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

ZASTŘEŠENÍ PLAVECKÉHO BAZÉNU V BUDIŠOVĚ NAD BUDIŠOVKOU

THE ROOF OF INDOOR POOL BUILDING IN BUDIŠOV NAD BUDIŠOVKOU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE KRISTÝNA ULRICHOVÁ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE ING. MILAN PILGR, PH.D.
SUPERVISOR

BRNO 2013

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Kristýna Ulrichová
Název	Zastřešení plaveckého bazénu v Budišově nad Budišovkou
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Milan Pilgr, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2012
Datum odevzdání bakalářské práce	24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

vz. Pilgr

doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

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

Podklady a literatura

Požadavky na architektonické a dispoziční řešení

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Navrhněte nosnou ocelovou konstrukci zastřešení plaveckého bazénu o půdorysných rozměrech 28 × 46 m. Dispozici navrhněte v souladu s architektonickými požadavky; klimatická zatížení uvažujte pro lokalitu Budišov nad Budišovkou.

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

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

.....

Ing. Milan Pilgr, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt
Bakalářská práce se zabývá návrhem a posouzením nosné ocelové konstrukce zastřešení bazénové haly. Půdorysné rozměry objektu jsou 28 x 46 m a výška 7,5 m. Nosnou konstrukci tvoří 11 příčných vazeb umístěných ve vzdálenostech po 4,6 m. Příčná vazba se skládá z vetknutých sloupů a kloubově uložených sedlových vazníků. Výpočty jsou zpracovány podle platných norem ČSN EN.

Klíčová slova
Ocelová konstrukce, konstrukce pozemních staveb, jednopodlažní halová budova, model, nosný systém, zatížení, navrhovaní, posouzení.

Abstract
My Bachelor thesis deals with the design and review of a bearing steel structure of the roof of indoor pool building. The construction is of rectangular shape with dimensions of 28 x 46 m and its height is 7.5 m. Bearing structure consists of 11 transversal bindings, placed 4.6m per width of between each. Transversal binding consists of cantilevered columns and jointly set saddle trusses. All the calculations are done according to relevant ČSN EN directives.

Keywords
The steel construction, construction of structural engineering, signle-storey hall, model, supporting system, load, consideration, proposal.

Bibliografická citace VŠKP

ULRICHOVÁ, Kristýna. *Zastřešení plaveckého bazénu v Budišově nad Budišovkou.* Brno, 2013. 59s., 30 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Milan Pilgr, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15.5.2013

Kristýna Ulrichová
.....
podpis autora
Kristýna Ulrichová

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

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

V Brně dne 15.5.2013

Kristýna Ulrichová
.....
podpis autora
Kristýna Ulrichová

Poděkování

Děkuji Ing. Milanu Pilgrovi, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce a poskytování cenných rad, které mi v průběhu zpracování mé bakalářské práce podával.

Seznam použitých zdrojů

[1] ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí

[2] ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí, Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

[3] ČSN EN 1991-1-3 Zatížení konstrukcí, Obecná zatížení – Zatížení sněhem

[4] ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí, Obecná zatížení – Zatížení větrem

[5] ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí, Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

[6] ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí, Navrhování styčníků

[7] ČSN 01 3483 Výkresy kovových konstrukcí, 06/1986

[8] ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí

[9] MELCHER, J., PILGR, M., Kovové konstrukce I, MODUL BO04-MO4, Sloupy a větrové ztužidlo, studijní opory, Brno: VUT, 2006, 48 s.

[10] MELCHER J., STRAKA B., Kovové konstrukce – Konstrukce průmyslových budov, skripta, Brno: VUT, 1985, 218 s.

[11] STODŮLKA J. Směrnice pro kotvení ocelových konstrukcí - podniková norma, VÍTKOVICE, a.s., Ostrava, 07/1994, 35 s.

[12] www.kingspan.cz - střešní izolační panely

[13] www.tension.cz - výrobky Macalloy

Obsah bakalářské práce

I. Technická zpráva

II. Statický výpočet

III. Přílohy

IV. Výkresová dokumentace

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

ZASTŘEŠENÍ PLAVECKÉHO BAZÉNU V BUDIŠOVĚ NAD BUDIŠOVKOU

TECHNICKÁ ZPRÁVA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE **KRISTÝNA ULRICHOVÁ**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE **Ing. MILAN PILGR, Ph.D.**
SUPERVISOR

BRNO 2013

Obsah

1 Obecné údaje 3

2 Normativní dokumenty 3

3 Předpoklady návrhu nosné konstrukce 3

4 Popis halového objektu pro sportovní účely 4

5 Popis konstrukčního řešení 4

6 Popis statického řešení konstrukce 6

7 Hmotnost konstrukce 6

1 Obecné údaje

Bakalářská práce se zabývá návrhem a posouzením nosné ocelové konstrukce zastřešení bazénové haly v obci Budišov nad Budišovkou. Půdorys objektu tvoří obdélník o rozměrech 28 x 46 m. Nosnou konstrukci tvoří 11 příčných vazeb umístěných ve vzdálenostech po 4,6 m od sebe. Výška objektu je 7,5 m.

2 Normativní dokumenty

Nosná ocelová konstrukce halového objektu byla navržena v souladu s těmito platnými normativní dokumenty:

- ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí, Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-3 Zatížení konstrukcí, Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí, Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí, Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí, Navrhování styčníků

3 Předpoklady návrhu nosné konstrukce

Statické posouzení objektu bylo provedeno dle ČSN EN 1993 na:

- **Mezní stav únosnosti** s uvážením vlivu ztráty stability prvků na nejnepříznivější kombinace návrhových hodnot zatížení, přičemž mezní hodnoty jsou určeny materiálovými charakteristikami oceli S235
- **Mezní stav použitelnosti** na nejnepříznivější hodnoty deformací z kombinací charakteristických hodnot zatížení, přičemž hodnoty materiálových vlastností byly uvažovány pro ocel S235

Nosná ocelová konstrukce haly byla dimenzována na následující proměnná zatížení:

- **Klimatické zatížení sněhem** s charakteristickou hodnotou zatížení $s_k = 2{,}0$ kPa odpovídající IV. sněhové oblasti dle ČSN EN 1991-1-3 „Zatížení sněhem“
- **Klimatické zatížení větrem** se základním tlakem větru $v_{b,0} = 0,\ 25$ kNm^{-2} odpovídající I. větrové oblasti dle ČSN EN 1991-1-4. Při výpočtu byl uvažován terén kategorie III.
- **Užitné zatížení** na střeše objektu o velikosti 0,4 kN/m^2

Žádná další proměnná zatížení nebyla uvažována a nosné konstrukce tudíž nejsou na jejich přenos dimenzovány.

4 Popis konstrukce zastřešení plaveckého bazénu

Zastřešení je navrženo jako jednolodní halová konstrukce s vnějšími půdorysnými rozměry 28x46 m.

Veškerá nosná ocelová konstrukce bude přiznaná a tvoří ji výlučně uzavřené profily. Pro střešní plášť jsou použity sendvičové panely Kingspan. Obvodový plášť tvoří samonosné výplňové zdivo.

Světlá výška nosné konstrukce je 4,5 m, a celková výška objektu 7,5 m. Výška hlavních sloupů činí 6,7 m.

5 Popis konstrukčního řešení

Základními nosnými prvky konstrukce jsou plné příčné vazby, tvořené vetknutými sloupy a kloubově připojenými příhradovými vazníky sedlového tvaru o rozpětí 28 m. Vazníky jsou podepřeny v místě horního pásu. Dolní pás je ke sloupu připojen tak, aby byl umožněn posun ve vodorovném směru. Vzdálenost horního a dolního pásu vazníku je v místě uložení 2,2 m a ve vrcholu 3,0 m. Horní pás vazníku tvoří válcovaná trubka čtvercového průřezu. Dolní pás, diagonály i podružné svislice jsou provedeny z kruhových trubek. Sloupy jsou provedeny jako uzavřené průřezy svařené ze dvou UPE. Sklon střechy je 3,3°, je tedy řazena mezi střechy ploché.

Soustava je bezvaznicová, střešní plášť je tedy uložen přímo na vazníky a dimenzován na rozpětí 4,6 m.

Sloupy výšky 6,7 m jsou plnostěnné v příčném směru vetknuté a v podélném směru kloubově uložené.

Příčné vazby jsou v podélném směru spojeny paždíky a soustavou ztužidel. Prostorovou tuhost konstrukce zajišťují ztužidla příčná a podélná ztužidla.

Čelní stěna je doplněna sloupky a paždíky pro přenos vodorovného zatížení. V místě, kde není podélné ztužidlo, jsou tyto prvky spojené s nosnou konstrukcí ztužujícími pásy.

Sloupy tvoří uzavřené profily svařené ze dvou profilů UPE 240.

Vazník je tvořen horním pásem, dolním pásem, podružnými svislicemi a diagonálami dle geometrie vazníku popsané ve statickém výpočtu. Horní pás je tvořen čtvercovými trubkami TR 200 x 200 x 10. Dolní pás tvoří trubka TR Φ 152,4 x 8, svislice TR Φ 54 x 8 a diagonály TR Φ 114,3 x 10.

Boční stěny, tvořené hlavními sloupy budovy, jsou doplněny paždíky obdélníkového profilu TR 150 x 50 x 6. Uložení je uvažováno v obou směrech kloubové.

Čelní stěny, tvořené hlavními sloupy budovy, jsou doplněny sloupky čtvercového profilu TR 150 x 150 x 12,5 vetknutými do základu a k vazníku připojeny kloubově v obou směrech a s možností posunu v ose z. K nim jsou připojeny paždíky obdélníkového profilu TR 180 x 100 x 10. Uložení je uvažováno v obou směrech kloubové.

Příčné ztužidlo je tvořeno příhradovými nosníky s výplňovými pruty složené soustavy. Diagonály příčného ztužidla jsou navrženy za vyloučení tlaku z táhla Macalloy R24 z vysokopevnostní oceli S460. Je uloženo mezi modulovými osami 6-7.

Podélná ztužidla tvoří příhradové konstrukce z kruhových profilů TR Φ 76,1 x 10 pro horní a dolní pás, TR Φ 73 x 10 pro diagonály. Výška krajních ztužidel je 2,2 m. Střední podélné ztužidlo má výšku 3,0 m.

Ztužující pásy, tj. vodorovné prvky, spojující v podélném směru horní pásy vazníků, jsou navrženy z trubek TR 51x10.

Střešní plášť zajišťují nosné sedvičové panely KINGSPAN X-DEK 1000, které jsou kladeny přímo na vazníky, jsou tedy navrženy na rozpětí 4,6 m. Tyto panely jsou navrženy jako nosníky o dvou polích.

Obvodový plášť je tvořen výplňovým zdivem, které je ve svislém směru samonosné, ve směru vodorovném je neseno paždíky, které tak přenášejí vodorovné síly do nosné konstrukce.

Vzhledem k prostředí se zvýšenou vlhkostí budou všechny prvky konstrukce ochráněny protikorozním nátěrem.

6 Popis statického řešení konstrukce

Statická analýza nosné ocelové konstrukce zastřešení plaveckého bazénu byla provedena metodou konečných prvků za využití lineárně pružného výpočtu v programu Scia Engineer 2008. Výpočtem byl analyzován prostorový model halové konstrukce a to na účinky stálých a proměnných zatížení, specifikovaných v části 3.

Posouzení mezního stavu únosnosti i použitelnosti nosné konstrukce jako celku i jejich jednotlivých elementů bylo provedeno v souladu s normou ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí, a to s uvážením globální i lokální ztráty stability prvků.

7 Hmotnost konstrukce

Hmotnost nosné ocelové konstrukce z oceli S235 je cca 68 t.

Tato hmotnost je pouze orientační.

Brno, květen 2013.

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

ZASTŘEŠENÍ PLAVECKÉHO BAZÉNU V BUDIŠOVĚ NAD BUDIŠOVKOU

STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE KRISTÝNA ULRICHOVÁ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. MILAN PILGR, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2013

OBSAH

1 Geometrie konstrukce ... 3

1.1 Popis ... 3

1.2 Střešní a obvodový plášť ... 3

1.3 Dispozice ... 4

1.4 Geometrie příčných vazeb ... 5

2 Stropní panely ... 5

2.1 Zatěžovací stavy ... 5

2.2 Kombinace zatížení ... 8

2.3 Únosnost panelů ... 9

2.4 Posouzení ... 10

3 Zatížení ... 11

3.1 Struktura modelu ... 11

3.2 Zatěžovací stavy ... 13

3.3 Skupiny zatížení ... 19

3.4 Kombinace zatížení ... 20

3.5 Kontrola vnitřních sil v horním a dolním pásu vazníku ručním výpočtem ... 22

4 Posouzení na mezní stav únosnosti ... 24

4.1 Horní pás vazníku ... 24

4.2 Dolní pás vazníku ... 30

4.3 Diagonála ... 32

4.4 Svislice ... 35

4.5 Zhodnocení ... 38

5 POSOUZENÍ NA MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI ... 39

6 Výpis prvků ... 40

6.1 Vazník ... 40
6.2 Ztužidla ... 40
6.3 Vertikální prvky ... 40
6.4 Paždíky ... 40
7 Detaily ... 41
7.1 Detail A – Kotvení sloupu ... 42
7.2 Připojení paždíku na sloup ... 48
7.3 Připojení příčného ztužidla na sloup ... 52
7.4 Vrchol sloupu ... 54
8 Závěr ... 59

1 GEOMETRIE KONSTRUKCE

1.1 Popis

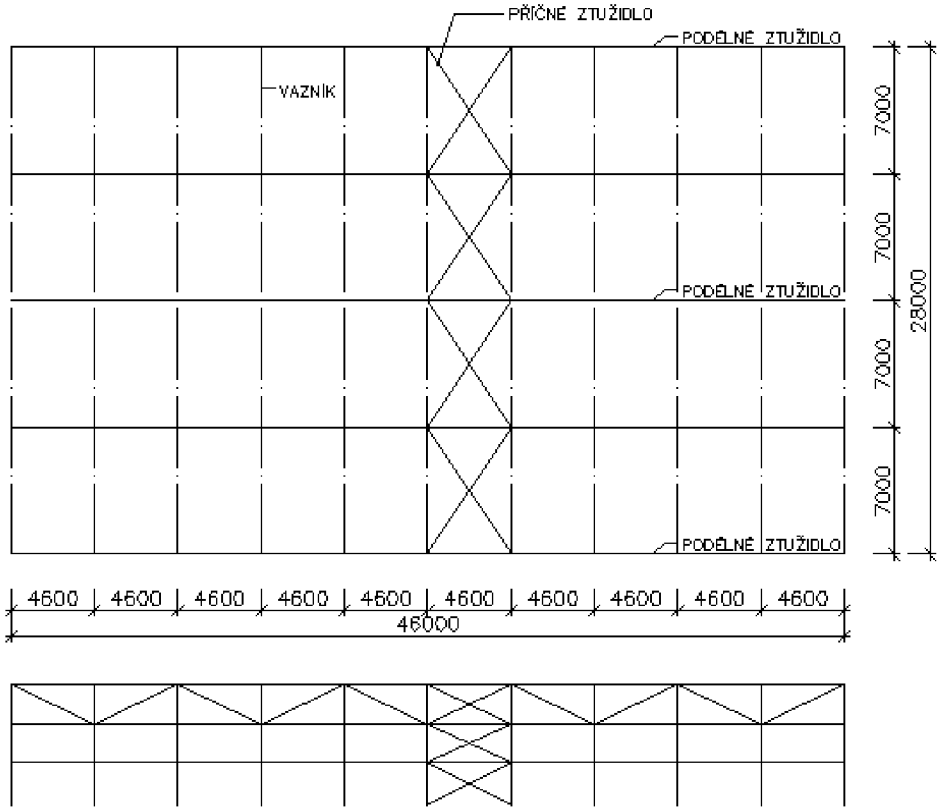
Půdorys objektu tvoří obdélník o rozměrech 28 x 46 m. Příčné vazby nosné konstrukce jsou rozmístěny ve vzdálenostech po 4,6 m. Tyto vazby jsou tvořeny vetknutými sloupy s kloubově připojenými sedlovými vazníky. Výška budovy je 7,5 m. Střešní konstrukce je řešena jako bezvaznicová soustava.

1.2 Střešní a obvodový plášť

Střešní plášť zajišťují nosné sedvičové panely KINGSPAN X-DEK 1000, které jsou kladeny přímo na vazníky, jsou tedy navrženy na rozpětí 4,6 m. Tyto panely jsou navrženy jako nosníky o dvou polích.

Obvodový plášť je tvořen výplňovým zdivem, které je ve svislém směru samonosné, ve směru vodorovném je neseno paždíky, které tak přenášení vodorovné síly do nosné konstrukce.

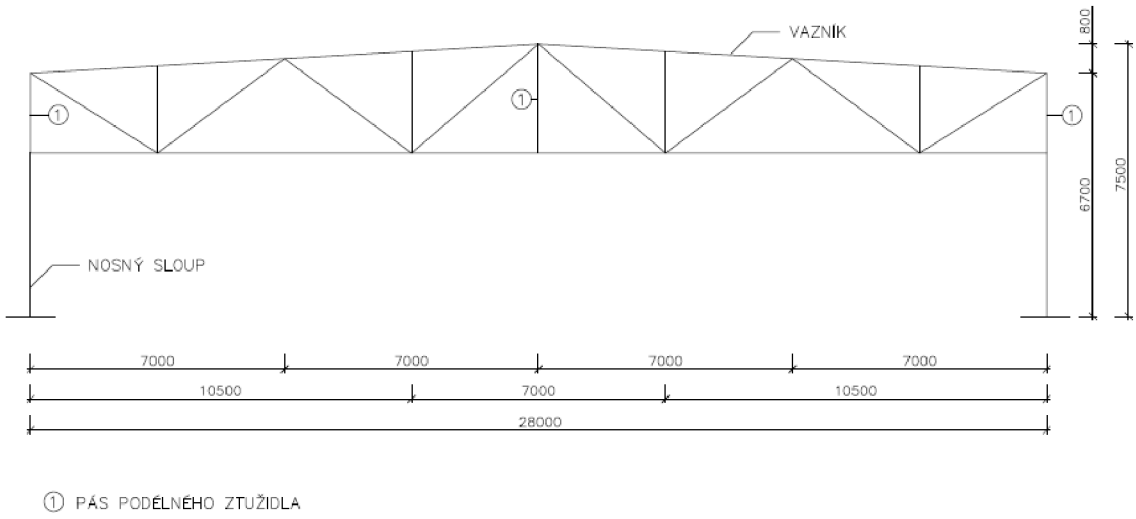
1.3 Dispozice



Obr. 1.1

1.4 Geometrie příčných vazeb

Horní pás vazníku tvoří válcovaná trubka čtvercového průřezu. Dolní pás, diagonály i podružné svislice jsou provedeny z kruhových trubek. Sloupy jsou provedeny jako uzavřené průřezy svařené ze dvou UPE. Sklon střechy je 3,3°, je tedy zařazena do kategorie ploché střechy.



Obr. 1.2

2 STROPNÍ PANELY

2.1 Zatěžovací stavy

2.1.1 Zatížení stálé

Vlastní tíha NK	0,246
Podhled-palubky	0,032
Hydroizolace-PVC folie	0,002
$\sum g_k$	**0,375 kN/m2**

2.1.2 Zatížení užitné

$\sum q_k$ **0,400 kN/m^2**

2.1.3 Zatížení sněhem

$\sum s_k$ **1,600 kN/m^2**

Lokalita…Budišovka nad Budišovkou, sněžná oblast IV.

S_k = 2,0 kPa μ = 0,8

C_e = 1,0 C_t = 1,0

s = $\mu * C_e * C_t * S_k$= 1,6 KN/m^2

2.1.4 Zatížení větrem

Větrná oblast II $v_{b,0} = 25\ m/s$

Kategorie terénu III $z_0 = 0{,}3\ m$

$Z_{min} = 5\ m$

$k_1 = 1{,}0$

$C_{o(z)} = 1{,}0$

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

$v_{m(z)} = c_{r(z)} * c_{0(z)} * v_b$

$k_r = 0{,}19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,7} = 0{,}19 * \left(\frac{0{,}3}{0{,}05}\right)^{0,7} = 0{,}215$

$c_{r(z)} = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0{,}215 * \ln\left(\frac{6{,}7}{0{,}3}\right) = 0{,}669$

$v_{m(z)} = c_{r(z)} * c_{0(z)} * v_b = 0{,}669 * 1{,}0 * 25 = 16{,}725$

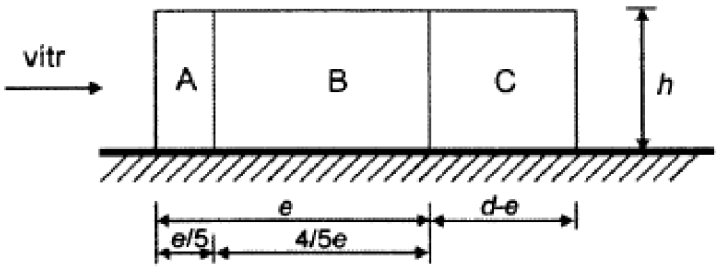
$$Iv_{(z)} = \frac{k_1}{C_{0(z)} * \ln\frac{z}{z_0}} = \frac{1,0}{1,0 * \ln\frac{6,7}{0,3}} = 0,322$$

$$q_{p(z)} = (1+7\ Iv_{(z)})*0,5*\rho*\ v_{m(z)}^2 = (1+7*0,322)*0,5*1,25*16,725^2 = 0,569$$

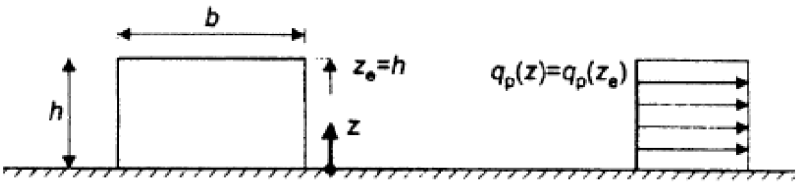
Zatížení větrem na stěny

$$e = \min\{\ 2h;\ l\ \} = \min\{2*6,7;\ 46\ \} = 13,4\ m$$

$b > e$



$b < h$

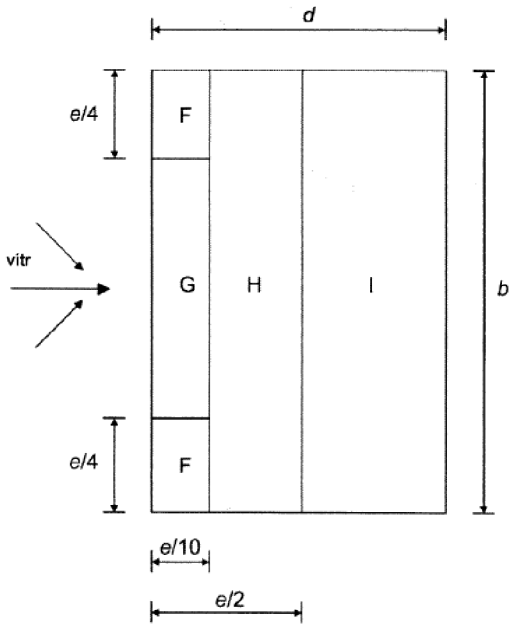


Obr. 2.1

Zatížení větrem na střechu

$e = \min\{2h; b\} = \min\{2*6{,}7; 46\} = 13{,}4\ m$

$c_{pe} = c_{pe(10)}$



$h/b < 0{,}25$

Obr. 2.2

Hodnoty w_e pro jednotlivé oblasti:

plocha	A	B	C	D	E	F	G	H	I+	I-
$c_{pe(10)}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3	-1,8	-1,2	-0,7	0,2	-0,2

2.2 Kombinace zatížení

Pro stanovení únosnosti panelů KINGSPAN se určí nejnepříznivější kombinace namáhání v tlaku a sání. Dle ČSN EN 1990 budou pro výpočet zatížení využity rovnice 6.10a a 6.10b. V kombinacích uvažujeme zatížení stálé, zatížení sněhem a větrem. Zatížení užitné není třeba uvažovat v kombinaci se sněhem. Kombinace „a“ vystihuje situaci, kdy jsou panely extrémně zatíženy tlakem. Kombinace „b“ zobrazuje stav, kdy převažuje sání.

2.2.1 $q_{d(max)}$ ...stálé zatížení + sníh (hlavní) + vítr$^+$

$q_{d(max)} = 1{,}35*g_k + 1{,}5*0{,}5*s_k + 1{,}5*0{,}6*w_e$ (6.10a)

$q_{d(max)} = 1{,}35*0{,}375 + 1{,}5*0{,}5*1{,}6 + 1{,}5*0{,}6*0{,}2$

$q_{d(max)} = 1{,}89\ kN/m^2$

$q_{d(max)} = 0{,}85*1{,}35*g_k + 1{,}5*s_k + 1{,}5*0{,}6*w_e$ (6.10b)

$q_{d(max)} = 0{,}85*1{,}35*0{,}375 + 1{,}5*1{,}6 + 1{,}5*0{,}6*0{,}2$

$q_{d(max)} = 3{,}01\ kN/m^2$

2.2.2 $q_{d(min)}$...stálé zatížení + vítr$^-$

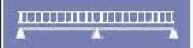
$q_{d(min)} = 1{,}0*g_k + 1{,}5*w_e^-$

$q_{d(min)} = 1{,}0*0{,}376 + 1{,}5*1{,}8$

$q_{d(min)} = 3{,}08\ kN/m^2$

2.3 Únosnost panelů

Zastřešení bude provedeno pomocí sendvičových panelů KINGSPAN 1000 XD TR20/27. Panely budou uloženy na vazníky, jejichž rozpětí činí 4,6 m. Při posouzení panelů se vychází z tabulek únosnosti, dostupných na webových stránkách www.kingspan.cz.

Spojitý nosník o 2 polích	Tloušťka vnitřního plechu [mm]	Tloušťka jádra	Stav zatížení	Typ zatížení	Δ Rovnoměrné zatížení kN/m² při daném rozpětí				
					4,50 m	5.00m	5.50m	6.00m	6.50m
	1.1	XD 80	ULS	Tlak	3.450	2.805	2.310	1.920	1.620
				Sání	4.185	3.416	2.862	2.417	2.093
			SLS	Tlak	2.530	2.057	1.694	1.408	1.705
				Sání	3.410	2.783	2.332	1.969	1.969
		XD 100	ULS	Tlak	3.450	2.805	2.310	1.920	1.620
				Sání	4.185	3.416	2.862	2.417	2.093
			SLS	Tlak	2.645	2.151	1.771	1.472	1.242
				Sání	3.565	2.910	2.438	2.059	1.783

Maximální dovolené hodnoty pro rozpětí 4,6 m byly stanoveny interpolací hodnot z výše zmíněné tabulky únosnosti.

	maximální zatížení q_{max} [kN/m²]
Tlak	3,321
Sání	4,013

2.4 Posouzení

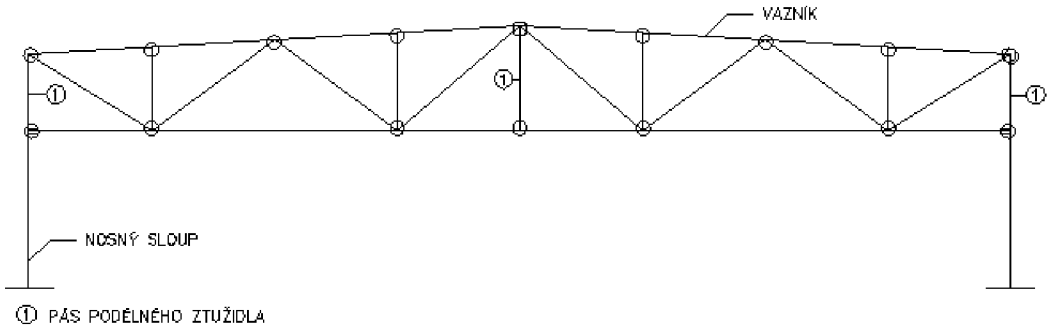
$q_{d(max)}$ = 3,01 kN/m² < $q_{(tlak)}$ = 3,321 kN/m² vyhovuje

$q_{d(min)}$ = 3,08 kN/m² < $q_{(sání)}$ = 4,013 kN/m² vyhovuje

3 ZATÍŽENÍ

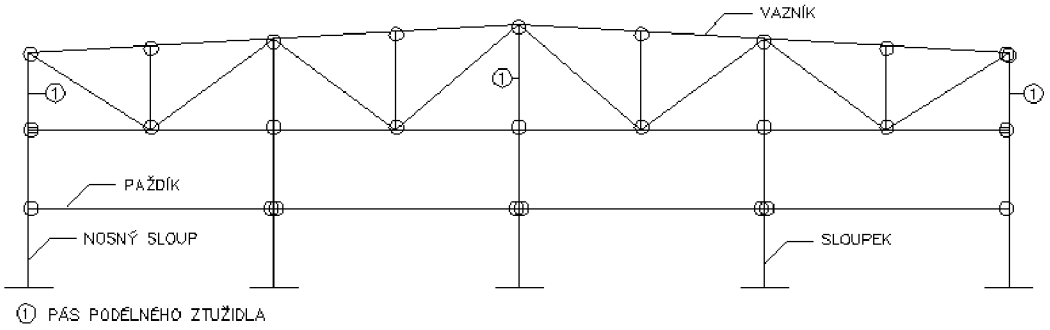
3.1 Struktura modelu

Typická příčná vazba



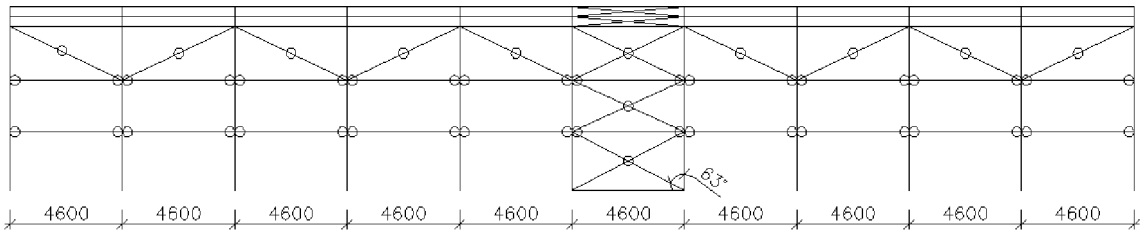
Obr.3.1

Krajní příčná vazba se sloupky a paždíky, které přenášejí vodorovné zatížení

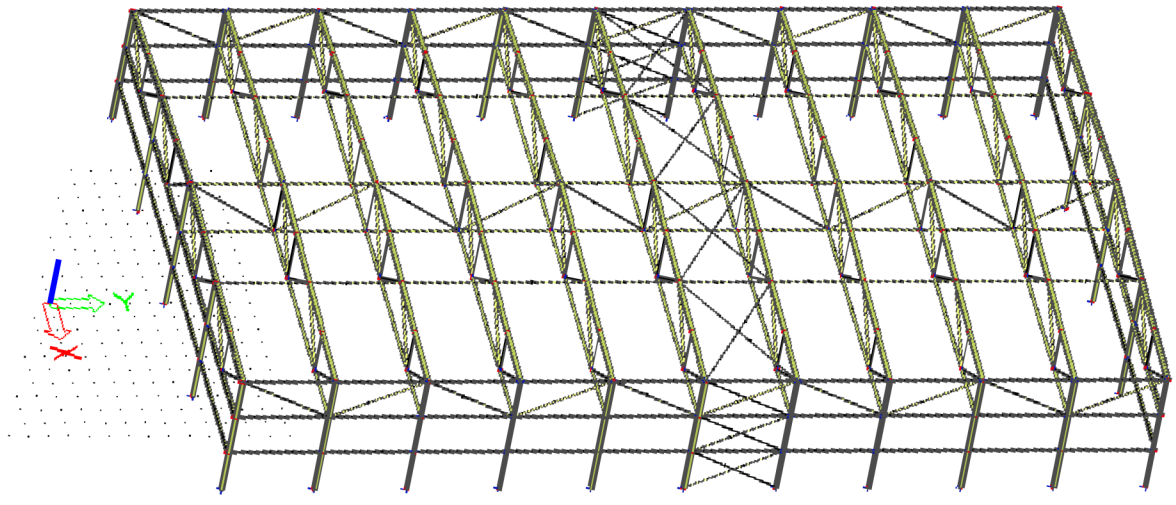


Obr.3.2

Pohled v podélném směru



Obr. 3.3



Obr. 3.4

3.2 Zatěžovací stavy

Zatěžovací stav	Popis
ZS1	Vlastní tíha
ZS2	Ostatní stálé
ZS3	Užitné
ZS4	Sníh celý
ZS5	Sníh pravý
ZS6	Vítr přední -
ZS7	Vítr přední +
ZS8	Vítr boční -
ZS9	Vítr boční +
ZS10	Stabilitní síly (stálé zat. + vítr$^-$)
ZS11	Stabilitní síly (stálé zat. + sníh + vítr$^+$)

Jako vítr + je označen zatěžovací stav, kde vítr v oblasti I působí na konstrukci tlakem ve směru stálého zatížení. Vítr – značí stav, kdy zatížení větrem saje, tzn. působí proti směru stálého zatížení.

3.2.1 Vlastní tíha – 1. ZS

Zatížení od vlastní tíhy bylo vypočteno programem SCIA Engineer 2008.

3.2.2 Ostatní stálé - 2. ZS

∑gk	0,375 KN/m2
Krajní vazník	ZŠ = 2,3 m
	gk = 0,86 kN/m
Střední vazník	ZŠ = 4,6 m
	gk = 1,73 kN/m

3.2.3 Zatížení užitné – 3. ZS

∑qk	0,400 KN/m2
Krajní vazník	ZŠ = 2,3 m
	qk = 0,92 kN/m
Střední vazník	ZŠ = 4,6 m
	qk = 1,84 kN/m

3.2.4 Zatížení sněhem – 4.+5. ZS

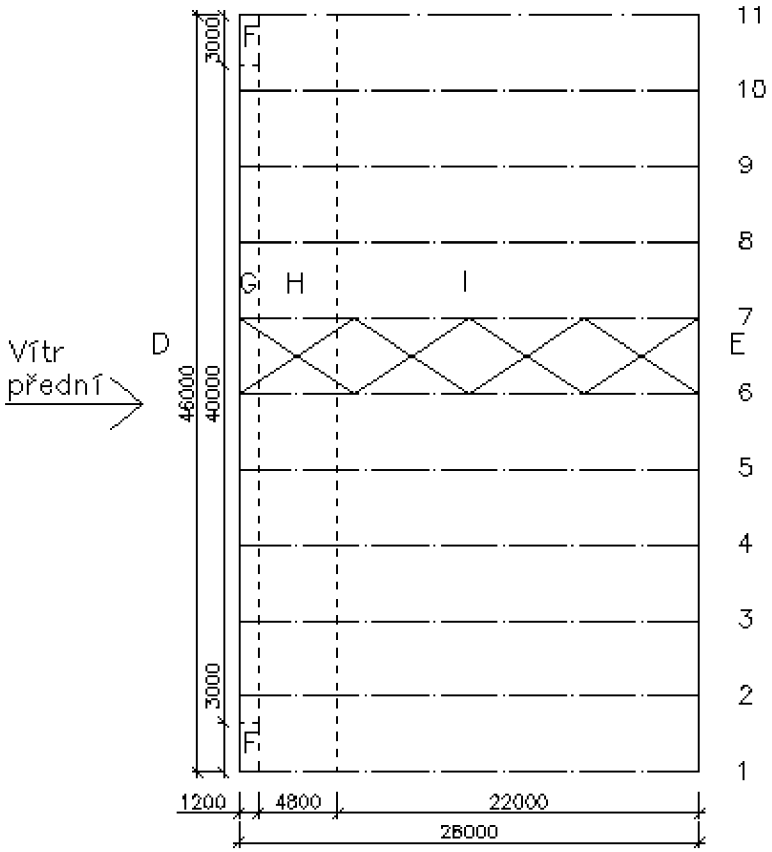
∑sk	1,600 KN/m2
Krajní vazník	ZŠ = 2,3 m
	sk = 3,68 kN/m
Střední vazník	ZŠ = 4,6 m
	sk = 7,36 kN/m

3.2.5 Vítr přední – 6.+7. ZS

Hodnoty w_e pro jednotlivé oblasti:

plocha	A	B	C	D	E	F	G	H	I^+	I^-
$c_{pe(10)}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3	-1,8	-1,2	-0,7	0,2	-0,2

Střecha

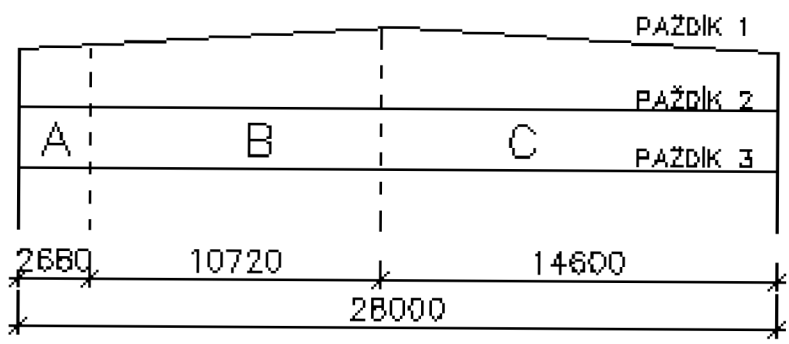


Obr. 3.5

Krajní vazníky (V1, V11) ZŠ = 2,3 m	
q_{kF} = -4,14 kN/m	pro oblast F
q_{kH} = -1,61 kN/m	pro oblast H
q_{kI} = ±0,46 kN/m	pro oblast I

Střední vazníky (V2-V9) ZŠ = 4,6 m	
q_{kG} = -5,52 kN/m	pro oblast G
q_{kH} = -3,22kN/m	pro oblast H
q_{kI} = ±0,92 kN/m	pro oblast I

Stěny



Obr. 3.6

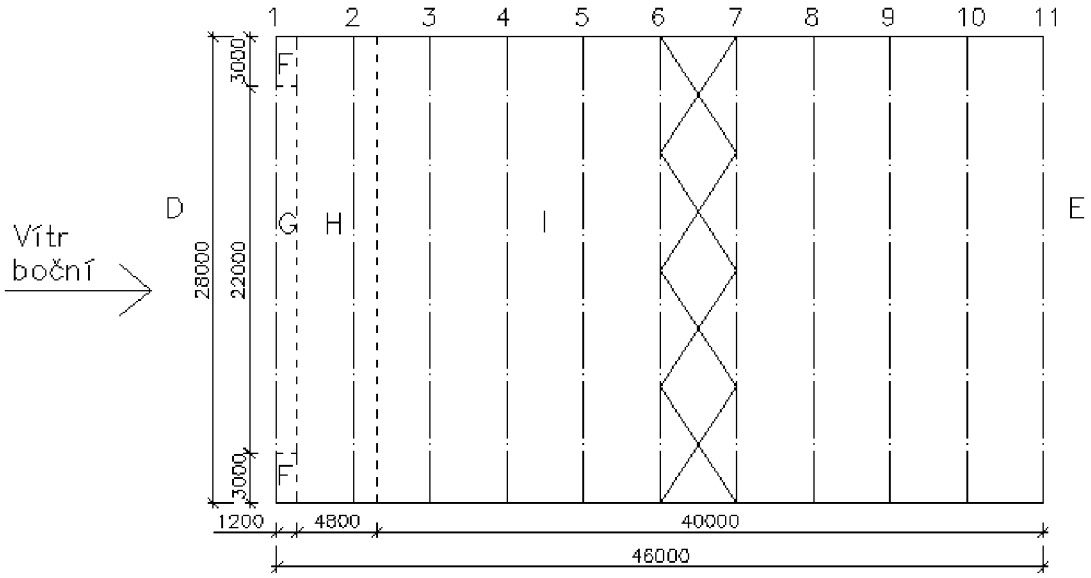
Paždík 1	ZŠ = 1,1 m
q_{kA} = -1,32 kN/m	pro oblast A
q_{kB} = -0,88 kN/m	pro oblast B
q_{kC} = -0,55 kN/m	pro oblast C
q_{kD} = +0,77 kN/m	pro oblast D
q_{kE} = -0,33 kN/m	pro oblast E

Paždík 2	ZŠ = 2,2 m
q_{kA} = -2,64 kN/m	pro oblast A
q_{kB} = -1,76 kN/m	pro oblast B
q_{kC} = -1,10 kN/m	pro oblast C
q_{kD} = +1,54 kN/m	pro oblast D
q_{kE} = -0,66 kN/m	pro oblast E

Paždík 3	ZŠ = 2,25 m
q_{kA} = -2,70 kN/m	pro oblast A
q_{kB} = -1,80 kN/m	pro oblast B
q_{kC} = -1,13 kN/m	pro oblast C
q_{kD} = +1,58 kN/m	pro oblast D
q_{kE} = -0,74 kN/m	pro oblast E

3.2.6 Vítr boční – 8.-9. ZS

Střecha



Obr. 3.7

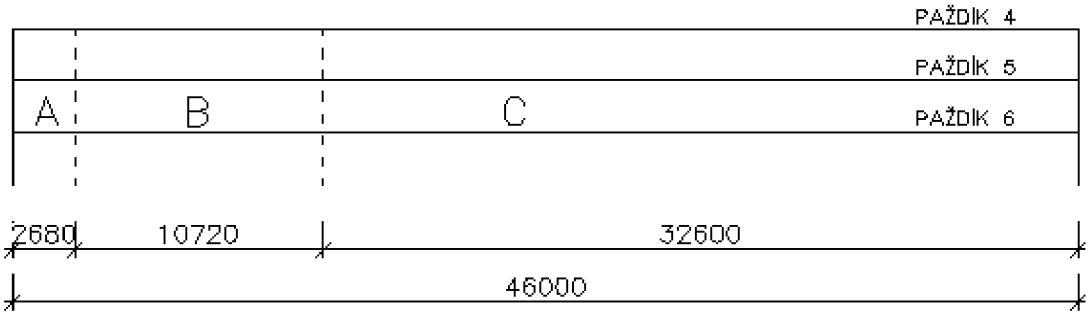
Krajní vazník V1, ZŠ = 2,3 m	(1,2 F + 2,1 H)
$q_{kF/H}$ = -3,08 kN/m	pro oblast F
$q_{kG/H}$ = -2,28 kN/m	pro oblast G

Krajní vazník V2, ZŠ = 4,6 m	(3,7 H + 0,9 I)
qkH = -2,45 kN/m	pro oblast H

Střední vazníky (V3-V10)	ZŠ = 4,6 m
q_{kI} = ±0,92 kN/m	pro oblast I

Krajní vazník V11	ZŠ = 2,3 m
q_{kI} = ±0,46 kN/m	pro oblast I

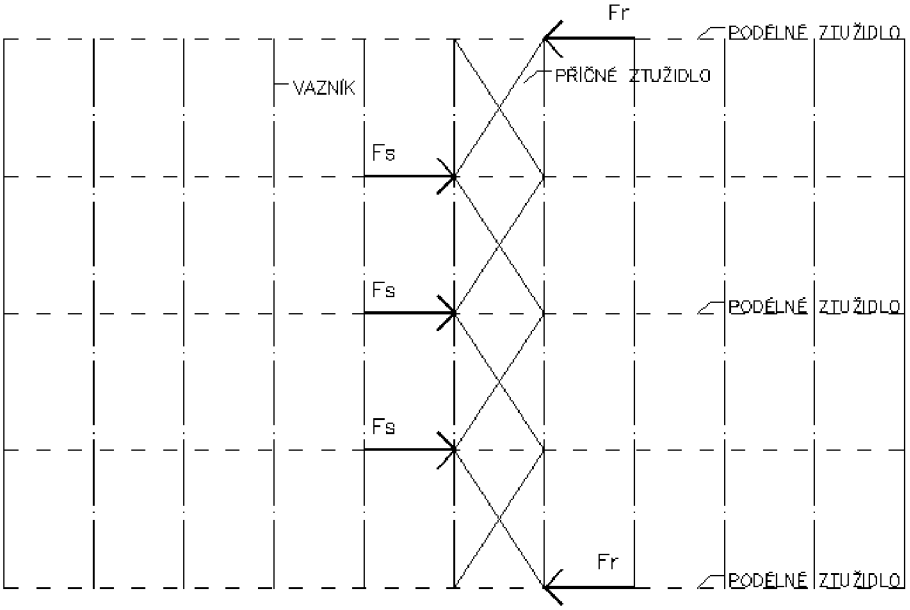
Stěny



Obr. 3.8

Paždíky 4-6 budou zatíženy stejně jako paždíky 1-3.

3.2.7 Stabilitní síly – 10. ZS



Obr. 3.9

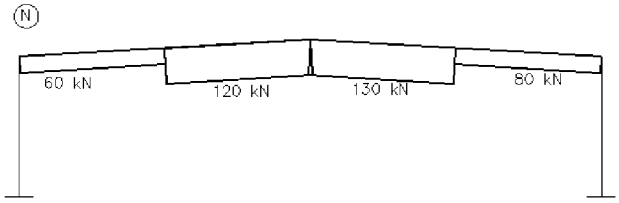
Stabilitní síly vyplývají ze zabezpečení horních pásů vazníků proti vybočení z roviny. a působí v místě připojení příčného ztužidla na horní pásy vazníků, viz obrázek. Stanoví se na základě vypočtených vnitřních sil na konstrukci a to maximálních momentů M_y v horních pásech vazníků zvlášť pro jednotlivé kombinace zatížení.

SÁNÍ (max sání, stálé zatížení + vítr)

$$N_{hp} = \frac{120+130+80+60}{4} = 97{,}5\ \mathrm{kN/m}$$

$$Fs = \frac{\sum N_{hp}}{100*n_s} = \frac{10*975}{100*3} = 3{,}25\ \mathrm{kN}$$

$$Fr = \frac{\sum F_s}{2} = \frac{3*3{,}25}{2} = 4{,}87\ \mathrm{kN}$$



Obr. 3.10

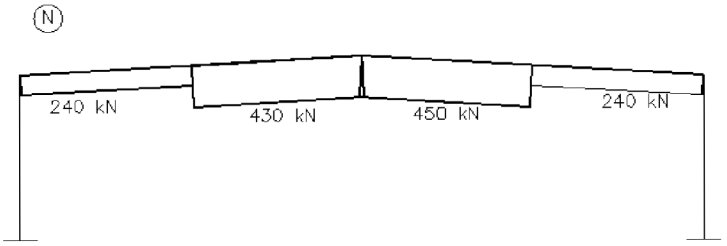
TLAK (max tlak na vazník, stálé + sníh + vítr)

$$N_{hp} = \frac{240+430+450+240}{4} = 340{,}0\ \mathrm{kN/m}$$

$$F_s = \frac{\sum N_{hp}}{100*n_s} = \frac{10*340}{100*3} = 11{,}33\ \mathrm{kN}$$

$$F_r = \frac{\sum F_s}{2} = \frac{3*11{,}33}{2} = 17{,}0\ \mathrm{kN}$$

n_s počet styčníků, ve kterých působí stabilitní síly



Obr. 3.11

3.3 Skupiny zatížení

Skupina	Popis	Obsah	Typ
LG1	Stálá zatížení	ZS1-Vlastní tíha	Standard
		ZS2-Ostatní stálá zatížení	
LG2	Proměnné zatížení	ZS3-Užitné zatížení	Standard
LG3	Sníh	ZS4-Sníh plný	Výběrová
		ZS5-Sníh pravý	
LG4	Vítr	ZS6-Vítr přední -	Výběrová
		ZS7-Vítr přední +	
		ZS8-Vítr boční +	
		ZS9-Vítr boční -	
LG5	Stabilitní síly	ZS10-Stabititní síly (sání)	Výběrová
		ZS11-Stabilitní síly (tlak)	

3.4 Kombinace zatížení

Kombinace jsou tvořeny v souladu s ČSN-EN 1990 s použitím rovnic:

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}G_{k,j}\text{"+"}\gamma_P P\text{"+"}\gamma_{Q,1}\psi_{0,1}Q_{k,1}\text{"+"}\sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i} \tag{6.10a}$$

$$\sum_{j\geq 1}\xi_j G_{k,j}\text{"+"}\gamma_P P\text{"+"}\gamma_{Q,1}Q_{k,1}\text{"+"}\sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i} \tag{6.10b}$$

Vzhledem k poměru stálých a proměnných zatížení byla použita rovnice 6.10b, jejímiž výsledky jsou hodnoty méně příznivé. Užitné zatížení není v kombinacích zahrnuto z důvodu vyloučení jeho působení zároveň se zatížením sněhem, jehož hodnota je vyšší. Rozhodujících 10 kombinací pochází z těchto tří kombinačních skupin.

Minimální zatížení na horní pás vazníku: CO1

Stálá zatížení + vítr$^-$

Maximální zatížení na horní pás vazníku: CO2

Stálá zatížení + hl. sníh + vítr$^+$

Maximální zatížení na horní pás vazníku: CO3

Stálá zatížení + hl. vítr$^+$ + sníh

3.4.2 Tabulka kombinací

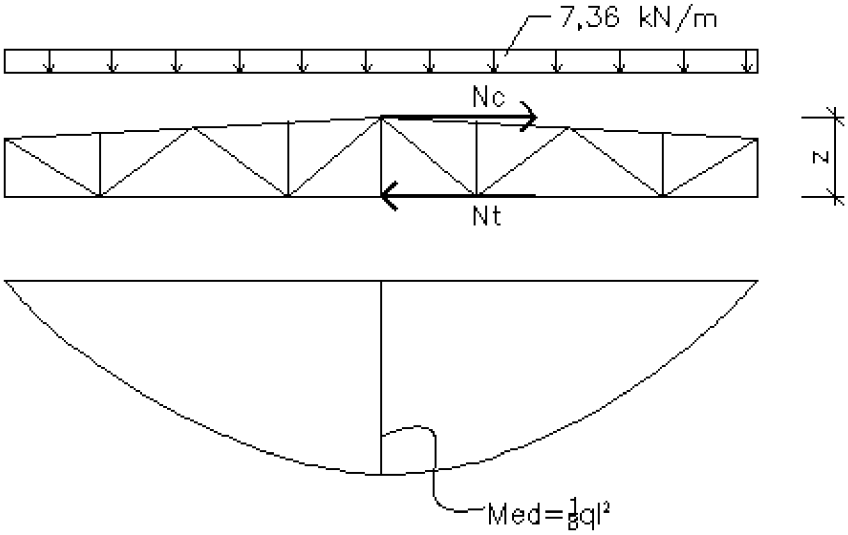
Název	Popis	Obsah
CO1	Sání; stálá zatížení + vítr přední $^{-}$	1,0*(ZS1+ZS2) + 1,5*ZS6
CO2	Sání; stálá zatížení + vítr boční $^{-}$	1,0*(ZS1+ZS2) + 1,5*ZS9
CO3	Tlak(hl.vítr); stálá zatížení + vítr přední$^{+}$ + sníh plný	0,85*1,35*(ZS1+ZS2) + 1,5*ZS7 + 0,5*1,5*ZS4
CO4	Tlak(hl.vítr); stálá zatížení + vítr přední$^{+}$ + sníh pravý	0,85*1,35*(ZS1+ZS2) + 1,5*ZS7 + 0,5*1,5*ZS5
CO5	Tlak(hl.vítr); stálá zatížení + vítr boční$^{+}$ + sníh celý	0,85*1,35*(ZS1+ZS2) + 1,5*ZS8 + 0,5*1,5*ZS4
CO6	Tlak(hl.vítr); stálá zatížení + vítr boční$^{+}$ + sníh pravý	0,85*1,35*(ZS1+ZS2) + 1,5*ZS8 + 0,5*1,5*ZS5
CO7	Tlak(hl.sníh); stálá zatížení + sníh celý + vítr přední$^{+}$	0,85*1,35*(ZS1+ZS2) + 1,5*ZS4 + 0,5*1,5*ZS7
CO8	Tlak(hl.sníh); stálá zatížení + sníh pravý + vítr přední$^{+}$	0,85*1,35*(ZS1+ZS2) + 1,5*ZS5 + 0,5*1,5*ZS7
CO9	Tlak(hl.sníh); stálá zatížení + sníh celý + vítr boční$^{+}$	0,85*1,35*(ZS1+ZS2) + 1,5*ZS4 + 0,5*1,5*ZS8
CO10	Tlak(hl.sníh); stálá zatížení + sníh pravý + vítr boční$^{+}$	0,85*1,35*(ZS1+ZS2) + 1,5*ZS5 + 0,5*1,5*ZS8

Pozn.: Součástí každé kombinace jsou příslušné stabilitní síly.

3.5 Kontrola vnitřních sil v horním a dolním pásu vazníku ručním výpočtem

Ruční kontrola vnitřních sil byla provedena pro zatěžovací stav ZS4, sníh plný.

3.5.1 Osové síly



Obr. 3.12

$$M_{Ed} = \frac{1}{8}\, q\, l^2 = \frac{1}{8}\, 7{,}36 * 28^2 = 721{,}28 \text{ kNm}$$

$$z = 3{,}0 \text{ m}$$

$$N_c = N_t = \frac{M_{Ed}}{z} = \frac{721{,}28}{3{,}0}$$

Výsledek kontroly:

$N_c = 240$ kN

$N_t = 240$ kN

dle SCIA Engineer:

$N_c = 245$ kN

$N_t = 230$ kN

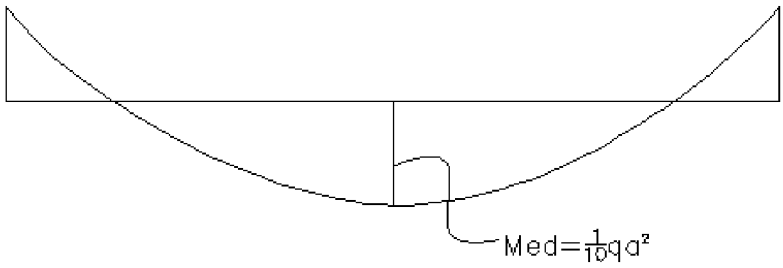
3.5.2 Momenty v horním pásu

$M_{Ed} = \frac{1}{10} q\ a^2 = \frac{1}{8} 7{,}36*3{,}5^{\ 2}$

$M_{Ed} = 8{,}37\ kN$

dle SCIA Engineer:

$M_{Ed} = 9{,}01\ kNm$



Obr. 3.13

3.5.3 Zhodnocení

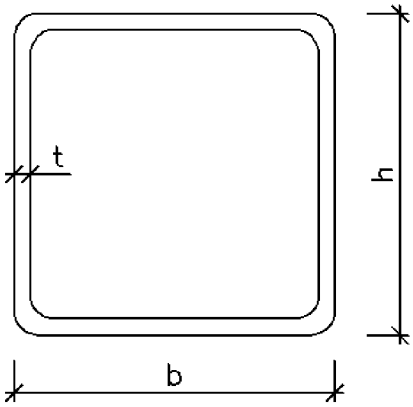
Jako srovnávací hodnoty z výpočetního programu byly vybrány průměrné výsledky z různých příčných vazeb. Výsledky ze software SCIA Engineer odpovídají přibližnému kontrolnímu výpočtu. Odchylka je způsobena zjednodušením ručního výpočtu.

4 POSOUZENÍ NA MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

Všechny prvky nosné konstrukce jsou dimenzovány a posouzeny pomocí software Scia Engineer 2008. Ruční kontrola výpočtu byla provedena pro pruty vazníku. Následuje porovnání výsledků s výsledky strojového výpočtu. Výsledky vypočtené programem Scia Engineer 2008 se nacházejí v příloze bakalářské práce.

4.1 Horní pás vazníku

4.1.1 Zatřídění průřezu:



Obr. 4.1

Poměrné přetvoření: $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{fy}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1{,}0$

Rozměry průřezu: $h = 200\ mm$

$b = 200\ mm$

$t = 10\ mm$

$c = h - 2\ t = 200 - 2x10 = 180\ mm$

$\frac{c}{t} = \frac{180}{10} = 18$

Průřezové charakteristiky:

Plocha $A = 7{,}49\ x\ 10^{-3}\ m^2$

Moment setrvačnosti $I_y = 4{,}47\ x\ 10^{-5}\ m^4$

$I_z = 4{,}47\ x\ 10^{-5}\ m^4$

Průřezový modul $W_{pl,y} = 5{,}31\ x\ 10^{-4}\ m^3$

$W_{pl,z} = 5{,}31\ x\ 10^{-4}\ m^3$

Poloměry setrvačnosti $i_y = 77{,}2\ \mathrm{mm}$

$i_y = 77{,}2\ \mathrm{mm}$

Materiálové charakteristiky:

Mez kluzu $f_y = 235\ \mathrm{MPa}$

Modul pružnosti $E = 210\ \mathrm{GPa}$

4.1.2 Posouzení

Horní pás vazníku je namáhán tlakem a vzhledem k tomu, že je zatěžován spojitým rovnoměrným zatížením, i ohybem a posouvající silou. Tento prvek nebude za žádných okolností tažen. Klopení horního tlačeného pásu vazníku je zabráněno jeho připojením k tuhému střešnímu plášti, který je tvořen nosnými sendvičovými panely KINGSPAN KS1000 X-DEK.

Posuzujeme tedy prvek na vzpěr, ohyb a smyk.

4.1.3 Posouzení na vzpěr

Zabezpečení proti vzpěru kolmo k rovině y je zajištěno mezipásovými pruty vazníku ve vzdálenostech $L_{cr,y}$. Proti vzpěru kolmo k rovině z je horní pás vazníku zabezpečen podélnými ztužidly a ztužujícími pásy ve vzdálenostech $L_{cr,z}$.

Vzpěrné délky: $L_{cr,y} = 3{,}506\ \mathrm{m}$

$L_{cr,z} = 7{,}012\ \mathrm{m}$

Štíhlost: $\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi * \sqrt{\frac{210*10^9}{235*10^6}} = 93{,}9$

Kolmo na osu y

Poměrná šíhlost:

$$\alpha_y = 0{,}49 \ldots \text{křivka vzpěrné pevnosti c}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{3,506}{0,077} * \frac{1}{93,9} = 0,483$$

$$\Phi_y = 0,5*[1 + \alpha * (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,5*[1 + 0,49 * (0,483 - 0,2) + 0,483^2] = 0,686$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$X_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y{}^2 - \lambda_y{}^2}} = \frac{1}{0,686 + \sqrt{0,686^2 - 0,483^2}} = 0,852$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,y} = \frac{X_y * A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,852 * 7,49 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1,0} = 1500,70 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 787,78 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} \leq 1,0$$

$$\frac{787,78}{1500,7} \leq 1,0$$

$$0,52 \leq 1,0 \text{ ...vyhovuje}$$

Kolmo na osu z

Poměrná šíhlost:

$$\alpha_z = 0,49 \text{ ... křivka vzpěrné pevnosti c}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{7,012}{0,077} * \frac{1}{93,9} = 0,967$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,5 * [1 + 0,49 * (0,967 - 0,2) + 0,967^2] = 1,155$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$X_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z{}^2 - \lambda_z{}^2}} = \frac{1}{1{,}155 + \sqrt{1{,}155^2 - 0{,}967^2}} = 0{,}559$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,z} = \frac{X_z * A * f_z}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}559 * 7{,}49 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1{,}0} = 985{,}18 \text{ kN}$$

$$N_{Ed=} 787{,}78 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{787{,}78}{985{,}18} \leq 1{,}0$$

$$0{,}80 \leq 1{,}0 \text{ ...vyhovuje}$$

4.1.4 Kritická štíhlost:

Pro ověření mezní štíhlosti byla použita tabulka 6.10 ze zrušené ČSN 73 14 01. Pro tlačené pruty, které jsou součástí příhradových konstrukcí je dle této normy kritická štíhlost limitována hodnotou 200.

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{7{,}012}{77{,}2 \text{ x } 10^{-3}} = 90{,}83$$

$$\lambda_z \leq \lambda_{lim}$$

$$90{,}83 \leq 200 \text{...vyhovuje}$$

4.1.5 Posouzení na ohyb

Kolmo na osu y

$$M_{c,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5{,}31*10^{-4}*235*10^6}{1{,}0} = 124{,}79 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Ed=} 15{,}43 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{c,Ed}}{M_{c,Rd,y}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{15{,}43}{124{,}79} \leq 1{,}0$$

$$0{,}12 \leq 1{,}0 \text{ ...vyhovuje}$$

Kolmo na osu z

$$M_{c,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5{,}31*10^{-4}*235*10^6}{1{,}0} = 124{,}79 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{c,Ed}}{M_{c,Rd,z}} \leq 1{,}0$$

$$M_{c,Ed} = 8{,}00 \text{ kNm}$$

$$\frac{8{,}00}{124{,}79} \leq 1{,}0$$

$$0{,}06 \leq 1{,}0 \text{ ...vyhovuje}$$

4.1.6 Posouzení na smyk

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{3{,}75*10^{-3}*235*10^6}{\sqrt{3}*1{,}0} = 508{,}79 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{A}{2} = \frac{7{,}49*10^{-3}}{2} = 3{,}75 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{Ed} = 29{,}72 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{29{,}72}{508{,}79} \leq 1{,}0$$

$$0{,}06 \leq 1{,}0 \text{ ...vyhovuje}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 0{,}5$$

$$0{,}06 \leq 0{,}5$$

$$X \leq 0{,}5 \text{ ...není třeba redukovat ohybovou únosnost}$$

4.1.7 Porovnání

Výsledky strojového výpočtu se shodují s ručně vypočtenými jednotkovými posudky. Pro porovnání je uveden posudek stability (vzpěr), který je pro horní pás vazníku rozhodující.

Stabilitní posudek

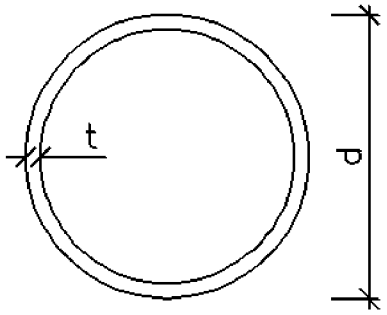
Parametry vzpěru	yy	zz	
typ	posuvné	neposuvné	
Štíhlost	45.39	90.78	
Redukovaná štíhlost	0.48	0.97	
Vzpěr. křivka	c	c	
Imperfekce	0.49	0.49	
Redukční součinitel	0.85	0.56	
Délka	14.02	14.02	m
Součinitel vzpěru	0.25	0.50	
Vzpěrná délka	3.51	7.01	m
Kritické Eulerovo zatížení	7538.32	1884.58	kN

Posudek na vzpěr
podle článku EN 1993-1-1 : 6.3.1.1. a vzorce EN 1993-1-1 : (6.46)

Tabulka hodnot		
Nb.Rd	985.27	kN
jedn. posudek	0.80	

4.2 Dolní pás vazníku

4.2.1 Zatřídění průřezu



Obr. 4.2

Poměrné přetvoření: $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{fy}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1{,}0$

Rozměry průřezu: $d = 152{,}4\ \mathrm{mm}$

$t = 8\ \mathrm{mm}$

$\frac{d}{t} = \frac{152{,}4}{8} = 19{,}05 \leq 50\ \varepsilon^2 = 50$ ... třída průřezu 1

Průřezové charakteristiky:

Plocha $A = 3{,}63 \times 10^{-3}\ \mathrm{m}^2$

Moment setrvačnosti $I_y = 9{,}49 \times 10^{-6}\ \mathrm{m}^4$

$I_z = 9{,}49 \times 10^{-6}\ \mathrm{m}^4$

Průřezový modul $W_{pl,y} = 1{,}66 \times 10^{-4}\ \mathrm{m}^3$

$W_{pl,z} = 1{,}66 \times 10^{-4}\ \mathrm{m}^3$

Poloměry setrvačnosti $i_y = 51{,}1\ \mathrm{mm}$

$i_y = 51{,}1\ \mathrm{mm}$

Materiálové charakteristiky:

Mez kluzu $f_y = 235\ \mathrm{MPa}$

Modul pružnosti $E = 210\ \mathrm{GPa}$

4.2.2 Posouzení

Dolní pás vazníku nebude za žádných okolností vystaven namáhání tlakem, proto není nutné tento prvek posuzovat na vzpěr. Zároveň na prut dolního pásu nepůsobí žádné mimostyčné zatížení, je tedy potřeba tento prvek posoudit pouze na tah.

4.2.3 Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A*f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3{,}63*10^{-3}*235*10^{6}}{1{,}0} = 853{,}05 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed=} 699{,}21 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{699{,}21}{853{,}05} \leq 1{,}0$$

$$0{,}82 \leq 1{,}0 \text{ ...vyhovuje}$$

4.2.4 Kritická štíhlost:

Pro tažené pruty je dle ČSN 73 1401 tab. 6.10 kritická štíhlost pro pruty příhradových nosníků stanovena na hodnotu 400.

$$L_{cr} = 7{,}0 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{7{,}0}{51{,}1 \text{ x } 10^{-3}} = 137{,}0$$

$$\lambda_z \leq \lambda_{lim}$$

$$137{,}0 \leq 400 \text{...vyhovuje}$$

4.2.5 Porovnání

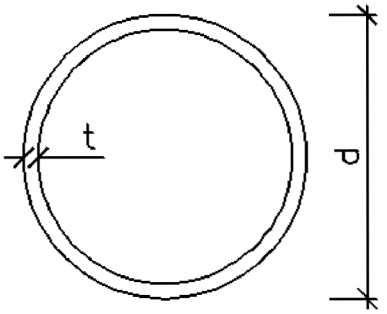
Posouzení na osovou sílu dle Scia Engineer:

Posudek na osovou sílu
podle článku EN 1993-1-1 : 6.2.3. a vzorce EN 1993-1-1 : (6.5)

Tabulka hodnot		
Nt.Rd	853.05	kN
jedn. posudek	0.82	

4.3 Diagonála

4.3.1 Zatřídění průřezu:



Obr. 4.3

Poměrné přetvoření: $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{fy}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1{,}0$

Rozměry průřezu: $d = 114{,}3\ \mathrm{mm}$

$t = 10\ \mathrm{mm}$

$\frac{d}{t} = \frac{114{,}3}{10} = 11{,}4 \leq 50\ \varepsilon^2 = 50$....třída průřezu 1

Průřezové charakteristiky:

Plocha $A = 3{,}28 \times 10^{-3}\ \mathrm{m}^2$

Moment setrvačnosti $I_y = 4{,}50 \times 10^{-6}\ \mathrm{m}^4$

$I_z = 4{,}50 \times 10^{-6}\ \mathrm{m}^4$

Průřezový modul $W_{pl,y} = 1{,}075 \times 10^{-4}\ \mathrm{m}^3$

$W_{pl,z} = 1{,}075 \times 10^{-4}\ \mathrm{m}^3$

Poloměry setrvačnosti $i_y = 37{,}0\ \mathrm{mm}$

$i_y = 37{,}0\ \mathrm{mm}$

Materiálové charakteristiky:

Mez kluzu $f_y = 235\ \mathrm{MPa}$

Modul pružnosti $E = 210\ \mathrm{GPa}$

4.3.2 Posouzení na vzpěr

$$L_{cr,y} = 4{,}36 * 1{,}0 = 4{,}36 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 4{,}36 * 0{,}8 = 3{,}49 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi * \sqrt{\frac{210*10^9}{235*10^6}} = 93{,}9$$

Kolmo na osu y

Poměrná šíhlost:

$$\lambda_y = 0{,}49 \text{ ... křivka vzpěrné pevnosti c}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{4{,}36}{37{,}0} * \frac{1}{93{,}9} = 1{,}253$$

$$\Phi_y = 0{,}5 * [1 + \alpha * (\lambda_y - 0{,}2) + \lambda_y^2] = 0{,}5 * [1 + 0{,}49 * (1{,}253 - 0{,}2) + 1{,}253^2] = 1{,}544$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$X_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y{}^2 - \lambda_y{}^2}} = \frac{1}{1{,}544 + \sqrt{1{,}544^2 - 1{,}253^2}} = 0{,}409$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,y} = \frac{X_y * A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}409 * 3{,}28 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1{,}0} = 315{,}31 \text{ kN}$$

$$N_{Ed=} 256{,}16 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{256{,}16}{315{,}31} \leq 1{,}0$$

$$0{,}81 \leq 1{,}0 \text{ ...vyhovuje}$$

Kolmo na osu z

Vzpěrná délka ve směru kolmo k rovině z je menší než kolmo k rovině y, proto bude vzpěrná únosnost v tomto směru vyšší a nebude rozhodovat o únosnosti prvku.

4.3.3 Kritická štíhlost:

Pro tlačené pruty příhradových nosníků je dle ČSN 73 1401 tab. 6.10 kritická štíhlost na hodnotu 200.

$$L_{cr,y} = 4{,}36 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4{,}36}{37{,}7 \text{ x } 10^{-3}} = 115{,}6$$

$$\lambda_y \leq \lambda_{lim}$$

$$115{,}6 \leq 200 \ldots \text{vyhovuje}$$

4.3.4 Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3{,}28 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1{,}0} = 770{,}8 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 444{,}71 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{444{,}71}{770{,}8} \leq 1{,}0$$

$$0{,}58 \leq 1{,}0 \ldots \text{vyhovuje}$$

4.3.5 Porovnání

Výsledky z výpočetního programu se opět zcela shodují s výsledky ručního výpočtu.

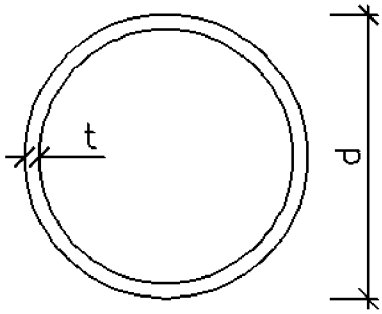
Posudek na osovou sílu
podle článku EN 1993-1-1 : 6.2.3. a vzorce EN 1993-1-1 : (6.5)

Tabulka hodnot		
Nt.Rd	770.80	kN
jedn. posudek	0.58	

Posudek na vzpěr
podle článku EN 1993-1-1 : 6.3.1.1. a vzorce EN 1993-1-1 : (6.46)

Tabulka hodnot		
Nb.Rd	315.31	kN
jedn. posudek	0.81	

4.4 Svislice



Obr. 4.4

4.4.1 Zatřídění průřezu:

Poměrné přetvoření: $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{fy}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1{,}0$

Rozměry průřezu: $d = 54{,}0\ mm$

$t = 8{,}0\ mm$

$\frac{d}{t} = \frac{54{,}0}{8{,}0} = 6{,}75 \leq 50\ \varepsilon^2 = 50$....třída průřezu 1

Průřezové charakteristiky:

Plocha $A = 1{,}16 \times 10^{-3}\ m^2$

Moment setrvačnosti $I_y = 3{,}15 \times 10^{-7}\ m^4$

$I_z = 3{,}15 \times 10^{-7}\ m^4$

Průřezový modul $W_{pl,y} = 1{,}17 \times 10^{-5}\ m^3$

$W_{pl,z} = 1{,}17 \times 10^{-5}\ m^3$

Poloměry setrvačnosti $i_y = 16{,}5\ \mathrm{mm}$

$i_y = 16{,}5\ \mathrm{mm}$

Materiálové charakteristiky:

Mez kluzu $f_y = 235\ \mathrm{MPa}$

Modul pružnosti $E = 210\ \mathrm{GPa}$

4.4.2 Posouzení na vzpěr

Vzpěrné délky: $L_{cr,y} = 2{,}40 * 1{,}0 = 2{,}40\ \mathrm{m}$

$L_{cr,z} = 2{,}40 * 0{,}8 = 1{,}92\ \mathrm{m}$

Štíhlost: $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi * \sqrt{\frac{210*10^9}{235*10^6}} = 93{,}9$

Kolmo na osu y

Poměrná šíhlost:

$\lambda_y = 0{,}49$ ... křivka vzpěrné pevnosti c

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{2{,}4}{16{,}5} * \frac{1}{93{,}9} = 1{,}551$$

$$\Phi_y = 0{,}5 * [1 + \alpha * (\lambda_y - 0{,}2) + \lambda_y^2] = 0{,}5 * [1 + 0{,}49 * (1{,}551 - 0{,}2) + 1{,}551^2] = 2{,}033$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$X_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y{}^2 - \lambda_y{}^2}} = \frac{1}{2{,}033 + \sqrt{2{,}033^2 - 1{,}551^2}} = 0{,}299$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd,y} = \frac{X_y * A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}299 * 1{,}16 * 10^{-3} * 235 * 10^6}{1{,}0} = 81{,}40\ \mathrm{kN}$$

$$N_{Ed=}\ 58{,}08\ \mathrm{kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{58{,}08}{81{,}40} \leq 1{,}0$$

$$0{,}71 \leq 1{,}0\ \ldots\mathrm{vyhovuje}$$

Kolmo na osu z

Vzpěrná délka ve směru kolmo k rovině z je menší než kolmo k rovině y, proto bude vzpěrná únosnost v tomto směru vyšší a nebude rozhodovat o únosnosti prvku.

4.4.3 Kritická štíhlost:

Pro tlačené pruty příhradových nosníků je dle ČSN 73 1401 tab. 6.10 kritická štíhlost na hodnotu 200.

$$L_{cr,max} = 2{,}80\ \mathrm{m}$$

$$\lambda_{max} = \frac{L_{cr,max}}{i} = \frac{2{,}80}{16{,}5\ \mathrm{x}\ 10^{-3}} = 169{,}7$$

$$\lambda_{max} \leq \lambda_{lim}$$

$$169{,}7 \leq 200\ldots\mathrm{vyhovuje}$$

4.4.4 Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1{,}16 * 10^{-3} * 235 * 10^{6}}{1{,}0} = 272{,}6\ \mathrm{kN}$$

$$N_{t,Ed=}\ 14{,}96\ \mathrm{kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{14{,}96}{272{,}6} \leq 1{,}0$$

$$0{,}05 \leq 1{,}0 \text{ ...vyhovuje}$$

4.4.5 Porovnání s výsledky z výpočetního programu

Hodnoty jednotkových posudků ručního a strojového výpočtu se naprosto shodují.

Posudek na vzpěr
podle článku EN 1993-1-1 : 6.3.1.1. a vzorce EN 1993-1-1 : (6.46)

Tabulka hodnot		
Nb.Rd	81.40	kN
jedn. posudek	0.71	

Posudek na osovou sílu
podle článku EN 1993-1-1 : 6.2.3. a vzorce EN 1993-1-1 : (6.5)

Tabulka hodnot		
Nt.Rd	272.60	kN
jedn. posudek	0.05	

4.5 Zhodnocení

Dílčí výsledky strojového a ručního výpočtu se naprosto shodují. Strojní výpočet pak do celkového posudku každého prvku zahrnuje i posudek na smyk a ohyb. Ty ruční výpočet neuvažuje, protože se jedná o pruty příhradového vazníku, které přenášejí pouze osové síly. Výjimku tvoří pouze mimostyčně zatížený horní pás.

Podrobnější výsledky, průběhy vnitřních sil na prutech a posudky prvků jsou uvedeny v příloze tohoto dokumentu.

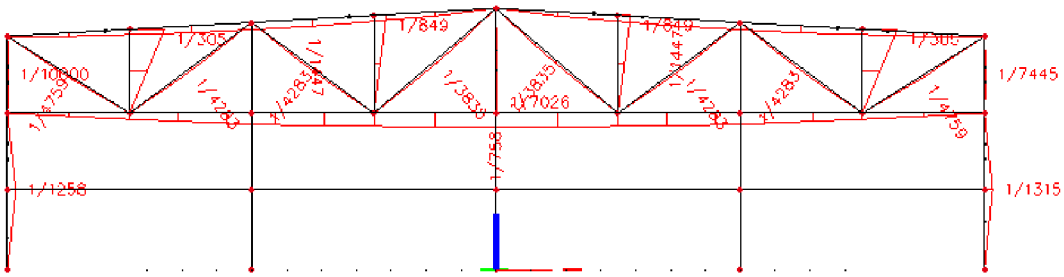
5 POSOUZENÍ NA MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Pro posouzení na MSP byly vytvořeny zvláštní kombinace:

Název	Popis	Obsah
CO11	Stálá zatížení + sníh celý +vítr přední$^+$	1,0*(ZS1+ZS2) + 1,0*ZS4 + 1,0*ZS7
CO12	Stálá zatížení+ sníh pravý + vítr přední$^+$	1,0*(ZS1+ZS2) + 1,0*ZS5 + 1,0*ZS7
CO13	Stálá zatížení+ sníh celý + vítr boční$^+$	1,0*(ZS1+ZS2) + 1,0*ZS4 + 1,0*ZS8
CO14	Stálá zatížení + sníh pravý + vítr boční$^+$	1,0*(ZS1+ZS2) + 1,0*ZS5 + 1,0*ZS8

Pozn.: Součástí každé kombinace jsou příslušné stabilitní síly.

Konstrukce byla posouzena pomocí software Scia Engineer.



Obr. 5.1

Maximální průhyb v konstrukci příčné vazby vykazuje svislice vazníku. Tento průhyb je porovnáván s doporučenou mezní hodnotou průhybu.

$$W_z = \frac{1}{305} l \leq \frac{1}{250} l$$

Maximálního průhybu na celé konstrukci dosahuje spodní pás podélného ztužidla, který zároveň slouží jako paždík k přenosu vodorovných zatížení.

$$W_z = \frac{1}{305} l \leq \frac{1}{250} l$$

Konstrukce vyhoví na mezní stav použitelnosti.

6 VÝPIS PRVKŮ

6.1 Vazník

Horní pás	TR□ 200 x 200 x 10
Dolní pás	TR Φ 152,4 x 8
Diagonála	TR Φ 114,3 x 10
Svislice	TR Φ 54 x 8

6.2 Ztužidla

Příčné ztužidlo	táhlo Macalloy z VP oceli S460 Φ 22
Pásy podélného ztužidla	TR Φ 76,1 x 10
Diagonály pod. ztužidla	TR Φ 73 x 10
Ztužující pásy	TR Φ 51 x 10

6.3 Vertikální prvky

Sloupky	TR□ 150 x 150 x 12,5
Sloupy	2 x UPE 240

6.4 Paždíky

Paždíky délky 7 m	TR▭ 180 x 100 x 10
Paždíky délky 4,6 m	TR▭ 150 x 50 x 6

7 DETAILY

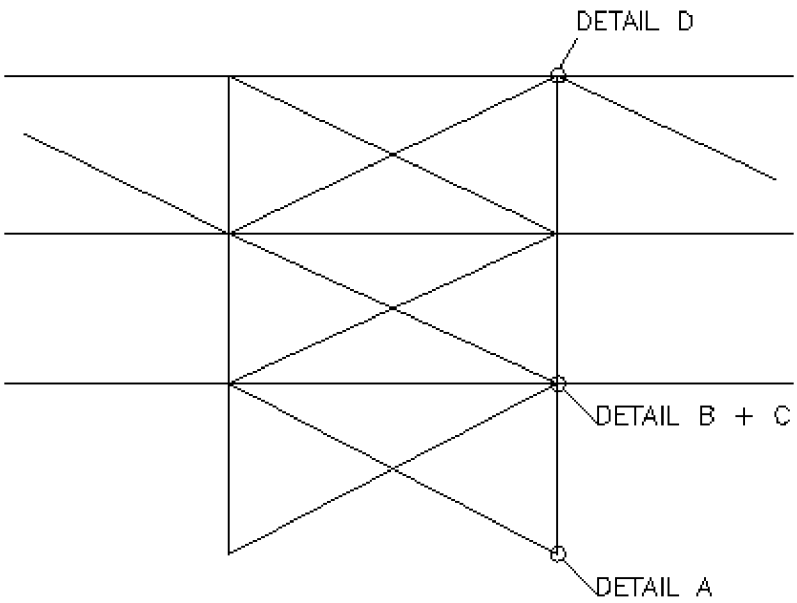
V rámci této práce jsou řešeny čtyři detaily konstrukce.

Detail A kotvení sloupu

Detail B připojení paždíku na sloup

Detail C připojení příčného ztužidla ke sloupu

Detail D uložení vazníku na sloup



Obr. 7.1

7.1 Detail A – Kotvení sloupu

V rámci tohoto detailu je v této práci řešen posudek na tlak v betonu v místě uložení sloupu a odolnost navrženého kotevního šroubu proti přetržení a smyku.

7.1.1 Vnitřní síly na prutu

Volba geometrie:

Navržené kotevní šrouby M24

$d = 24$ mm $f_y = 235$ MPa

$d_0 = 27$ mm $f_{ub} = 360$ MPa

$A_s = 353$ mm^2

Rozměry kotevní hlavy a délka závitové tyče byly stanoveny dle tabulky 5 z již neplatné normy VN 73 2615.

Rozteče šroubů:

$e_{2,min} = 2\ d_o = 54$ mm , zvoleno 55 mm

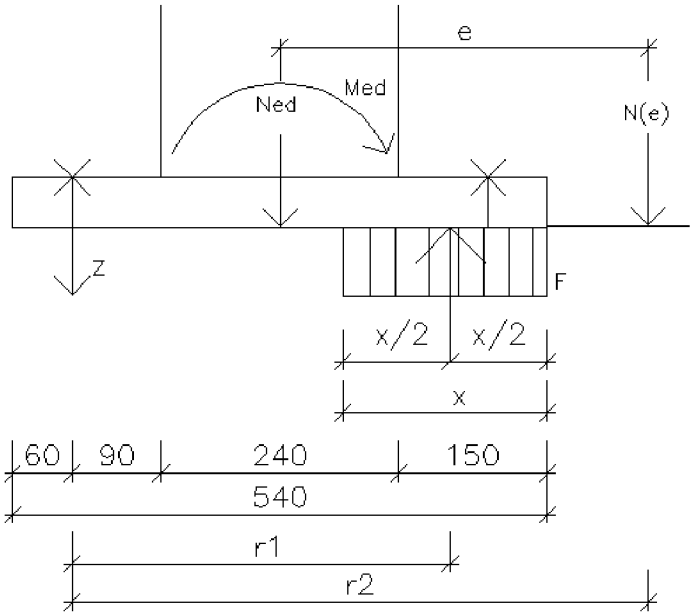
$p_{2,min} = 3{,}5\ d_o = 95$ mm, zvoleno 100 mm

Vzdálenost osy šroubu od líce sloupu:

$e = 3\ d_0 = 81$ mm, zvoleno 90 mm

Kotvení sloupu je nutno posoudit na 2 možné kombinace zatížení.

1. Maximální N + odpovídající M + V
2. Maximální M + odpovídající N + V



Obr. 7.2

7.1.2 Výpočet spolupůsobící plochy o šířce c a tlačené oblasti b´ * x

Návrh plechu

$t = 50$ mm

$b = 210$ mm

$d = 540$ mm

$\beta j = 2/3$

$kj = 1{,}5$

Beton C12/15

$f_{ck} = 12$ MPa

$f_{cd} = 8$ MPa

$$Ned \leq Aeff * fjd$$

$$f_{Rd,u} = f_{cd} * k_j = 8 * 1{,}5 = 12{,}0 \text{ Mpa}$$

$$f_{jd} = f_{Rdu} * \beta_j = 12 * 2/3 = 8{,}0 \text{ Mpa}$$

$$m_{Ed} = \frac{1}{2} f_{jd} * c^2$$

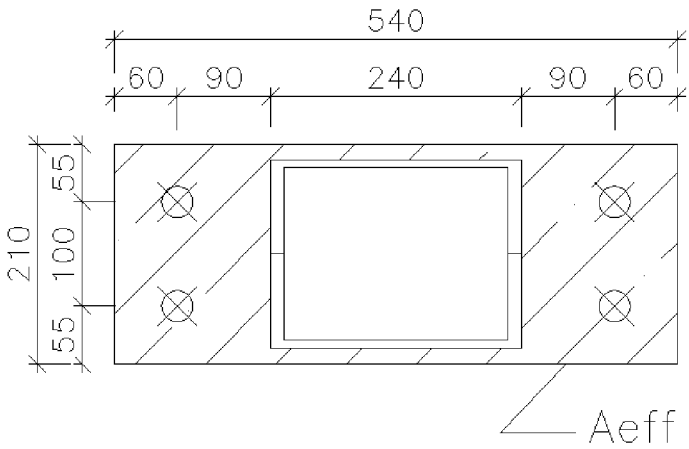
$$m_{Rd} = \frac{t_p^2}{6} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_y}{3\,\gamma_{M0} * f_{jd}}} = 50 * \sqrt{\frac{235}{3 * 1{,}0 * 8{,}0}} = 156 \text{ mm}$$

Vzhledem k rozměrům plechu bude jako efektivní plocha působit celá plocha plechu.

$$b' = b = 0{,}210 \text{ m}$$

$$d' = d = 0{,}540 \text{ m}$$



Obr. 7.3

Silová podmínka

$$Z + N = F$$

Momentová podmínka

$$r_1 * F - r_2 * N = 0$$

$$F = fjd * x * b = 8 * 10^3 * 0{,}210 * x = 1680\ x$$

$$r_1 = d - 60 - x/2$$

$$r_2 = 90 + 120 + e$$

Kvadratická rovnice pro výpočet délky tlačené oblasti x:

$$(d - 60 - x/2) * (fjd * x * b) - (90 + 120 + e) * N = 0$$

$$(0{,}48 - x/2) * (1680\ x) - (0{,}210 + e) * N = 0$$

$$840\ x^2 - 806{,}4\ x + (0{,}210 + e) * N = 0$$

Kombinace		K1	K2
Zatížení	N [kN]	296,93	71,63
	M [kNm]	9,58	65,60
	V [kN]	6,00	22,59
Excentricita	e = M/N [mm]	32,26	915,82

7.1.3 Posouzení kombinace K1

$M_1 = 9{,}58\ \mathrm{kNm}$

$N_1 = 296{,}93\ \mathrm{kN}$

$e_1 = M/N = 0{,}032\ \mathrm{m}$

Malá excentricita => posudek na tlak v účinné ploše $A_{eff,1,}$ jejímž těžištěm prochází síla N_1

$$A_{eff,1} = b * (d - 2e_1) = 0{,}120 * (0{,}540 - 2 * 0{,}032) = 0{,}057\ \mathrm{m}^2$$

Posouzení únosnosti v prostém tlaku

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff}} \leq f_{jd}$$

$$\frac{296{,}93 * 10^3}{0{,}057} = 5{,}21\ \mathrm{MPa} \leq f_{jd} = 8\ \mathrm{MPa}$$

Vyhoví.

7.1.4 Posouzení kombinace K2

$M_2 = 65{,}60$ kNm

$N_2 = 71{,}63$ kN

$e_2 = M_2/N_2 = 0{,}916$ m

Velká excentricita => posudek na tlak s ohybem

$$840\ x^2 - 806{,}4\ x + (0{,}210 + e) * N = 0$$

$$840\ x^2 - 806{,}4\ x + (0{,}210 + 0{,}916) * 71{,}63 = 0$$

$$x_2 = 0{,}110\ \text{m}$$

$$F_2 = f_{jd} * x_2 * b = 8 * 110 * 0{,}040 * 0{,}210 = 184{,}8\ \text{kN}$$

$$Z_2 = F_2 - N_2 = 184{,}8 - 71{,}63 = 113{,}17\ \text{kN}$$

7.1.5 Posouzení kotevního šroubu na přetržení

$F_{sd} = Z_2 = 113{,}17$ kN

Navrhuji kotevní šroub 4 x M24, s kotevní hlavou, z oceli S235

$$A_s = 353\ \text{mm}^2$$

$$f_u = 360\ \text{MPa}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0{,}9 * f_u * A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 * 360 * 10^6 * 353 * 10^{-3}}{1{,}25} = 91{,}50\ \text{kN}$$

$$F_{sd1} = \frac{N_{Sd}}{n} = \frac{113{,}17}{2} = 56{,}59\ \text{kN}$$

F_{sd1}...síla na 1 šroub

n…počet šroubů vzdorujících tahu

$$F_{sd1} = 56{,}59\ \text{kN} \leq F_{t,Rd} = 91{,}50\ \text{kN}$$

Vyhoví.

7.1.6 Posouzení kotevního šroubu na smyk

$$V_{max} = \max\{V_1 ; V_2\} = \{6{,}0\ \text{kN} ; 22{,}59\ \text{kN}\} = 22{,}59\ \text{kN}$$

Síla na 1 šroub

$$V_{sd,1} = \frac{V_{max}}{4} = \frac{22{,}59}{4} = 5{,}64\ \text{kN}$$

Únosnost ve střihu pro 1 šroub

$$F_{V,Rd} = \frac{0{,}6\ f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}6 * 360 * 10^6 * 353 * 10^{-3}}{1{,}25} = 61{,}00\ \text{kN}$$

Únosnost v otlačení pro 1 šroub

$$F_{b,Rd} = \frac{2{,}5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 * 0{,}68 * 360 * 10^6 * 24 * 50}{1{,}25} = 734{,}40\ \text{kN}$$

$$\alpha = \min\{\frac{55}{81} ; 1{,}0\} = 0{,}68$$

$$F_{Rd} = \min\{F_{V,Rd} ; F_{b,Rd}\} = \{61{,}00\ \text{kN} ; 734{,}40\ \text{kN}\} = 61{,}00\ \text{kN}$$

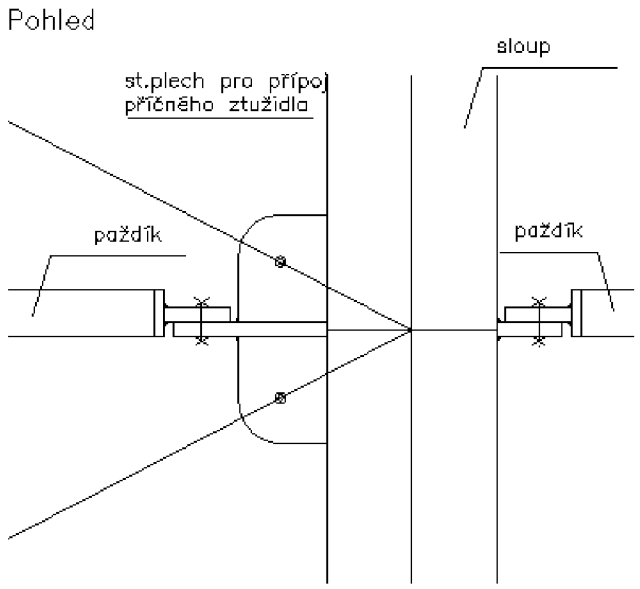
Posouzení

$$V_{sd,1} = 5{,}64\ \text{kN}$$

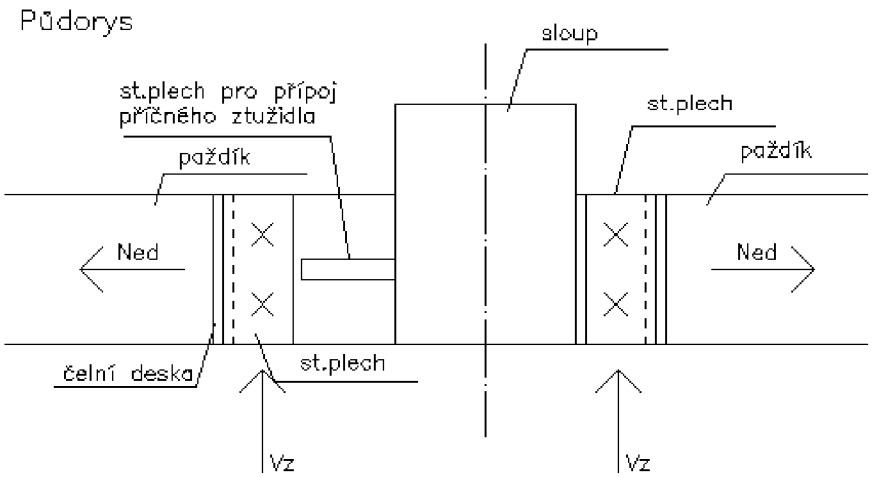
$$V_{sd,1} = 5{,}64\ \text{kN} \leq F_{Rd} = 61{,}00\ \text{kN}$$

Vyhoví.

7.2 Připojení paždíku na sloup



Obr. 7.4



Obr. 7.5

7.2.1 Vnitřní síly na prutu

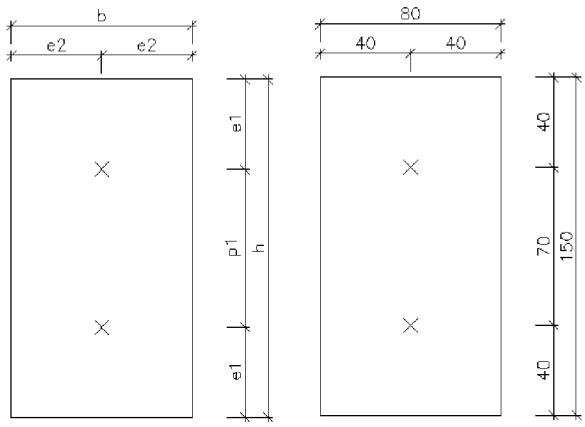
Spoj připojující paždík na sloup je namáhán posouvající silou V_z, která vzniká působením vodorovných sil, tj. větru, a silou normálovou N. Tyto dvě síly na působí kolmo na sebe v rovině spoje, obě tedy způsobují smykové napětí.

$V_{Ed} = 5{,}43\ \mathrm{kN}$

$N_{Ed} = 9{,}72\ \mathrm{kN}$

$$F_{Sd} = \sqrt{{N_{Ed}}^2 + {V_{Ed}}^2} = \sqrt{9{,}72^2 + 5{,}43^2} = 11{,}13\ \mathrm{kN}$$

7.2.2 Návrh a posouzení šroubového spoje



Obr. 7.6

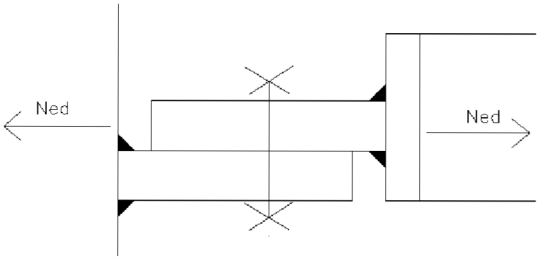
Návrh šroubů:	Rozteče šroubů:
2 x M16	$e_{2,min} = 1{,}5\ d_o = 27$ mm , zvoleno 40 mm
Pevnostní třída 4.6	$e_{1,min} = 2\ d_o = 36$ mm, zvoleno 40 mm
$f_{ub} = 400$ MPa	$p_{1,min} = 3{,}5\ d_o = 63$ mm, zvoleno 70 mm

d = 16 mm

d_o = 18 mm

γ_{M2} = 1,25

A_{s1} = 157 mm^2



Obr. 7.7

Únosnost ve smyku

Únosnost ve střihu pro 1 šroub

$$F_{V,Rd} = \frac{0{,}6\, f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}6 * 400 * 157}{1{,}25} = 30{,}14 \text{ kN}$$

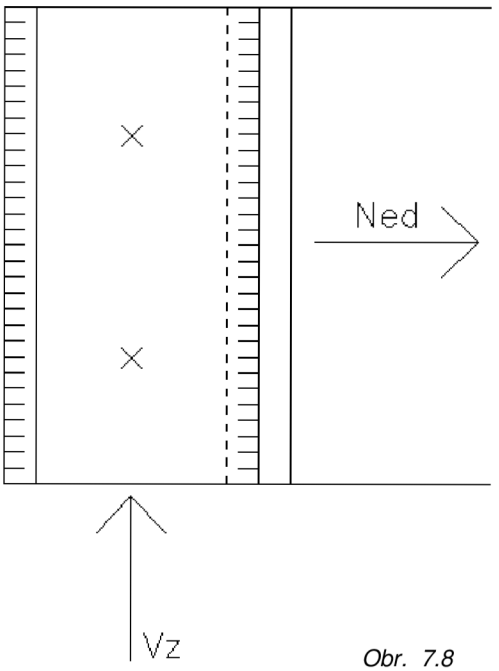
Únosnost v otlačení pro 1 šroub

$$F_{b,Rd} = \frac{2{,}5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 * 0{,}74 * 235 * 16 * 20}{1{,}25}$$

$$F_{b,Rd} = 170{,}50 \text{ kN}$$

$$\alpha = \min\left\{ \frac{e_1}{3d_0} ; 1{,}0 \right\}$$

$$\alpha = \min\left\{ \frac{40}{54}; 1{,}0 \right\} = 0{,}74$$



Obr. 7.8

$$F_{Rd} = \min\{ F_{V,Rd} ; F_{b,Rd} \} = \{ 30{,}14 \text{ kN} ; 170{,}50 \text{ kN} \} = 30{,}14 \text{ kN}$$

Posouzení

$$F_{sd,1} = \frac{N_{Sd}}{n} = \frac{11{,}13}{2} = 5{,}57 \text{ kN}$$

$N_{sd,1}$...síla na 1 šroub

n...počet šroubů

$$N_{sd,1} = 5{,}57 \text{ kN} \leq F_{Rd} = 30{,}14 \text{ kN}$$

Vyhoví.

7.2.3 Návrh a posouzení svarů

$V_z = 5{,}43\ \mathrm{kN}$ $a = 3\ \mathrm{mm}$

$N_{Ed} = 9{,}72\ \mathrm{kN}$ $l = 50\ \mathrm{mm}$

$F_{Sd,II} = 5{,}43\ \mathrm{kN}$

$F_{Sd,\perp} = 9{,}72\ \mathrm{kN}$

$$\tau_{II} = \frac{F_{Sd,II}}{2*a*l} = \frac{5{,}43}{2*3*50} = 18{,}1\ \mathrm{Mpa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{F_{Sd,\perp}}{2*a*l*\sqrt{2}} = \frac{9{,}72}{2*3*50*\sqrt{2}} = 22{,}91\ \mathrm{MPa}$$

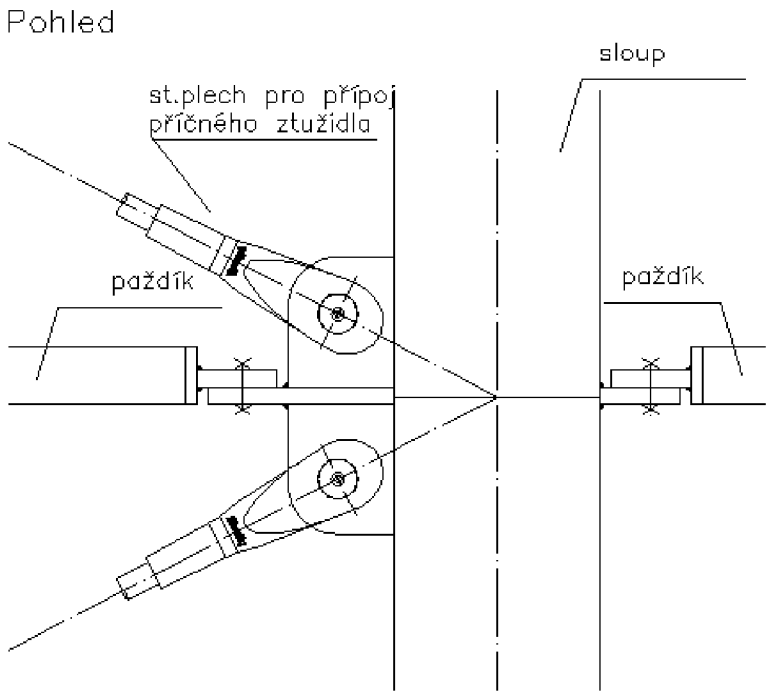
$$\sigma = \sqrt{(3*\ \tau_{II}^2\ +\ \sigma_{\perp}^2\ +\ 3*\ \tau_{\perp}^2\ )} = \sqrt{(3*\ 18{,}1^2\ + 22{,}91^2 + 3\ *22{,}91^2)} = 55{,}51\ \mathrm{MPa}$$

$$\sigma = 55{,}51\ \mathrm{MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2*}\ \beta_w} = \frac{360}{1{,}25*0{,}8} = 360\ \mathrm{MPa}$$

Vyhoví.

Svar bude proveden po celé délce mezi paždíkem a plechem, 150 mm.

7.3 Připojení příčného ztužidla na sloup



Obr. 7.9

$\alpha = 27°$

K připojení příčného ztužidla na sloup budou použita táhla Macalloy. Návrh táhla dle tabulky níže.

$N_{Ed} = 106{,}06$ kN

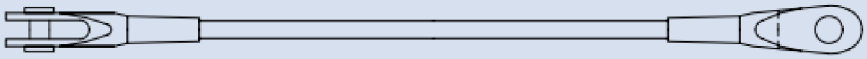
Navrženo táhlo M24, $\Phi = 22$ mm s mezí kluzu na $N_{Rd} = 156$ kN.

Jako příslušenství bude použita koncovka FA24 a čep PA24 z vysokopevnostní oceli S 460 od výrobce Macalloy.

Styčníkový plech navržen tloušťky 20 mm dle doporučení výrobce Macalloy z vysokopevnostní oceli S 460.

Tabulka 1: Vlastnosti táhel Macalloy ve standardním provedení a v nerez provedení

Závit	jednotka	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90*	M100*
Průměr táhla	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97
Minimální mez kluzu	kN	25	36	69	108	156	249	364	501	660	912	1204	1756	2239	2533	3172
Minimální mez pevnosti	kN	33	48	91	143	207	330	483	665	875	1209	1596	2329	2969	3358	4206
Hmotnost táhla	Kg/m	0,50	0,75	1,40	2,20	3,00	4,80	7,10	9,40	12,50	16,70	22,20	32.00	41,50	46,70	58,00



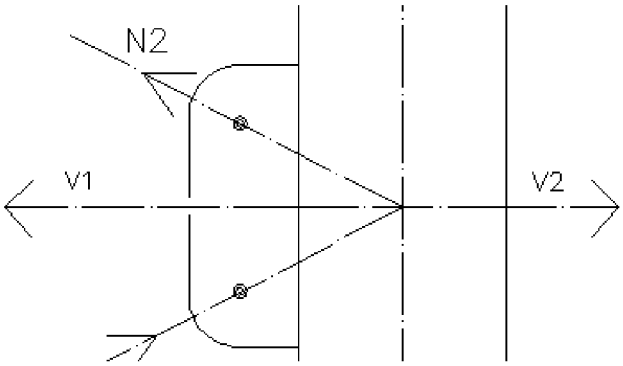
Posouzení

$N_1 = 20{,}46$ kN

$N_2 = 32{,}43$ kN

$V_1 = 5{,}52$ kN

$V_2 = 2{,}74$ kN



Obr. 7.10

$\sum V = V_1 - V_2 = 5{,}52 - 2{,}74 = 2{,}78$ kN

Návrh: $a = 3$ mm $l = 60$ mm

$F_{Sd,II} = (N_1 + N_2) * \sin\alpha = (20{,}46 + 32{,}43) * \sin 27° = 24{,}01$ kN

$F_{Sd,\perp} = (N_1 + N_2) * \cos\alpha + \sum V$ ...zanedbáno vzhledem k velmi malé hodnotě

$$\tau_{II} = \frac{F_{Sd,II}}{2*a*l} = \frac{24{,}01}{2*3*60} = 66{,}69 \text{ MPa}$$

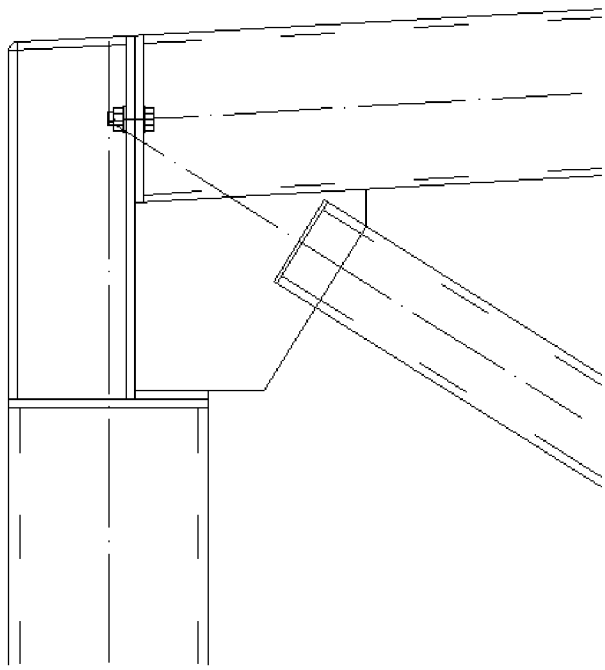
$$\sigma = \sqrt{(3 * \tau_{II}^2 + \sigma_\perp^2 + 3 * \tau_\perp^2)} = \sqrt{(3 * 66{,}69^2)} = 115{,}5 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 115{,}5 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} * \beta_2} = \frac{360}{1{,}25*0{,}8} = 360 \text{ MPa}$$

Vyhoví.

Svar bude proveden po celé délce mezi sloupem a styčníkovým plechem, 220 mm.

7.4 Vrchol sloupu



Obr. 7.11

7.4.1 Připojení horního pásu ke styčníkovému plechu

$F_{Sd,II} = N_{HP} = 408{,}77\ \mathrm{kN}$

$F_{Sd,\perp} = V_{HP} = 21{,}46\ \mathrm{kN}$

$e = 0{,}1\ \mathrm{m}$

$M = N_{HP} * e = 408{,}77 * 0{,}1 = 40{,}88\ \mathrm{kNm}$

Návrh svaru:

$a = 9\ \mathrm{mm}$

$l = 260\ \mathrm{mm}$

$\tau_{II} = \frac{F_{Sd,II}}{2*a*l} = \frac{408{,}77}{2*9*260} = 87{,}34\ \mathrm{MPa}$

$$\tau_{F\perp} = \frac{V_{HP}}{2*a*l} = \frac{21,46}{2*9*260} = 4,59 \text{ MPa}$$

$$\tau_M = \frac{M}{2*W} = \frac{3*M}{a*l^2} = \frac{3*40,88}{9*260^2} = 201,56 \text{ MPa}$$

$$\tau_\perp = \sigma_\perp = (\tau_{F\perp} + \tau_M) * \frac{\sqrt{2}}{2} = (4,59 + 201,56) * \frac{\sqrt{2}}{2} = 145,77 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \sqrt{(3 * \tau_{II}^2 + \sigma_\perp^2 + 3 * \tau_\perp^2)}$$

$$\sigma = \sqrt{(3 * 87,34^2 + 145,77^2 + 3 * 145,77^2)} = 328,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 328,45 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} * \beta_w} = \frac{360}{1,25*0,8} = 360 \text{ MPa}$$

Vyhoví.

7.4.2 Připojení diagonály ke styčníkovému plechu

$N_{Sd} = 444,71$ kN

Návrh svaru:

$a_{II} = 7$ mm $\qquad a_\perp = 5$ mm

$l_{II} = 50$ mm $\qquad l_\perp = 80$ mm

Únosnost bočních svarů

$$F_{II,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\,\beta_w \gamma_{M2}} * 4 * a * l = \frac{360}{\sqrt{3} * 0,8 * 1,25} * 4 * 7 * 50 = 290,98 \text{ kN}$$

Únosnost čelních svarů

$$F_{\perp,Rd} = \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} * \sqrt{2} * a * l = \frac{360}{\sqrt{3} * 0,8 * 1,5} * 4 * 5 * 80 = 203,65 \text{ kN}$$

Celková únosnost

$F_{Rd} = F_{II,Rd} + F_{\perp,Rd} = 290{,}98 + 203{,}65 = 494{,}63\ \mathrm{kN}$

$N_{Sd} = 444{,}71\ \mathrm{kN} \leq F_{Rd} = 494{,}63\ \mathrm{kN}$

Vyhoví.

7.4.3 Připojení diagonály k čelní desce

Spoj diagonály a čelní desky přenáší sílu, která je rovna síle přenášené čelním svarem diagonály a styčníkového plechu. Délka svaru bude cca rovna obvodu trubky diagonály.

$N_{Sd} = 203{,}65\ \mathrm{kN}$

Délka svaru $l = 316\ \mathrm{mm}$

Návrh:

$a_{\perp} = 3\ \mathrm{mm}$

$l_{\perp} = 316\ \mathrm{mm}$

Únosnost svaru

$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Sd}}{a * l * \sqrt{2}} = \frac{203{,}65}{3 * 316 * \sqrt{2}} = 151{,}90\ \mathrm{MPa}$

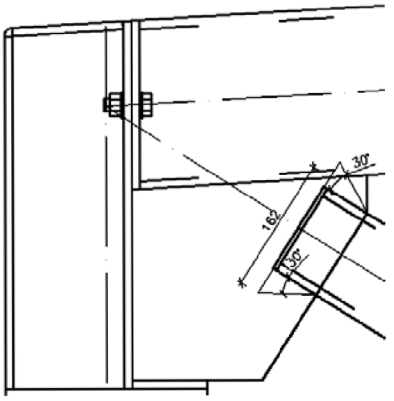
$\sigma = \sqrt{(3 * \tau_{II}^2 + \sigma_{\perp}^2 + 3 * \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{(151{,}90^2 + 3 * 151{,}90^2)} = 303{,}80\ \mathrm{MPa}$

$\sigma = 303{,}80\ \mathrm{MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} * \beta_w} = \frac{360}{1{,}25 * 0{,}8} = 360\ \mathrm{MPa}$

Vyhoví.

7.4.4 Styčníkový plech

Styčníkový plech je navržen dle tabulky pro návrh tloušťky styčníkovýh plechů.



Obr. 7.12

$N_{Sd} = 444{,}71\ \mathrm{kN}$

$t = 12\ \mathrm{mm}$

Roznášecí šířka

$š = 162{,}0\ \ \mathrm{mm}$

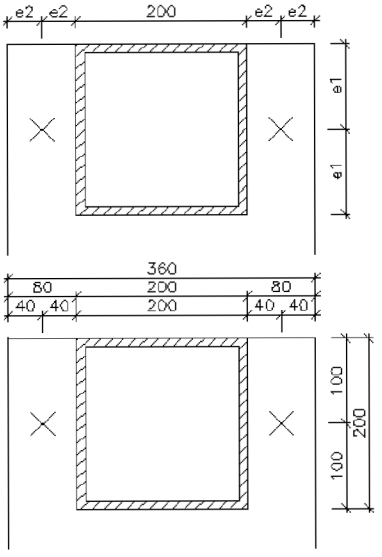
$\sigma = \frac{N_{Sd}}{l*š} = \frac{444{,}710}{162{,}0*12} = 228{,}76\ \mathrm{MPa}$

$\sigma = 228{,}76\ \mathrm{MPa}\ \leq\ f_{yd} = 235\ \mathrm{MPa}$

Vyhoví.

7.4.5 Připojení vazníku ke sloupu

Horní pás vazníku bude ke sloupu připojen dvěma šrouby. Tento šroubový spoj je nutno posoudit na smyk.



Obr. 7.13

$F_{Sd} = V_{HP} = 21{,}46$ kN

Návrh:

2 x M16, pevnostní třídy 4.6

$f_{ub} = 400$ MPa

$A_s = 157\ \mathrm{mm}^2$

d = 16 mm

$d_0 = 18\ \mathrm{mm}$

Únosnost ve střihu pro 1 šroub

$F_{V,Rd} = \frac{0{,}6\, f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}6 * 400 * 157}{1{,}25} = 30{,}14\ \mathrm{kN}$

Únosnost v otlačení pro 1 šroub

$F_{b,Rd} = \frac{2{,}5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 * 1{,}0 * 235 * 16 * 10}{1{,}25} = 115{,}20\ \mathrm{kN}$

$\alpha = \min\{ \frac{e_1}{3d_0}; 1{,}0 \}$

$\alpha = \min\{ \frac{100}{54}; 1{,}0 \} = 1{,}0$

$F_{Rd} = \min\{ F_{V,Rd}; F_{b,Rd} \} = \min\{ 30{,}14\ \mathrm{kN}; 85{,}25\ \mathrm{kN} \} = 30{,}14\ \mathrm{kN}$

$N_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{2} = \frac{21{,}46}{2} = 10{,}73\ \mathrm{kN}$

$F_{Sd} = 10{,}73\ \mathrm{kN} \leq F_{Rd} = 30{,}14\ \mathrm{kN}$

Vyhoví.

8 ZÁVĚR

Konstrukce zastřešení plaveckého bazénu v Budišově nad Budišovkou byla navržena podle platných eurokódů. Dimenzování a posouzení všech nosných prvků na mezní stav únosnosti i použitelnosti bylo provedeno pomocí výpočetního programu Scia Engineer 2008. Konstrukce vyhoví na zadané zatížení stálé i proměnné od sněhu, větru a užitného zatížení. Vybrané prvky byly pro porovnání též posouzeny ručním výpočtem.

Vybrané spoje ocelových prvků byly navrženy a posouzeny dle ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí - Navrhování styčníků a posouzeny na mezní stav únosnosti.

Výpis vnitřních sil a posouzení všech prvků konstrukce dle software SCIA Engineer 2008 se nachází v příloze tohoto dokumentu.