v,Rd}$ = 124,54 kN

$N_{Ed,1}$	<	$F_{v,Rd,1}$		
15,45 kN	**<**	**124,54 kN**	...	VYHOVÍ

využití 12,4 %

POSOUZENÍ NA VYTRŽENÍ ŠROUBU Z PATKY:

- návrhová síla:

N_{Ed} = 15,45 kN

- návrhová únosnost jednoho šroubu ve vytržení

$$N_{Rd,1} = \frac{k_1 \cdot f_{ck} \cdot \pi \cdot \frac{a^2 - d^2}{4}}{\gamma_{MP}}$$

k_1 = 11 součinitel zohledňující třídu betonu
γ_{MP} = 2,16 dílčí součinitel spolehlivosti v soudržnosti

$N_{Rd,1}$ = 942,33 kN
$N_{Rd,tot}$ = n · $N_{Rd,1}$ = 4 · 942,33 = 3769,33 kN

$N_{Ed,1}$	<	$N_{Rd,1}$		
15,45 kN	<	**942,33 kN**	...	VYHOVÍ

využití 1,6 %

POSOUZENÍ NA VYTRŽENÍ KUŽELE BETONU Z PATKY:

$$F_{Rd} = \frac{k \cdot {f_{ck}}^{0,5} \cdot {h_{ef}}^{1,5} \cdot \psi_{ucr,N}}{\gamma_C} \qquad h_{ef,min} = \sqrt[1,5]{\frac{N_{Ed}\gamma_{Mp}}{11 \cdot {f_{ck}}^{0,5}\psi_{ucr,N}}}$$

$h_{ef,\,min}$ = 71,67 mm

k_1 = 11 součinitel zohledňující třídu betonu
$\psi_{ucr,N}$ = 1,00 součinitel zohledňující tvorbu trhlin
h_{ef} = 450 mm navržená délka kotvení
F_{Rd} = 350,02 kN

$N_{Ed,1}$	<	F_{Rd}		
15,45 kN	<	**350,02 kN**	...	VYHOVÍ

využití 4,4 %

NÁVRH KOTEVNÍ ZARÁŽKY:

- navržený profil kotevní zarážky
profil: HEB 180
délka: 200 mm
$W_{el,y}$ = 4,3E+5 mm³
$W_{el,z}$ = 1,5E+5 mm³
$A_{v,y}$ = 4502,00 mm²
$A_{v,z}$ = 1298,00 mm²

- smyková únosnost profilu:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

$V_{pl,Rd,y}$ = 922,73 kN
$V_{pl,Rd,z}$ = 266,04 kN

R_Y	<	$V_{pl,Rd,y}$		
81,00 kN	<	922,73 kN	...	VYHOVÍ

využití 8,8 %

R_X	<	$V_{pl,Rd,z}$		
84,24 kN	<	266,04 kN	...	VYHOVÍ

využití 31,7 %

-návrhové momenty

$M_{y,Ed}$= $V_{Ed,x} \cdot (0{,}5 \cdot h + p)$ =

= 81 · (0,5 · 0,2+0,05) = 12,15 kNm

$M_{z,Ed}$= $V_{Ed,y} \cdot (0{,}5 \cdot h + p)$ =

= 84,24 · (0,5 · 0,2+0,05) = 12,64 kNm

- napětí

$$\sigma = \frac{M}{W_{el}}$$

σ_y = 28,52 MPa	<	f_{yd} = 355,00 MPa	VYHOVÍ
σ_z = 83,69 MPa	<	f_{yd} = 355,00 MPa	VYHOVÍ

POSOUZENÍ SVARU KOTEVNÍ ZARÁŽKY:

- účinná výška svaru a:
5,00 mm

l_w = 1037,25 mm

A_w = 5186,24 mm²

- $V_{Ed,x}$:
82,46 kN
- $V_{Ed,y}$:
84,31 kN

- napětí od $V_{Ed,x}$ (1)

$$\sigma_a = \frac{V_{Ed,x}}{A_w}$$

$\sigma_a = \tau_{II1}$ = 15,90 MPa

$$\sigma_{k1} = \tau_{k1} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_{k1} = \tau_{k1}$ = 11,24 MPa

- napětí od $V_{Ed,y}$ (2)

$$\sigma_b = \frac{V_{Ed,y}}{A_w}$$

$\sigma_b = \tau_{II2}$ = 16,26 MPa

$$\sigma_{k2} = \tau_{k2} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_{k2} = \tau_{k2}$ = 11,50 MPa

- srovnávací napětí pro bodu 1 (bod na stojině):

$$\sqrt{{\sigma_{k1}}^2 + 3{\tau_{k1}}^2 + 3{\tau_{II2}}^2} \leq \frac{f_u}{\beta\gamma_{M2}}$$

36,03 MPa	**≤**	**435,56 MPa**	...	VYHOVÍ

využití 8,3 %

$$\sigma_{k1} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

11,24 MPa	**≤**	**392,00 MPa**	...	VYHOVÍ

využití 2,9 %

- srovnávací napětí v bodu 2 (bod na pásnici):

$$\sqrt{{\sigma_{k2}}^2 + 3{\tau_{k2}}^2 + 3{\tau_{II1}}^2} \leq \frac{f_u}{\beta\gamma_{M2}}$$

35,87 MPa	**≤**	**435,56 MPa**	...	VYHOVÍ

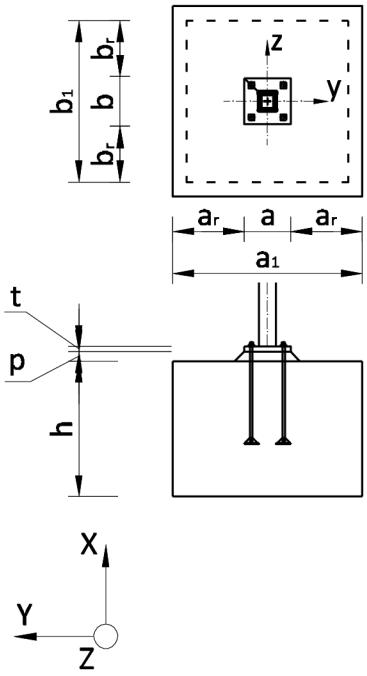
využití 8,2 %

$$\sigma_{k2} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

11,50 MPa	**≤**	**392,00 MPa**	...	VYHOVÍ

využití 2,9 %

4.9 Kotvení K2



- posouzení kotvení štítových sloupů

NÁVRHOVÉ SÍLY:

$R_{z,min}$ = 57,02 kN	$R_{z,max}$ = 230,70 kN
R_x = 17,14 kN	R_x = 17,14 kN
R_y = 4,72 kN	R_y = 4,42 kN

NÁVRHOVÉ PARAMETRY:

- rozměry patky předběžné
  - l = 1600 mm
  - b = 1400 mm
  - h = 1400 mm
- parametry kotvení
  - a = 450 mm
  - a_r = 575 mm
  - b = 450 mm
  - b_r = 475 mm
  - t = 12 mm
  - p = 50 mm
  - krytí c = 150 mm
- pevnost betonu: BETON C25/30
  - fck = 25,00 MPa
  - γ_c = 1,5
- kotvený profil: OCEL S355
  - f_{yk} = 355,00 MPa
  - γ_{M0} = 1,0
  - γ_{M2} = 1,25
- parametry kotevních šroubů (ocel S35
  - d = 24 mm
  - A_s = 353,00 mm²
  - f_{ub} = 490,00 MPa
  - n = 4
  - a_h = 100 mm (délka strany hlavy šroubu)

- vnější rozm. kotveného profilu:
  150 mm
  x
  150 mm
- vzd. hrany patní desky od profilu
  150 mm
  150 mm
- tloušťky plechů ocel. profilu
  8,00 mm
  8,00 mm
- plocha průřezu sloupu A_a
  4320,00 mm²
- odsazení šroubů od hran p. d.
  80 mm
  80 mm

ÚNOSNOST PATKY:

- efektivní rozměry:

a_1 = min{a+2a_r; 5a; a+h; 5b} =
= min{1600; 2250; 1850; 2250} =
= 1600 mm

b_1 = min{b+2b_r; 5b; b+h; 5b} =
= min{1400; 2250; 1850; 2250} =
= 1400 mm

- součinitel koncentrace

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}}$$

k_j = 3,33

- návrhová pevnost betonu

$$f_j = \frac{0{,}67 \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$$

(v. podlití p ≤ 2·b)

f_j = 37,14 MPa

- účinná šířka patního plechu:

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_j \cdot \gamma_{M0}}}$$

c = 21,42 mm

- účinná plocha patního plechu
  A_{eff} = 42095,34 mm²

- návrhová únosnost patky

$$N_{Rd,c} = A_{eff} \cdot f_j$$

- návrhová únosnost ocelového profilu

$$N_{Rd,a} = \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{Rd,c}$ = 1563,40 kN

$N_{Rd,a}$ = 1533,60 kN

N_{Ed}	<	$N_{Rd,c}$		
230,70 kN	**<**	**1563,40 kN**	...	VYHOVÍ

využití 14,8 %

POSOUZENÍ ÚČINKŮ VODOROVNÝCH REAKCÍ:

- součinitel tření

μ = 0,2 třída povrchu D, bez úpravy

- výslednice vodorovných reakcí

$R_{z,min}$ = 57,02 kN

R_x = 17,14 kN

R_y = 4,72 kN

$$R_{h,Ed} = \sqrt{{R_x}^2 + {R_y}^2}$$

$R_{h,Ed}$ = 17,78 kN

$R_{h,Rd}$ = $\mu \cdot R_{z,min}$ = 11,40 kN

$R_{h,Ed}$	>	$R_{h,Rd}$		
17,78 kN	**>**	**11,40 kN**	...	NEVYHOVÍ

využití 155,9 %

... JE NUTNÉ NAVRHNOUT KOTEVNÍ ZARÁŽKU

NÁVRH KOTEVNÍ ZARÁŽKY:

- navržený profil kotevní zarážky

profil: IPE 160

délka: 100 mm

$W_{el,y}$ = 3,11E+5 mm³

$W_{el,z}$ = 1,1E+5 mm³

A_v = 733,70 mm²

- smyková únosnost profilu:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

$V_{pl,Rd}$ = 150,38 kN

$R_{h,Ed}$	<	$V_{pl,Rd}$		
17,78 kN	<	150,38 kN	...	VYHOVÍ

využití 11,8 %

R_x	<	$V_{pl,Rd}$		
4,72 kN	<	150,38 kN	...	VYHOVÍ

využití 3,1 %

-návrhové momenty

$M_{y,Ed} = V_{Ed,x} \cdot (0{,}5 \cdot h + p) =$

$= 17{,}14 \cdot (0{,}5 \cdot 0{,}1 + 0{,}05) =$ 1,71 kNm

$M_{z,Ed} = V_{Ed,y} \cdot (0{,}5 \cdot h + p) =$

$= 4{,}72 \cdot (0{,}5 \cdot 0{,}1 + 0{,}05) =$ 0,47 kNm

- napětí

$$\sigma = \frac{M}{W_{el}}$$

σ_y = 5,51 MPa	<	f_{yd} = 355,00 MPa	VYHOVÍ
σ_z = 4,25 MPa	<	f_{yd} = 355,00 MPa	VYHOVÍ

POSOUZENÍ SVARU KOTEVNÍ ZARÁŽKY:

- účinná výška svaru a: 3,00 mm

l_w = 622,54 mm

A_w = 1867,62 mm²

- $V_{Ed,x}$: 17,14 kN
- $V_{Ed,y}$: 4,72 kN

- napětí od $V_{Ed,x}$ (1)

$$\sigma_a = \frac{V_{Ed,x}}{A_w}$$

$\sigma_a = \tau_{II1}$ = 9,18 MPa

$$\sigma_{k1} = \tau_{k1} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_{k1} = \tau_{k1}$ = 6,49 MPa

- napětí od $V_{Ed,y}$ (2)

$$\sigma_b = \frac{V_{Ed,y}}{A_w}$$

$\sigma_b = \tau_{II2}$ = 2,53 MPa

$$\sigma_{k2} = \tau_{k2} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}}$$

$\sigma_{k2} = \tau_{k2}$ = 1,79 MPa

- srovnávací napětí pro bodu 1 (bod na stojině):

$$\sqrt{{\sigma_{k1}}^2 + 3{\tau_{k1}}^2 + 3{\tau_{II2}}^2} \leq \frac{f_u}{\beta\gamma_{M2}}$$

13,70 MPa	**≤**	**435,56 MPa**	...	VYHOVÍ

využití 3,1 %

$$\sigma_{k1} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

6,49 MPa	**≤**	**392,00 MPa**	...	VYHOVÍ

využití 1,7 %

- srovnávací napětí v bodu 2 (bod na pásnici):

$$\sqrt{{\sigma_{k2}}^2 + 3{\tau_{k2}}^2 + 3{\tau_{II1}}^2} \leq \frac{f_u}{\beta\gamma_{M2}}$$

16,29 MPa	**≤**	**435,56 MPa**	...	VYHOVÍ

využití 3,7 %

$$\sigma_{k2} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

1,79 MPa	**≤**	**392,00 MPa**	...	VYHOVÍ

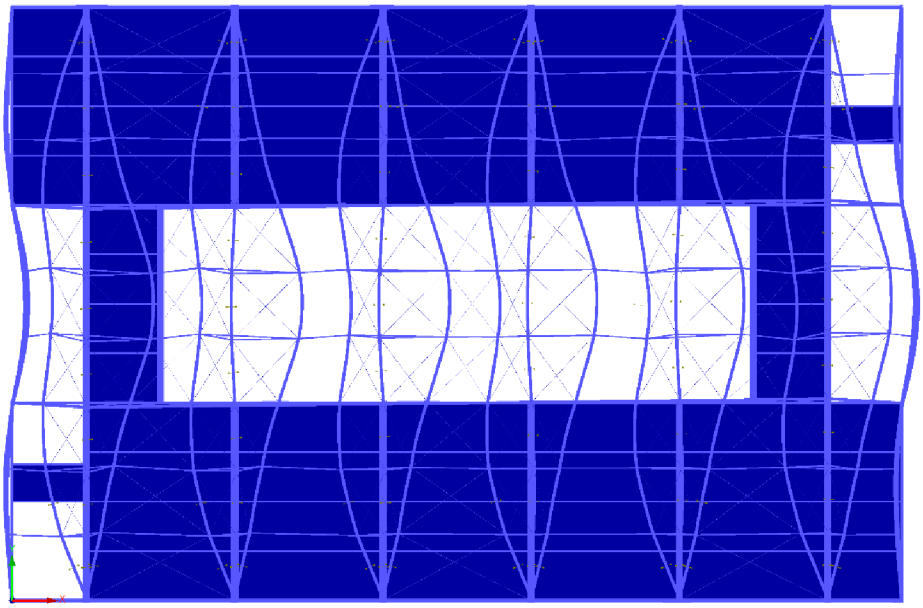
využití 0,5 %

5 Pojednání o stabilitě střešní konstrukce

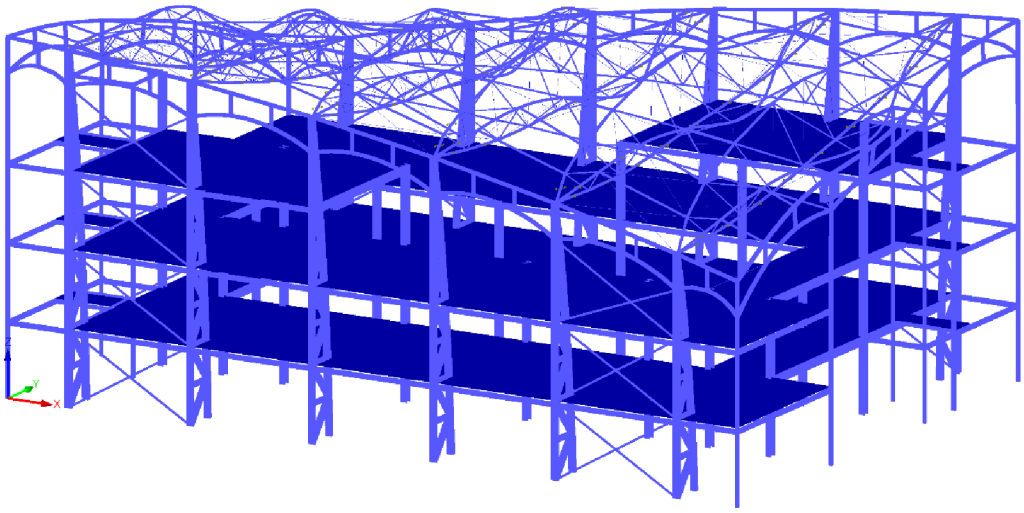
5.1 Provozní stav

V rámci statické analýzy modelu byl též proveden stabilitní výpočet za účelem ověření chování střešní konstrukce. Výpočet byl provedený modulem RF Stability programu RFEM. Kombinace zatížení použitá pro výpočet zahrnovala vlastní tíhu, ostatní stálé zatížení a zatížení střechy sněhem (KZ93 : 1,35*ZS1 + 1,35*ZS2 + 0,75*ZS10).

Výsledkem analýzy bylo stanovení součinitele kritického poměru zatížení α_{cr}, který pro daný případ vybočení střešní konstrukce nabývá hodnoty **3,68**.



Obrázek 40: Tvar vybočení střešní konstrukce pro KZ93, při α_{cr} = 3,68 – půdorys.



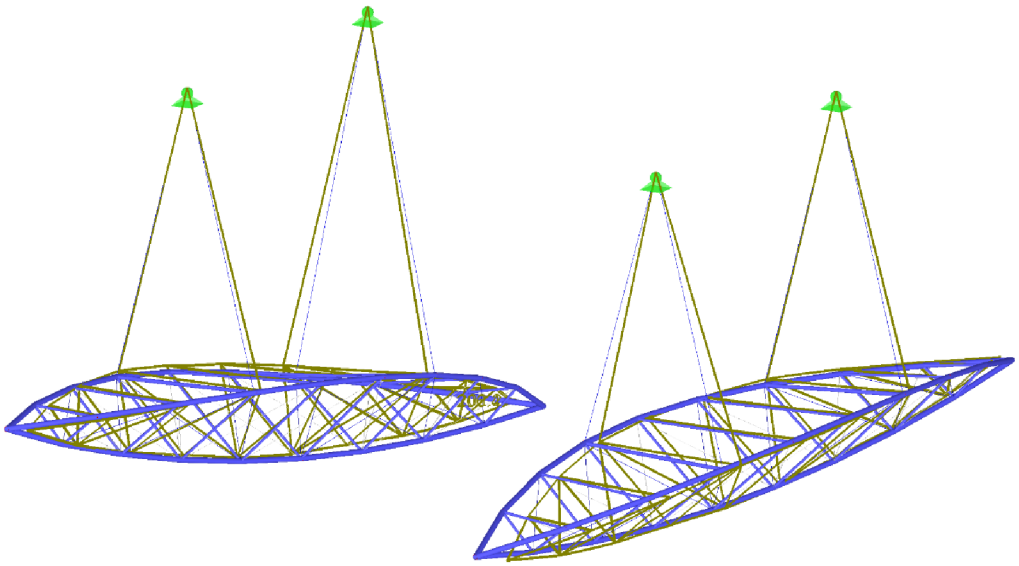
Obrázek 41: Tvar vybočení střešní konstrukce pro KZ93, při α_{cr} = 3,68 – axonometrie.

Závěrem lze konstatovat, že je střešní konstrukce stabilní. Doporučená minimální hodnota součinitele kritického zatížení α_{cr} je rovna hodnotě 3,0. Je též vhodné přihlédnout k faktu, že připojení vazníků ke sloupům ve statickém modelu nemělo definováno rotační tuhost. Vazníky se tedy v místě jejich uložení mohly

volně pootáčet. Ve skutečné konstrukci by však přípoj vazníku na sloup vykazoval určitou rotační tuhost. Zmíněný fakt lze považovat za idealizaci konstrukce na stranu bezpečnou.

5.2 Montážní stav - vazníky

Pro posouzení chování vazníků při montáži byl vytvořen statický model simulující jejich zavěšení. Statický model zahrnuje krajní a střední vazník. Vazníky byly zatíženy vlastní tíhou a tíhou konstrukce světlíku. Prvky vazníků byly následně posouzeny. Pro výsledky posudků viz část 3.



Obrázek 42: Statický model vazníků při montáži.