VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ
INSTITUTE OF STEEL AND TIMBER STRUCTURES

ZASTŘEŠENÍ VÍCEÚČELOVÉHO SPORTOVNÍHO OBJEKTU
ROOF STRUCTURE OF MULTIPURPOSE SPORTS HALL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Leoš Málek
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Stanislav Buchta, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2019

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	Leoš Málek
Název	Zastřešení víceúčelového sportovního objektu
Vedoucí práce	Ing. Stanislav Buchta, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, Structural Timber Education Programme, Part 1, Navrhování a konstrukční materiály. Centrum Hout, The Nederlands, 1995, autorizovaný překlad Koželouh, B., 1998
2. Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, Structural Timber Education Programme, Part 2, Navrhování a konstrukční detaily. Centrum Hout, The Nederlands, 1995, autorizovaný překlad Koželouh, B., 2004
3. ČSN EN 1995-1-1 Navrhování dřevěných konstrukcí
4. Straka, B. Navrhování dřevěných konstrukcí, CERM, s.r.o., Brno, 1996
5. Straka, B., Sýkora, K. Dřevěné konstrukce. Studijní opora, Modul BO03-MO1 až BO03-MO5
6. Navrhování,výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí, Koželouh, B., IC ČKAIT, 2009
7. ČSN 73 1702 Navrhování dřevěných stavebních konstrukcí

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Vypracujte návrh a posouzení nosné dřevěné obloukové konstrukce zastřešení sportovního objektu o rozpětí 40m a délce objektu 60m v lokalitě Blansko.
Vypracujte:
Technickou zprávu
Statický výpočet základních nosných prvků
Výkresovou dokumentaci v rozsahu dispozičních výkresů včetně výpisu materiálu

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ 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. Stanislav Buchta, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

OBSAH PRÁCE

A – TECHNICKÁ ZPRÁVA

B – STATICKÝ VÝPOČET

C – VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

01 Dispozice konstrukce
02 Pohled a příčné řezy
03 Výkres kotvení
04 Detaily 1
05 Detaily 2

D – PŘÍLOHY

D1 - Výstup ze software RFEM
D2 - Návrh kotvení pomocí HILTI Profis Anchor
D3 - Protokoly: MKD styčníkové desky

ABSTRAKT PRÁCE

Obsahem práce je návrh zastřešení víceúčelového sportovního objektu v lokalitě Blansko. Cílem je maximální využití dřeva a přírodních materiálů pro jednotlivé konstrukční části. Důraz je také kladen na maximální prefabrikaci v místě výroby a rychlost montáže v místě stavby. Rozpětí konstrukce je 40,035 m při délce 59,75 m a výšce 17,525 m. Konstrukce je navržena jako trojkloubový příhradový oblouk z lepeného lamelového dřeva. Prutový model byl vymodelován v software RFEM společnost Dlubal.

KLÍČOVÁ SLOVA

zastřešení, příhradová konstrukce, trojkloubový oblouk, ztužidlo, nosná konstrukce, sloup, lepené lamelové dřevo, rostlé dřevo, styčníková deska, kování, táhlo

ABSTRACT

This thesis deals with design of roof structure of multipurpose sports hall located in the city of Blansko. The goal is to use timber and natural resources as much as possible. Emphasis is placed on the maximal prefabrication at the site of production and the speed of assembly at the site of construction. Span of the structure is 40,035 m, length 59,75 m and height 17,525 m. The structure is designed as a three-hinged truss made from the glue laminated timber. The structural model was created by software RFEM of the Dlubal company.

KEY WORDS

roof, truss structure, three-hinged arch, bracing frame, load-bearing structure, column, glue laminated timber, solid timber, connector plate, metalworks, tension rod

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Leoš Málek *Zastřešení víceúčelového sportovního objektu.* Brno, 2019. 124 s., 113 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Stanislav Buchta, Ph.D

PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 24. 5. 2019

.....

podpis autora

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

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

V Brne dne 24. 5. 2019

.....

Leoš Málek
autor práce

Tímto chci poděkovat vedoucímu práce, panu inženýrovi Stanislavu Buchtovi za čas, trpělivost a cenné informace, které mi v průběhu zpracování práce předal. Obrovský dík patří mé rodině a přátelům, kteří mě neúnavně povzbuzovali a podporovali po celou dobu studia i při samotném dokončování bakalářské práce.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ
INSTITUTE OF STEEL AND TIMBER STRUCTURES

ZASTŘEŠENÍ VÍCEÚČELOVÉHO SPORTOVNÍHO OBJEKTU
ROOF STRUCTURE OF MULTIPURPOSE SPORTS HALL

B - STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Leoš Málek
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Stanislav Buchta, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2019

OBSAH

1. DISPOZICE A GEOMETRIE KONSTRUKCE 5
1.1. Dispozice 5
1.2. Geometrie 7
1.3. Statický model 11
2. ZATÍŽENÍ 12
2.1. Stálé zatížení 12
2.1.1. Vlastní tíha 12
2.1.2. Střešní plášť 12
2.1.3. Osvětlení a instalace 12
2.2. Proměnné zatížení 13
2.2.1. Zatížení větrem 13
2.2.2. Zatížení sněhem 16
2.3. Zatěžovací stavy 17
2.4. Kombinace zatížení 17
2.4.1. Mezní stav únosnosti 17
2.4.2. Mezní stav použitelnost 18
3. STATICKÉ POSOUZENÍ 19
3.1. Vaznice 19
3.1.1. Materiál 19
3.1.2. Průřezové charakteristiky 20
3.1.3. Zatížení 20
3.1.4. Vnitřní síly 21
3.1.5. Kombinace zatížení 21
3.1.6. Posouzení - MSÚ 22
3.1.7. Posouzení - MSP 23
3.1.8. Dotvarování 23
3.2. Paždík 24
3.2.1. Materiál 24
3.2.2. Průřezové charakteristiky 25
3.2.3. Zatížení 25
3.2.4. Vnitřní síly 26

3.2.5. Posouzení - MSÚ 26
3.2.6. Posouzení - MSP 27
3.2.7. Dotvarování 27
3.3. Sloup 28
3.3.1. Materiál 28
3.3.2. Zatížení 29
3.3.3. Horní pás 29
3.3.4. Dolní pás 32
3.3.5. Diagonála 34
3.4. Vazník 36
3.4.1. Materiál 36
3.4.2. Horní pás 37
3.4.3. Dolní pás 44
3.4.4. Diagonála Di1 48
3.4.5. Diagonály Di2 - Di15 49
3.4.6. Vertikála 51
3.4.7. Koncová vertikála KV 53
3.5. Příčné ztužidlo 56
3.5.1. Geometrie 56
3.5.2. Materiál 57
3.5.3. Zatížení 57
3.5.4. Vnitřní síly 61
3.5.5. Diagonála 61
3.5.6. Vertikála 62
3.5.7. Horní a dolní pás 63
3.6. Podélné ztužidlo 64
3.6.1. Geometrie 64
3.6.2. Materiál 64
3.6.3. Zatížení 65
3.6.4. Vnitřní síly 66
3.6.5. Horní pás 66
3.6.6. Dolní pás 67
3.6.7. Diagonála 67

3.6.8. Vertikála ... 69
3.6.9. Rozpěra ... 69
3.7. Táhlo ... 70
3.7.1. Průřezové a materiálové charakteristiky ... 70
3.7.2. Zatížení ... 70
3.7.3. Posouzení ... 72
4. SPOJE ... 73
4.1. Připojení sloupu - vazník ... 73
4.1.1. Materiál ... 73
4.1.2. Zatížení ... 73
4.1.3. Posouzení vrutů ... 73
4.1.4. Posouzení svorníků ... 74
4.1.5. Svar plechu a čelní desky ... 76
4.2. Vrcholový kloub ... 76
4.2.1. Čepový spoj ... 76
4.2.2. Svar čelní desky a čepové desky ... 78
4.2.3. Svar čelní desky a MKD desky ... 79
4.2.4. MKD deska ... 80
4.3. Uložení vazníku ... 82
4.3.1. Čepový spoj ... 82
4.3.2. Svar čepové a patní desky ... 84
4.3.3. Svar MKD a čelní desky ... 86
4.3.4. MKD deska ... 87
4.3.5. Kotvení ... 88
4.4. Uložení sloupu ... 88
4.4.1. Únosnost trubky ... 88
4.4.2. Svar trubky a čelní desky ... 90
4.4.3. Svar MKD a čelní desky ... 91
4.4.4. MKD deska ... 91
4.4.5. Kotvení ... 92
4.5. Připojení segmentu podélného ztužení ... 93
4.5.1. Materiál ... 93
4.5.2. Kolíky ... 93

4.5.3. Šrouby 97
4.5.4. Plech 98
4.5.5. Svar plechu a čelní desky 99
4.5.6. Vruty 99
4.6. Přípoj táhla 101
4.6.1. Materiál 101
4.6.2. Zatížení 102
4.6.3. Svar čepové a MKD desky 102
4.6.4. Plech 104
4.6.5. Svar plechu a kování 105
4.7. Montážní spoj vazníku 105
4.7.1. Materiál 106
4.7.2. Kolíky 106
4.7.3. Styčníková deska 109
4.7.4. MKD deska 110
5. POUŽITÉ ZNAKY 112
5.1. Písmena velké latinské abecedy 112
5.2. Písmena malé latinské abecedy 113
5.3. Písmena malé řecké abecedy 114
6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 115

1. DISPOZICE A GEOMETRIE KONSTRUKCE

1.1. Dispozice

Hrací plocha s půdorysnými rozměry 44,0 x 22,0 m vytváří místo k provozování 6 halových sportů viz Tab. 1. Počty soutěžních polí pro jednotlivé sporty jsou následující:

badminton	7x
basketbal	2x
halový fotbal	1x
halová házená	1x
halový hokej	1x
volejbal	1x

Tab. 1 - Půdorysné rozměry a světlé výšky

Sport / Rozměry hřiště		Badminton	Basketbal	Halový fotbal	Halová házená	Halový hokej	Volejbal
Šířka [m]		6,1	15	20	20	20	9
Délka [m]		13,4	28	40	40	40	18
Výška [m]		9 (7)*	7	4	7	5,5	12,5 (7)*
Zóna bez překážek	Delší str.	1,5	1	0,5	1	0,5	5
	Kratší str.	2	1	2	2	2	8

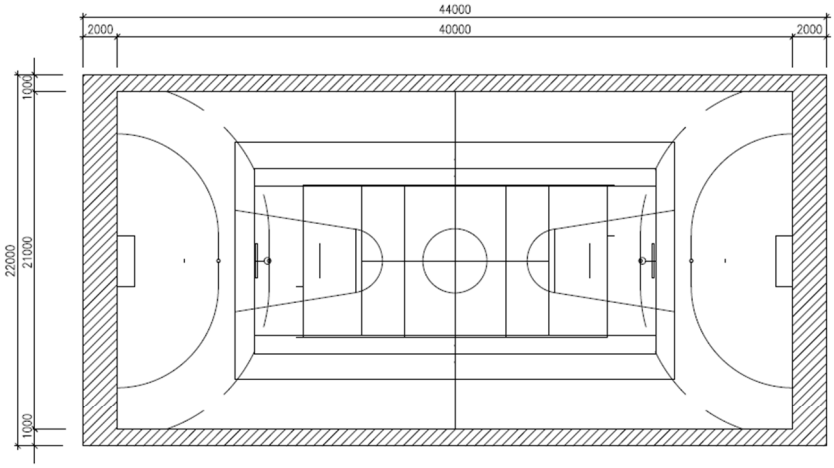
* pro národní soutěž stačí 7 m

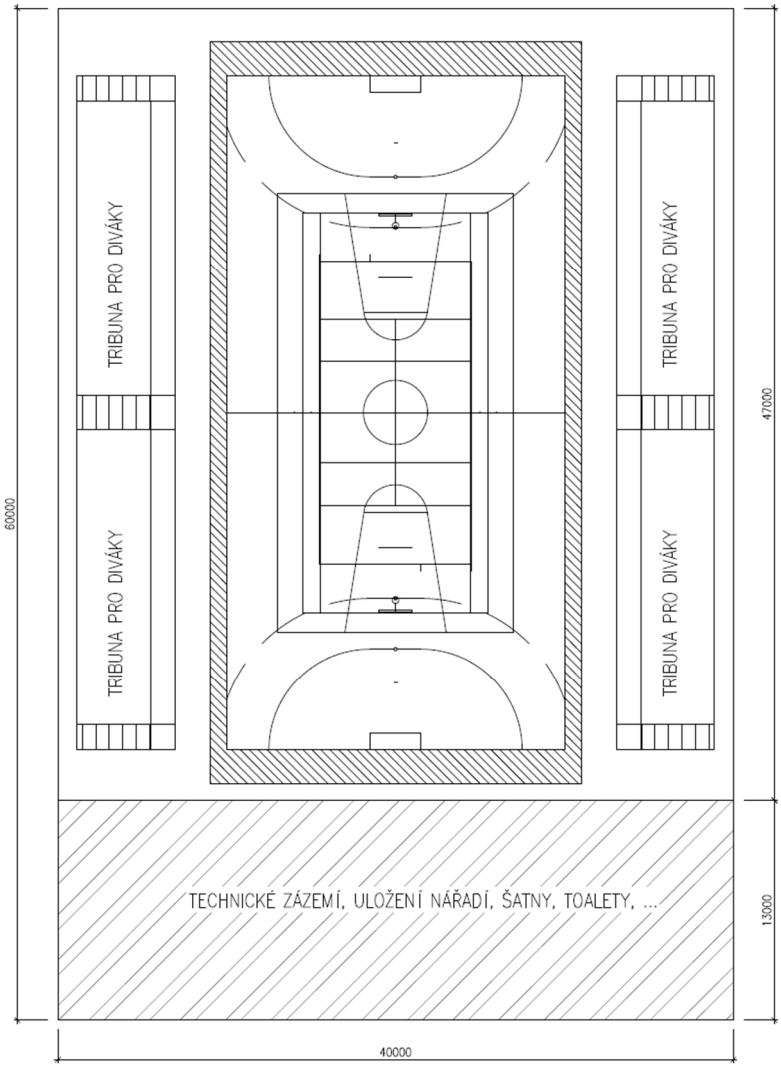
Součástí interiéru haly jsou také tribuny pro diváky, které jsou schopné pojmout až 840 návštěvníků. K hrací ploše a tribunám náleží další prostory určené k obsluze sportovců, sportovního náčiní a povrchů, diváků atd.

Tab. 2 - Přidružené prostory

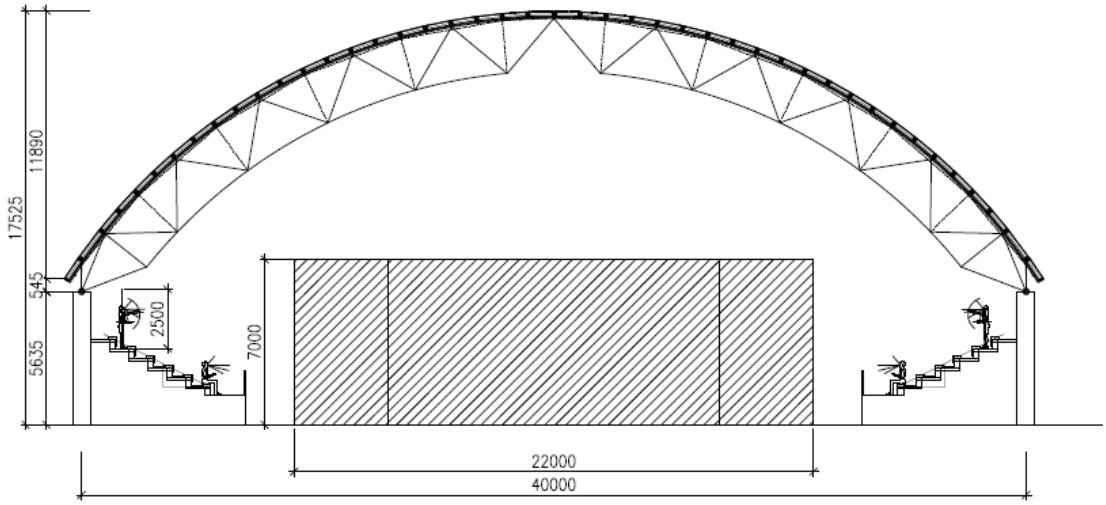
Místnost	Počet	m^2/ j.	m^2
Vstupní prostor	1	60	60
Šatna (min. 20 m^2)	4	20	80
Sprcha (min. 15 m^2)	4	15	60
Záchod (na 1 šatnu)	1	-	-
Záchod (vstupní prostor)	1+1	-	-
Prostor pro dozor	3	12	36
Nářaďovna	1	150	150
Čištění nářadí	1	5	5
Vrátnice	1	10	10
Celkem			**401**

Volný prostor pro vhodné dispoziční uspořádání přidružených místností a toalet je 40,0 · 13,0 = 520 m^2. S přihlédnutím k možnému využití části prostoru pod tribunami, např. k uskladnění náčiní, by se tak mělo jednat o dostatečně velkou plochu.





Dispozice víceúčelové sportovní haly



Dispozice víceúčelové sportovní haly - řez

1.2. Geometrie

Půdorysné rozměry haly jsou 60,050 x 41,165 m s výškou 17,525 m. Osová vzdálenost krajních vazníků činí 59,500 m při osové vzdálenosti vazníků 3,5 m.

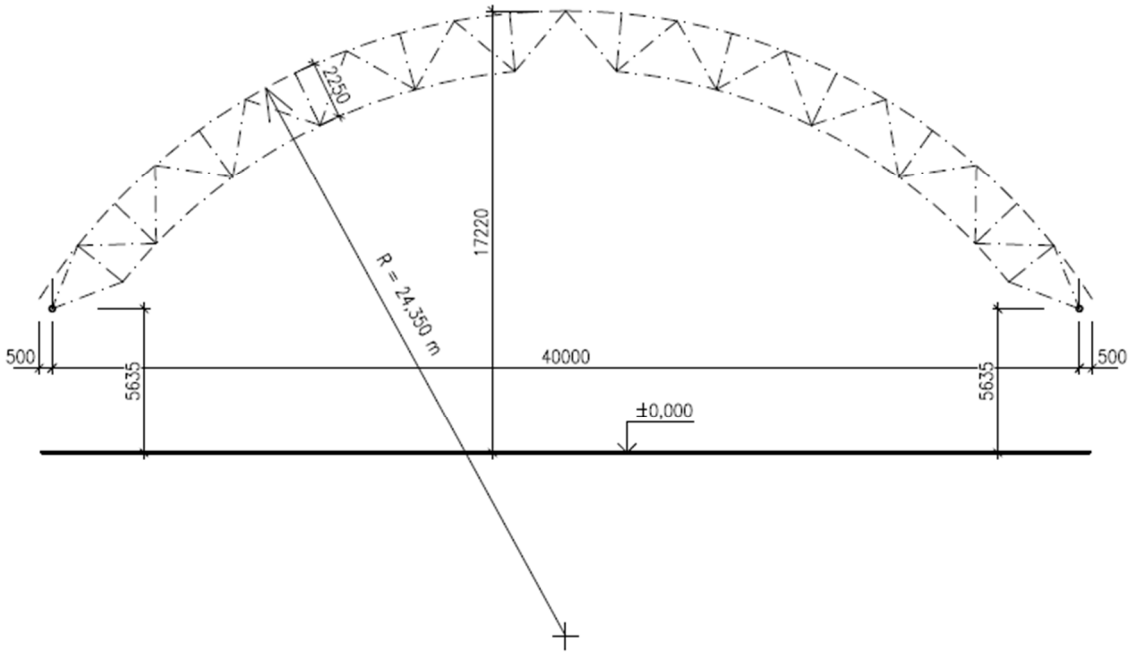
Vazníky

Vazník navržen jako oblouká příhradová konstrukce s poloměrem zakřivení střednice horního pásu R_h = 24,350 m. Osová vzdálenost střednic horního a dolního pásu je rovna 2,250 m, poloměr zakřivení dolního pásu R_d = 22,100 m. Osová vzdálenost podpor konstrukce 40,035 m. Podpory jsou umístěné ve výšce 5,635 m nad úrovní 0,000. Horní pás přebíhá přes koncovou vertikálu v délce 0,500 m v půdorysném průmětu od osy podpory na obou stranách.

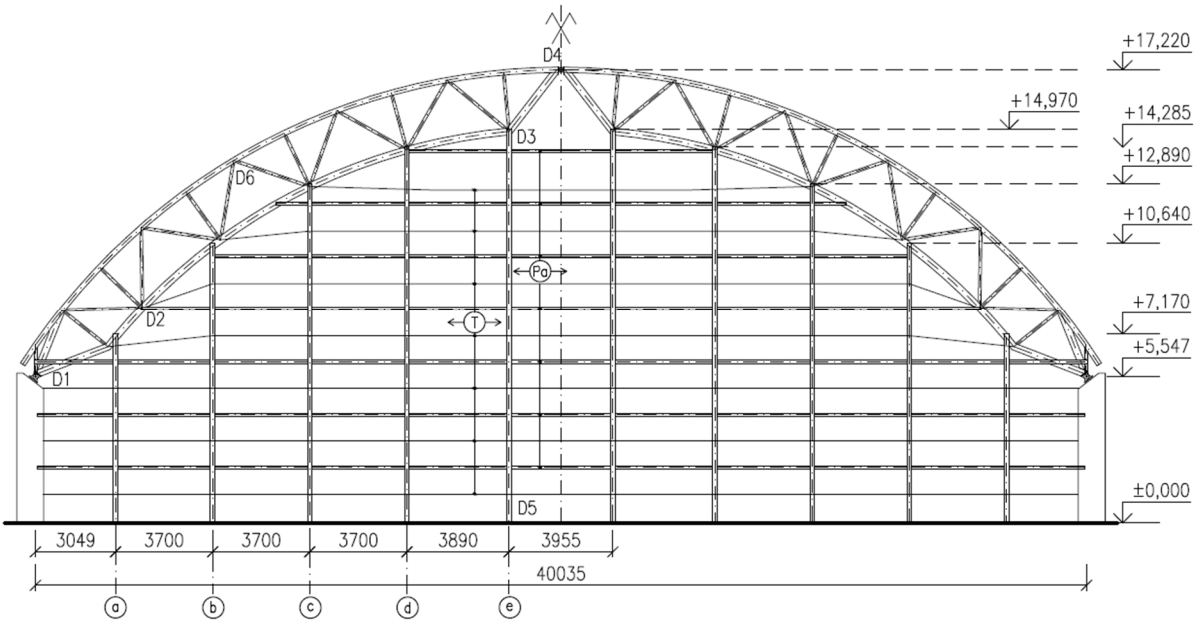
Styčníky horního pásu jsou od sebe po střednici vzdáleny 2,180 m. Vertikály příhradoviny jsou pak umístěny v prvním styčníku od vrcholu a následně každé dva styčníky po 4,360 m až k místě uložení vazníku, kde se vzdálenosti styčníků i uspořádání vertikál mění. V rovině vertikál probíhá podélné ztužení konstrukce, na které navazuje příčné ztužidlo v rovině horního pásu.

Sloupy

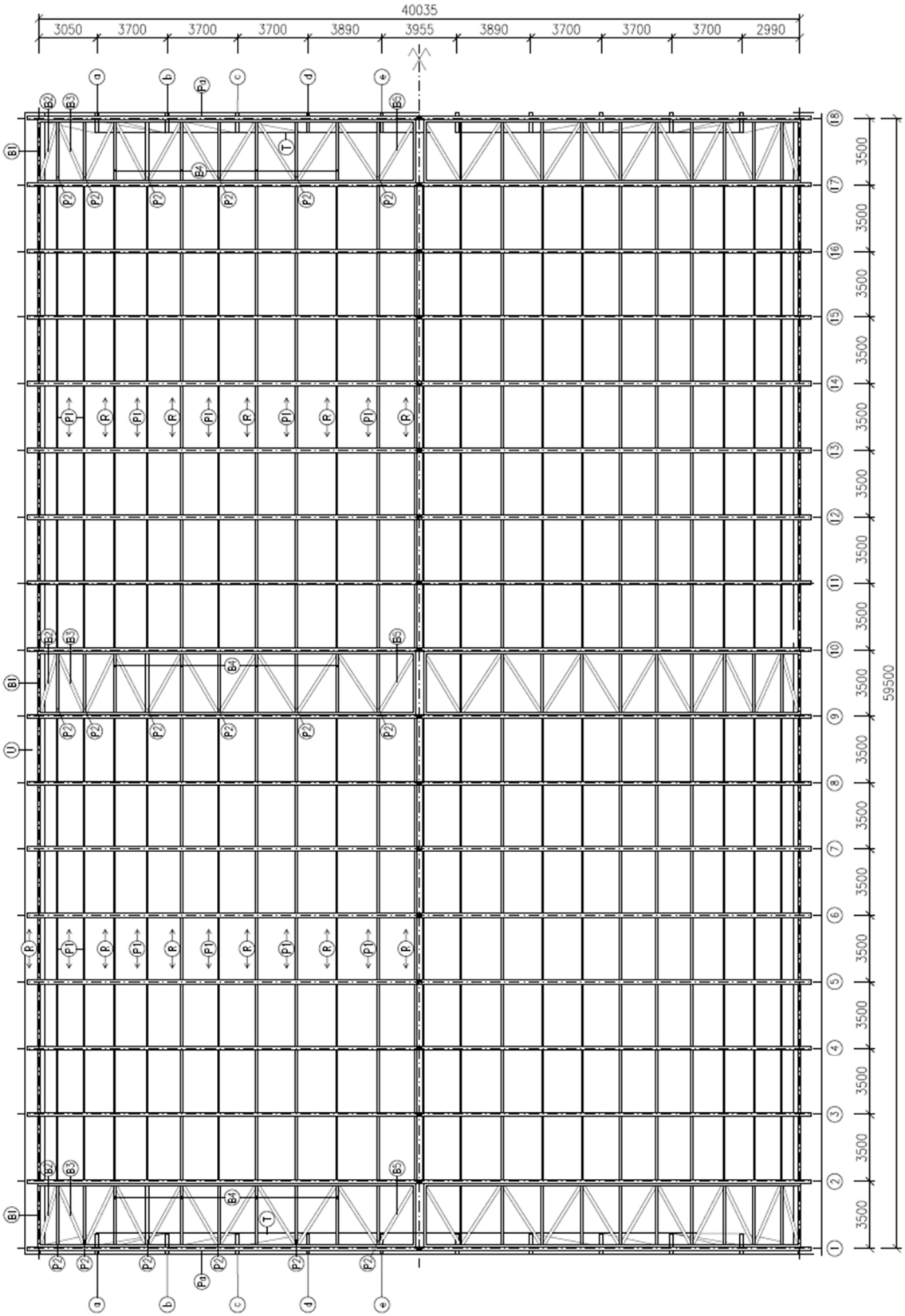
Sloupy jsou přímopasé příhradové, v úrovni horního pásu jsou připojeny paždíky. Dolní pás sloupů je zajištěn systémem horizontálních táhel připojených k vazníkům v blízkosti podélného ztužení a ve spodní části konstrukce k železobetonové rámové konstrukci spodní stavby.



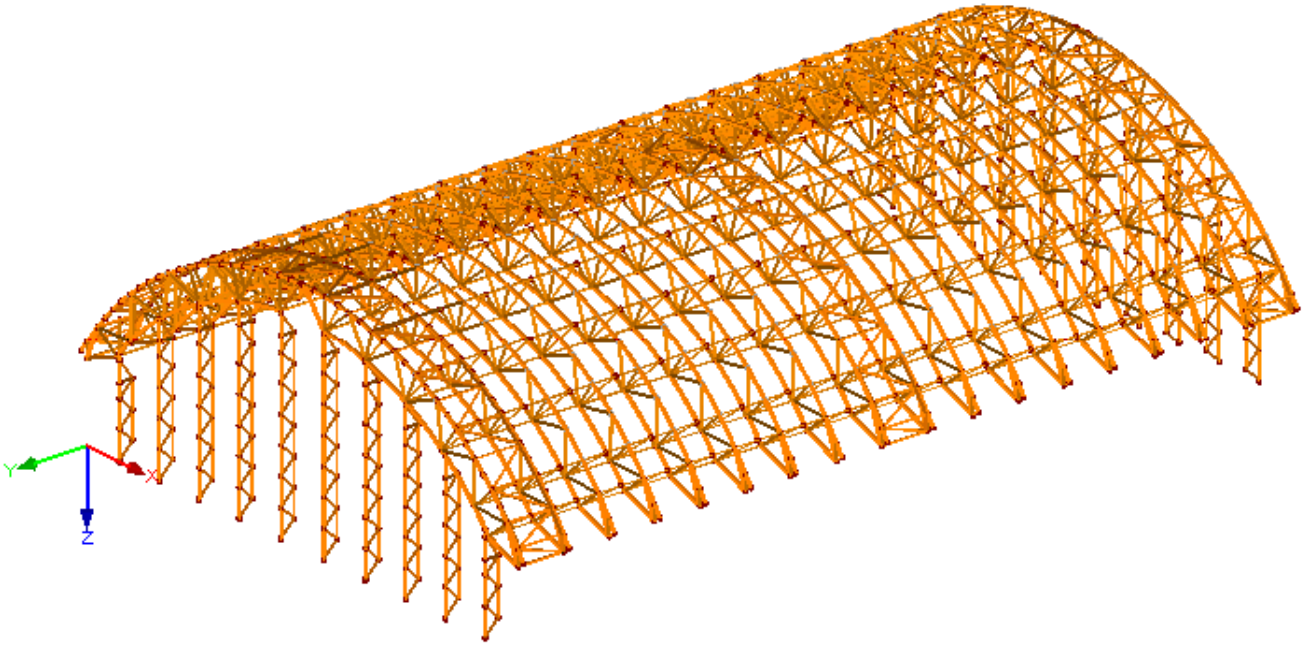
Geometrie obloukového vazníku



Pohled na čelní stěnu



Půdorysné schéma konstrukce zastřešení

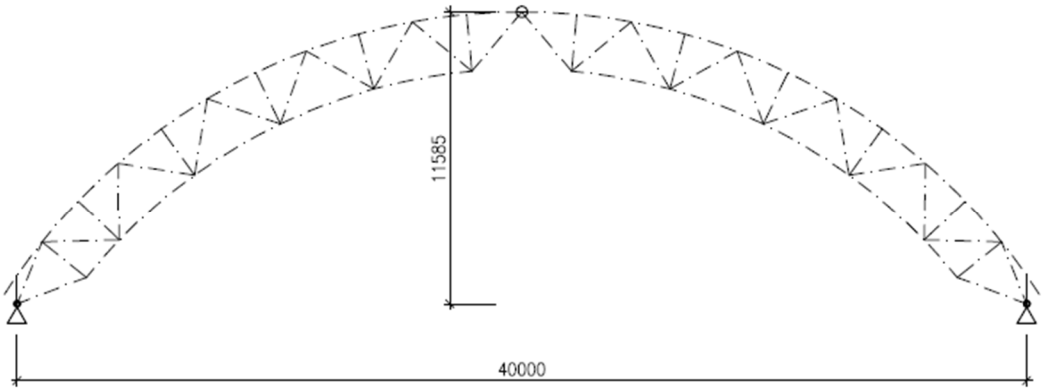


Prostorový model konstrukce (RFEM)

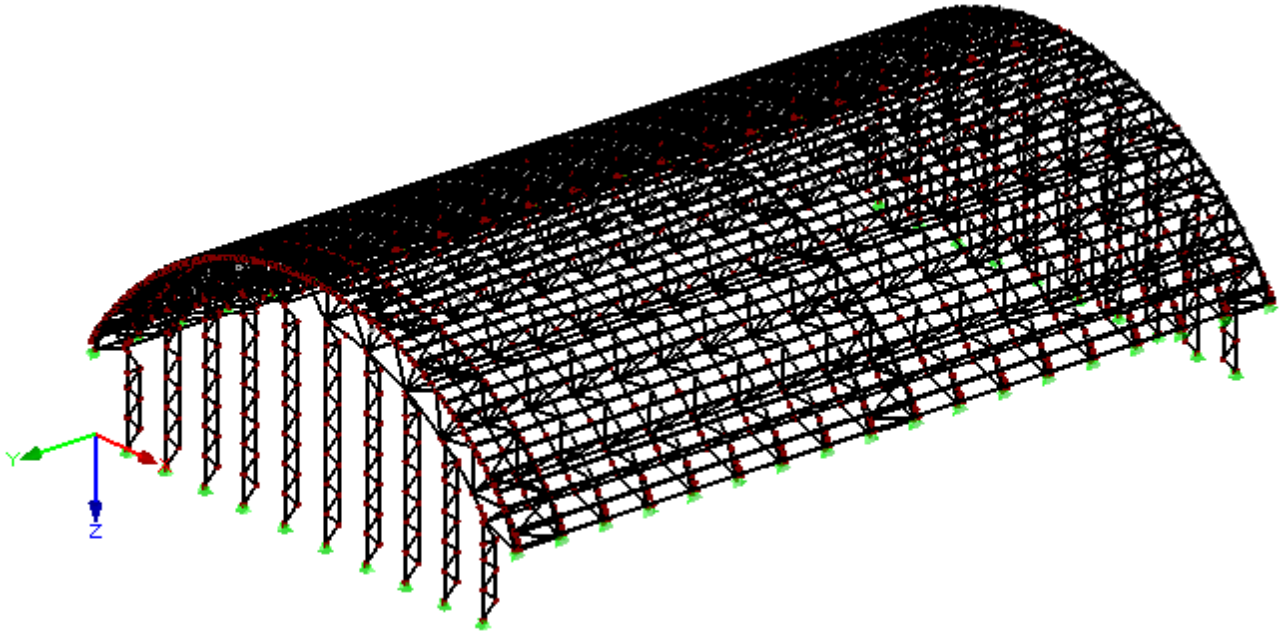
1.3. Statický model

Staticky jsou vazníky uvažovány jako trojkloubový oblouk se dvěma pevnými podporami a vrcholovým kloubem. Vyšší vzepětí oblouku bylo zvoleno z důvodu zajištění klenbového působení, kdy jsou oba pásy co nejvíce namáhány tlakem, při současném dosažení esteticky zajímavého tvaru konstrukce.

Statické modely dalších konstrukčních částí a prvků zastřešení budou uvedeny při statickém posouzení daného prvku.



Statický model vazníku



Prutový model konstrukce

2. ZATÍŽENÍ

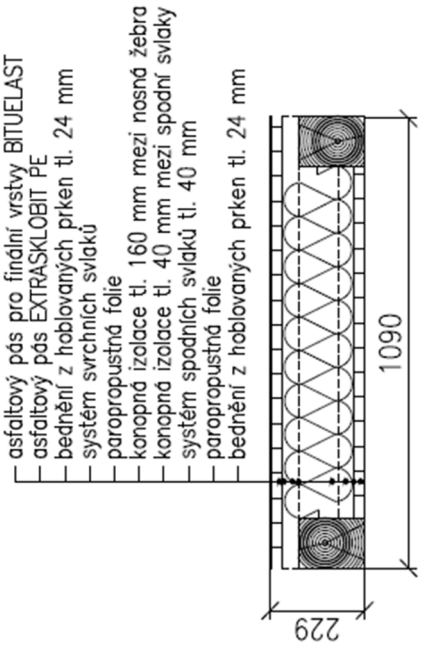
2.1. Stálé zatížení

2.1.1. Vlastní tíha

Vlastní tíhu konstrukce generuje a do výpočtu zahrnuje software RFEM společností Dlubal.

2.1.2. Střešní plášť

Střešní plášť je tvořen střešními panely TESKO šířky 1090 mm. Panely jsou tvořeny 2 nosnými žebry průřezu 80x160 mm, které zajišťují přenos zatížení od střešního pláště i zatížení proměnná.



Tab. 3 Skladba a zatížení od střešního pláště

Název vrstvy	ρ [kg·m^{-3}]	tl. [mm]	[kg·m^{-2}]	g_k [kN·m^{-2}]
Asfaltový pás BITUELAST pro finální vrstvy	-	3,7	4,8	0,048
Asfaltový pás EXTRASKLOBIT	-	4	5,4	0,054
Bednění z hoblovaných prken (C22)	410	24	9,84	0,098
Systém svrchních svlaků 60x40 mm (C22) á 500 mm	410	40	2	0,020
Paropropustná folie	-	-	-	-
Konopná izolace mezi nosná žebra ECO HEMP FLEX	40	160	6,4	0,064
Konopná izolace mezi spodní svlaky ECO HEMP FLEX	40	40	1,6	0,016
Systém spodních svlaků 60x40 mm (C22) á 500 mm	410	40	2	0,020
Paropropustná folie	-	-	-	-
Bednění z hoblovaných prken (C22)	410	24	9,84	0,098
Celkem			**Σg_{pk} =**	**0,419**

2.1.3. Osvětlení a instalace

Pro umístění osvětlení a rozvodů je uvažováno plošné zatížení 15 kg·m^{-2} , tedy $g_{i,k}$ = 0,15 kN·m^{-2}.

Ostatní stálé zatížení celkem: g_k = 0,419 + 0,15 = 0,569 kN·m^{-2}.

2.2. Proměnné zatížení

2.2.1. Zatížení větrem

Lokalita: Blansko
Větrná oblast: II
Kategorie terénu: III

$V_{b,o} = 25\ m \cdot s^{-1}$

$V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 25 = 25\ m \cdot s^{-1}$

$c_{dir} = 1{,}0$

$c_{season} = 1{,}0$

$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1{,}25 \cdot 25^2 = 390{,}625\ N \cdot m^{-2}$

$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0{,}876 \cdot 1{,}0 \cdot 25 = 21{,}8\ m \cdot s^{-1}$

$c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z0} = 0{,}215 \cdot \ln \frac{17{,}525}{0{,}3} = 0{,}876$

$z = 17{,}525\ m$

$k_r = 0{,}19 \cdot (\frac{z}{z0,II})^{0{,}07} = 0{,}19 \cdot (\frac{0{,}3}{0{,}05})^{0{,}07} = 0{,}215$ $\quad z = 17{,}525\ m \geq z_{min} = 5\ m$

Kategorie terénu III -> $z_{min} = 5\ m$

$z_0 = 0{,}3\ m$

$c_o(z) = 1{,}0$

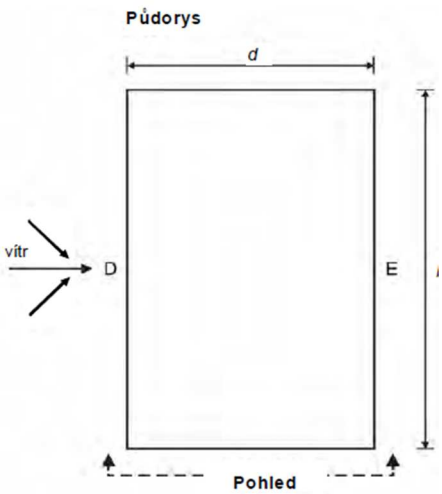
$q_p(z) = [1+7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 = c_e(z) \cdot q_b$

$c_e(z) = [1+7 \cdot I_v(z)] \cdot c_o(z)^2 \cdot c_r(z)^2 = [1+7 \cdot 0{,}246] \cdot 1{,}0^2 \cdot 0{,}876^2 = 2{,}089$

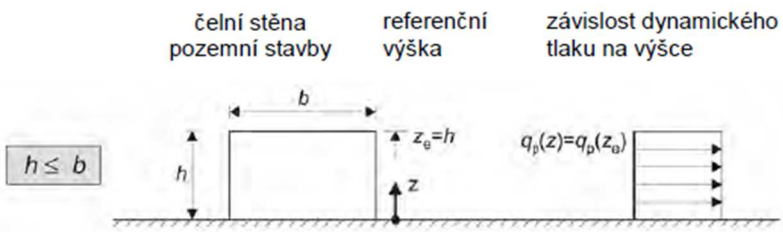
$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln \frac{z}{z_o}} = \frac{1{,}0}{1{,}0 \cdot \ln \frac{17{,}525}{0{,}3}} = 0{,}246$

$k_I = 1{,}0$

$q_p(z) = [1+7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 = 2{,}089 \cdot 390{,}625 = \underline{816{,}016\ N \cdot m^{-2}}$



a) Vítr příčný



h = 17,525 m; b = 40,750 m

Zatížení čelních stěn

b = 60,0 m

h = 17,525 m

d = 40,750 m

e = min (b;2h) = min (60; 2·17,525) = 35,05 m

e = 35,05 m < d = 40,750 m

$\frac{h}{d} = \frac{17,525}{40,750} = 0,43$

$c_{pe,10}(A) = -1,2$

$c_{pe,10}(B) = -0,8$

$c_{pe,10}(C) = -0,5$

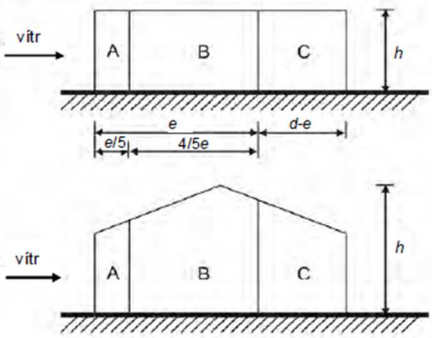
$w_{e,A} = c_{pe,10}(A) \cdot q_p(z) = -1,2 \cdot 0,816 = -0,979\ kN \cdot m^{-2}$

$w_{e,B} = c_{pe,10}(B) \cdot q_p(z) = -0,8 \cdot 0,816 = -0,653\ kN \cdot m^{-2}$

$w_{e,C} = c_{pe,10}(C) \cdot q_p(z) = -0,5 \cdot 0,816 = -0,408\ kN \cdot m^{-2}$

e je menší z hodnot *b* nebo 2*h*
b je rozměr kolmý na směr větru

Pohled pro *e* < *d*

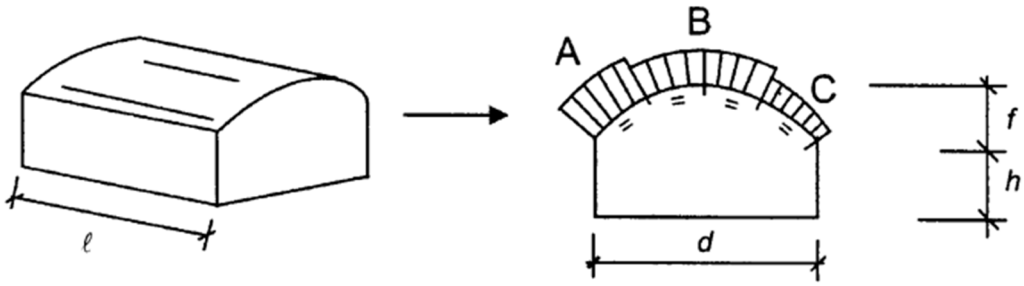


e/5 = 7,01 m

4/5 e = 28,04 m

d - e = 40,75 - 35,05 = 5,7 m

Zatížení střešního pláště

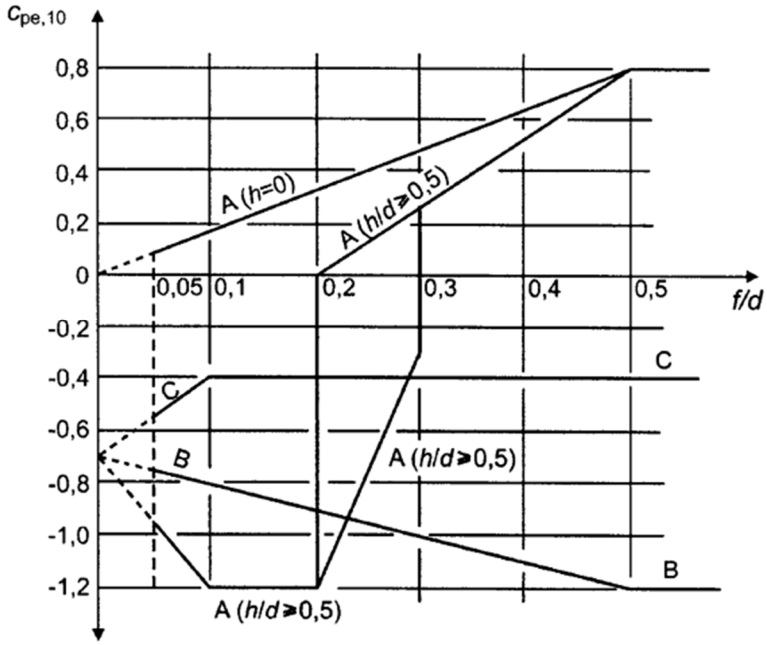


h = 6,180 m

f = 11,345 m

$\frac{h}{d} = \frac{6180,}{41,520} = 0,149$

$\frac{f}{d} = \frac{11,345}{41,520} = 0,273$



Pro oblast A je nutné provést lineární interpolaci:

$c_{pe,10}$ (h=0) = 0,45

$c_{pe,10}$ (h≥0,5) = 0,2

$c_{pe,10}$ (A) = 0,255

$c_{pe,10}$ (B) = -1,0

$c_{pe,10}$ (C) = -0,4

$w_{e,A} = c_{pe,10}(A) \cdot q_p(z) = -0{,}255 \cdot 0{,}816 = 0{,}208\ kN \cdot m^{-2}$

$w_{e,B} = c_{pe,10}(B) \cdot q_p(z) = -1{,}0 \cdot 0{,}816 = -0{,}816\ kN \cdot m^{-2}$

$w_{e,C} = c_{pe,10}(C) \cdot q_p(z) = -0{,}4 \cdot 0{,}816 = -0{,}326\ kN \cdot m^{-2}$

b) Vítr podélný

Zatížení čelních stěn

b = 40,75 m

h = 17,525 m

d = 60,0 m

$\frac{h}{d} = \frac{17{,}525}{60{,}0} = 0{,}292$

$c_{pe,10}$ (D) = 0,705

$c_{pe,10}$ (E) = -0,311

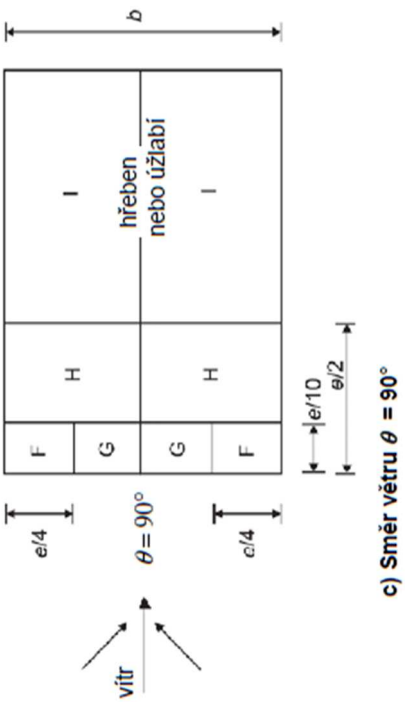
$w_{e,D} = c_{pe,10}(D) \cdot q_p(z) = 0{,}705 \cdot 0{,}816 = 0{,}575\ kN \cdot m^{-2}$

$w_{e,E} = c_{pe,10}(E) \cdot q_p(z) = -0{,}311 \cdot 0{,}816 = -0{,}254\ kN \cdot m^{-2}$

Zatížení střešního pláště

Zatížení od podélného větru na střešní plášť je odvozeno od postupu užívaného pro střechy sedlové. Dle sklonu vaznice a jejího umístění byly pomocí lineární interpolace získány součinitele vnějšího tlaku větru.

Mezi hodnotami sklonu sedlových střech α = 5° a α = - 5° nelze interpolovat, pro vaznice ve vrcholu oblouku byly použity součinitele vnějšího tlaku pro ploché střechy.



e = 35,05 m

e/4 = 8,763 m

e/10 = 3,505 m

e/2 = 17,525

Tab. 4 Součinitele vnějšího tlaku

[°]	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
0	-1,8	-2,5	-1,2	-2	-0,7	-1,2	-0,2	
5	-1,6	-2,2	-1,3	-2	-0,7	-1,2	-0,6	
15	-1,3	-2	-1,3	-2	-0,6	-1,2	-0,5	
30	-1,1	-1,5	-1,4	-2	-0,8	-1,2	-0,5	
45	-1,1	-1,5	-1,4	-2	-0,9	-1,2	-0,5	
60	-1,1	-1,5	-1,2	-2	-0,8	-1	-0,5	

Vazníky jsou uloženy do tuhého železobetonového rámu s vyzdívkou, který přenese účinky zatížení od příčného a i podélného větru.

2.2.2. Zatížení sněhem

Lokalita: Blansko

Sněhová oblast: III

$s_k = 1{,}50\ kN{\cdot}m^{-2}$

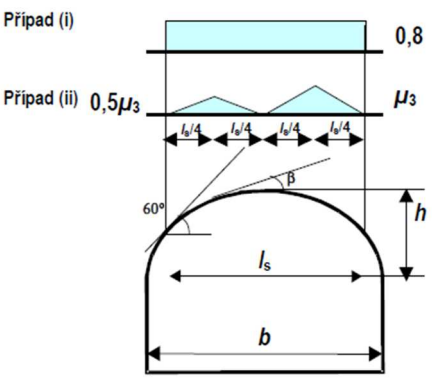
$s = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$

$C_e = 1{,}0$

$C_t = 1{,}0$

Ve všech místech válcové střechy je sklon ≤ 60°, sníh se bude nacházet na celé ploše střechy:

$$l_s = b = 41{,}250\ m$$
$$h = 11{,}345\ m$$
$$\frac{h}{b} = \frac{11{,}345}{41{,}520} = 0{,}273 \rightarrow \mu_3 = 2{,}0$$



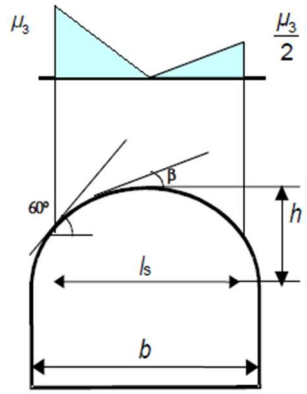
Sníh rovnoměrný:

$s_1 = 0{,}8 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0{,}8 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}5 = 1{,}2\ kN{\cdot}m^{-2}$

Sníh navátý I:

$s_{I,1} = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}5 = 3\ kN{\cdot}m^{-2}$

$s_{I,2} = 0{,}5 \cdot \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0{,}5 \cdot 2{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}5 = 1{,}5\ kN{\cdot}m^{-2}$



Sníh navátý II:

$\frac{h}{b} = 0{,}273 \geq 1/5$ -> $\mu_3 = 2{,}0$

$s_{II,1} = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}5 = 3\ kN{\cdot}m^{-2}$

$s_{II,2} = 0{,}5 \cdot \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0{,}5 \cdot 2{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}5 = 1{,}5\ kN{\cdot}m^{-2}$

2.3. Zatěžovací stavy

ZS1	Vlastní tíha
ZS2	Ostatní stálé
ZS3	Sníh navátý I
ZS4	Sníh rovnoměrný
ZS5	Sníh navátý II
ZS6	Vítr podélný
ZS7	Vítr příčný pravý
ZS8	Vítr příčný levý

2.4. Kombinace zatížení

Jednotlivé zatěžovací stavby jsou vloženy do kombinací dle normy ČSN EN 1990 : Zásady navrhování konstrukcí.

2.4.1. Mezní stav únosnosti

Kombinace zatížení jsou generovány výpočetním softwarem RFEM dle kombinačních rovnic 6.10a a 6.10b.

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

$$\sum_{j\geq 1} \xi\, \gamma_{G,j}\, G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j>1} \gamma_{Q,i}\, \psi_{0,i} Q_{k,i} \qquad (6.10b)$$

Hodnoty dílčích součinitelů zatížení: $\gamma_G = 1{,}35$ stálá zatížení
$\gamma_Q = 1{,}50$ proměnná zatížení

Kombinační součinitele: Sníh H ≤ 1000 m n. m.
$\psi_0 = 0{,}5$

Vítr ψ_0 = 0,6

2.4.2. Mezní stav použitelnost

Hodnoty zatížení pro posouzení konstrukce na mezní stav použitelnosti jsou generovány výpočetním softwarem RFEM z charakteristické a kvazistálé kombinace zatížení.

Charakteristická kombinace:

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

Kvazistálá kombinace: dle ČSN EN 1990 + 1995

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j}\,(1 + k_{def}) + P + Q_{k,1}(1 + \psi_{2,1}k_{def}) + \sum_{j>1} Q_{k,i}(\psi_{0,i} + \psi_{2,1}k_{def})$$

Kombinační součinitele: Sníh H ≤ 1000 m n. m.
ψ_0 = 0,5
ψ_2 = 0

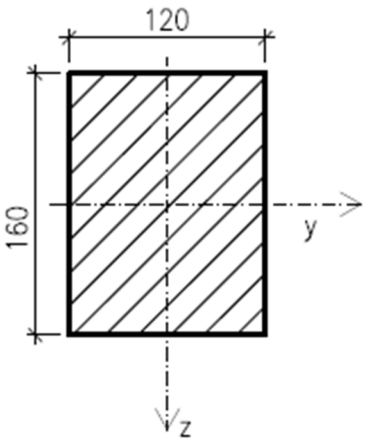
Vítr ψ_0 = 0,6
ψ_2 = 0

Dle normy ČSN EN 1995-1-1 je možné konečné deformace konstrukcí složených z prvků, dílců a spojů se stejným dotvarováním za předpokladu lineární závislosti mezi zatížením a odpovídající deformací uvažovat jako:

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q_1} + u_{fin,Q_i}$$

$u_{fin,G} = u_{inst,G}(1 + k_{def})$ stálé zatížení
$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1}(1 + \psi_{2,1}k_{def})$ hlavní proměnné
$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i}(\psi_{0,i} + \psi_{2,i}k_{def})$ ostatní proměnná

Při užití těchto vztahů při posouzení konečných deformací se mají součinitele ψ_2 v kvazistálé kombinaci vynechat.

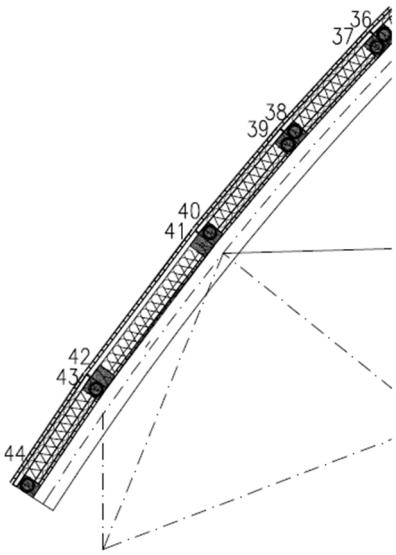


3. STATICKÉ POSOUZENÍ

3.1. Vaznice

Vaznice (nosné žebro střešního panelu) je uvažována jako prostě podepřený nosník uložený na horní pás vazníků. Posouzení je provedeno pro vaznici č. 42, která je součástí jediného atypického panelu šířky 1470 mm.

3.1.1. Materiál



Rostlé dřevo pevnostní třídy C24

Modul pružnosti	E = 11000,000 MPa
Smykový modul	G = 690,000 MPa
Objemová tíha	γ = 4,20 kN·m^{-3}
Charakteristická pevnost v ohybu	$f_{m,k}$ = 24,000 MPa
Charakteristická pevnost v tahu	$f_{t,0,k}$ = 14,000 MPa
Charakteristická pevnost v tahu kolmo k vláknům	$f_{t,90,k}$ = 0,400 MPa
Charakteristická pevnost v tlaku	$f_{c,0,k}$ = 21,000 MPa
Charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům	$f_{c,90,k}$ =2,500 MPa
Charakteristická pevnost ve smyku/krutu	$f_{v,k}$ = 4,000 MPa
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$ = 11000MPa
Modul pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean}$ = 370,000 MPa
Smykový modul	G_{mean} = 690,000 MPa
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,05}$ = 7400,000 MPa
Modul pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,05}$ = 247,000 MPa
Smykový modul	$G_{0,05}$ = 464,000 MPa
Hustota	ρ = 350,0 kN·m^{-3}
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean} = 420,0 kN·m^{-3}

Třída provozu: 1

Modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti k_{mod} = 0,90

Dílčí součinitel spolehlivosti vlastnosti materiálu $\gamma_M = 1{,}3$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{24}{1{,}3} = 16{,}615 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{4}{1{,}3} = 2{,}769 \text{ MPa}$$

3.1.2. Průřezové charakteristiky

h = 160 mm

b = 120 mm

A = 19 200 mm

$I_y = \frac{1}{12}\, b \cdot h^3 = \frac{1}{12}\, 120 \cdot 160^3 = 40{,}96 \cdot 10^6\ mm^4$

$I_z = \frac{1}{12}\, b \cdot h^3 = \frac{1}{12}\, 160 \cdot 120^3 = 23{,}04 \cdot 10^6\ mm^4$

$W_y = \frac{1}{6}\, b \cdot h^2 = \frac{1}{12}\, 120 \cdot 160^2 = 512\,000\ mm^3$

$W_z = \frac{1}{6}\, b \cdot h^2 = \frac{1}{12}\, 160 \cdot 120^2 = 384\,000\ mm^3$

$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{40{,}96 \cdot 10^6}{19\,200}} = 46{,}19$

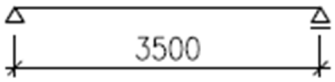
$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{23{,}04 \cdot 10^6}{19\,200}} = 34{,}64$

3.1.3. Zatížení

a) Stálé

Vlastní tíha:

$g_{v,k} = A \cdot \gamma = 19{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot 4{,}2 = 0{,}081 kN \cdot m^{-1}$



Střešní plášť:

Zatěžovací šířka $b_z = \frac{1{,}470}{2} = 0{,}735\ m$

$g_{pl,k} = g_{p,k} \cdot b_z = 0{,}419 \cdot 0{,}735 = 0{,}308\ kN \cdot m^{-1}$

b) Proměnné

Sníh

Nejméně příznivá pozice sněhu na střeše je pro vaznici v ZS5 - Sníh navátý II., kde zatížení na metr běžný odpovídá

$q_{s,II} = 1{,}297\ kN \cdot m^{-1}$ ... zatížení pro zatěžovací šířku vaznice

Vítr

Nejméně příznivý je pro vaznici ZS8 - Vítr příčný levý, kde na vaznici působí vítr tlakovou silou.

$q_w = 0{,}154\ kN \cdot m^{-1}$ ... zatížení pro zatěžovací šířku vaznice

3.1.4. Vnitřní síly

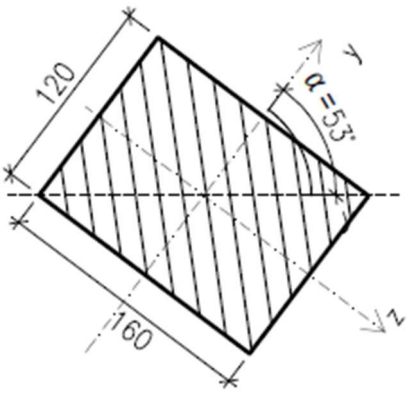
$$M_{g,y,k} = \frac{1}{8}(g_{v,k} + g_{pl,k}) \cdot l^2 \cdot \cos 53° = \frac{1}{8} \cdot (0{,}081 + 0{,}308) \cdot 3{,}5^2 \cdot 0{,}602 = 0{,}358\ \text{kNm}$$

$$M_{g,z,k} = \frac{1}{8}(g_{v,k} + g_{pl,k}) \cdot l^2 \cdot \sin 53° = \frac{1}{8} \cdot 0{,}389 \cdot 3{,}5^2 \cdot 0{,}799 = 0{,}476\ \text{kNm}$$

$$M_{q,s,y,k} = \frac{1}{8} g_{s,k} l^2 \cdot \cos 53° = \frac{1}{8} \cdot 1{,}297 \cdot 3{,}5^2 \cdot 0{,}602 = 1{,}196\ \text{kNm}$$

$$M_{q,s,z,k} = \frac{1}{8} g_{s,k} l^2 \cdot \sin 53° = \frac{1}{8} \cdot 1{,}297 \cdot 3{,}5^2 \cdot 0{,}799 = 1{,}587\ \text{kNm}$$

$$M_{q,w,k} = \frac{1}{8} g_{w,k} l^2 = \frac{1}{8} \cdot 0{,}154 \cdot 3{,}5^2 = 0{,}236\ \text{kNm}$$



$$V_{g,y,k} = \frac{1}{2}(g_{v,k} + g_{pl,k}) \cdot l \cdot \cos 53° = \frac{1}{2} \cdot 0{,}389 \cdot 3{,}5 \cdot 0{,}602 = 0{,}410\ \text{kN}$$

$$V_{g,z,k} = \frac{1}{2}(g_{v,k} + g_{pl,k}) \cdot l \cdot \sin 53° = \frac{1}{2} \cdot 0{,}389 \cdot 3{,}5 \cdot 0{,}799 = 0{,}544\ \text{kN}$$

$$V_{q,s,y,k} = \frac{1}{2} q_{s,k} \cdot l \cdot \cos 53° = \frac{1}{2} \cdot 1{,}297 \cdot 3{,}5 \cdot 0{,}602 = 1{,}366\ \text{kN}$$

$$V_{q,s,z,k} = \frac{1}{2} q_{s,k} \cdot l \cdot \sin 53° = \frac{1}{2} \cdot 1{,}297 \cdot 3{,}5 \cdot 0{,}799 = 1{,}814\ \text{kN}$$

$$V_{q,w,k} = \frac{1}{2} g_{w,k} l = \frac{1}{2} \cdot 0{,}154 \cdot 3{,}5 = 0{,}270\ \text{kN}$$

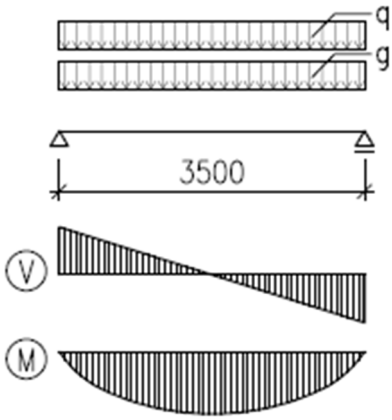
3.1.5. Kombinace zatížení

$$M_{y,Ed} = \gamma_G \cdot M_{g,y,k} + \gamma_Q \psi_{0,s} \cdot M_{q,s,y,k} + \gamma_Q \psi_{0,w} \cdot M_{q,w,k} \qquad \textit{6.10a}$$

$$M_{y,Ed} = 1{,}35 \cdot 0{,}358 + 1{,}50 \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}196 + 1{,}50 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}236 = 1{,}593\ \text{kNm}$$

$$M_{y,Ed} = \xi \cdot \gamma_G \cdot M_{g,y,k} + \gamma_Q \cdot M_{q,s,y,k} + \gamma_Q \psi_{0,w} \cdot M_{q,w,k} \qquad \textit{6.10b}$$

$$M_{y,Ed} = 0{,}85 \cdot 1{,}35 \cdot 0{,}358 + 1{,}50 \cdot 1{,}196 + 1{,}50 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}236 = \mathbf{2{,}417\ kNm}$$



$$M_{z,Ed} = \gamma_G \cdot M_{g,z,k} + \gamma_Q \psi_{0,s} \cdot M_{q,s,z,k}$$

$$M_{z,Ed} = 1{,}35 \cdot 0{,}476 + 1{,}50 \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}587 = 1{,}833\ \text{kNm}$$

$$M_{z,Ed} = \xi \cdot \gamma_G \cdot M_{g,z,k} + \gamma_Q \cdot M_{q,s,z,k}$$

$$M_{z,Ed} = 0{,}85 \cdot 1{,}35 \cdot 0{,}476 + 1{,}50 \cdot 1{,}587 = \mathbf{2{,}927\ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = \gamma_G \cdot V_{g,y,k} + \gamma_Q \psi_{0,s} \cdot V_{q,s,y,k} + \gamma_Q \psi_{0,w} \cdot V_{q,w,k}$$

$$V_{y,Ed} = 1{,}35 \cdot 0{,}410 + 1{,}50 \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}366 + 1{,}50 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}270 = 1{,}821\ \text{kN}$$

$$V_{y,Ed} = \xi \cdot \gamma_G \cdot V_{g,y,k} + \gamma_Q \cdot V_{q,s,y,k} + \gamma_Q \cdot \psi_{0,w} \cdot V_{q,w,k}$$

$$V_{y,Ed} = 0{,}85 \cdot 1{,}35 \cdot 0{,}410 + 1{,}50 \cdot 1{,}366 + 1{,}50 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}270 = \mathbf{2{,}762\ kN}$$

$V_{z,Ed} = \gamma_G \cdot V_{g,z,k} + \gamma_Q \psi_{0,s} \cdot V_{q,s,z,k}$

$V_{z,Ed} = 1{,}35 \cdot 0{,}544 + 1{,}50 \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}814 = 2{,}095\ \text{kN}$

$V_{z,Ed} = \xi \cdot \gamma_G \cdot V_{g,z,k} + \gamma_Q \cdot V_{q,s,z,k}$

$V_{z,Ed} = 0{,}85 \cdot 1{,}35 \cdot 0{,}544 + 1{,}50 \cdot 1{,}814 = \mathbf{3{,}345\ kN}$

Síly od působení větru na čelní stěny jsou přenášeny podélným ztužením. Na vaznice nepůsobí osová síla a normálové síly se uvažují jako nulové.

3.1.6. Posouzení - MSÚ

- **Šikmý ohyb**

Podmínky:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d,}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d,}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{E,y,d}}{W_y} = \frac{2{,}417 \cdot 10^6}{512\,000} = 4{,}721\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{E,z,d}}{W_z} = \frac{2{,}927 \cdot 10^6}{384\,000} = 7{,}622\ \text{MPa}$$

$k_m = 0{,}7$ *... obdélníkový průřez*

$$\frac{4{,}721}{16{,}615} + 0{,}7 \cdot \frac{7{,}622}{16{,}615} = 0{,}61 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$0{,}7 \cdot \frac{4{,}721}{16{,}615} + \frac{7{,}622}{16{,}615} = 0{,}66 \leq 1$$

VYHOVUJE

- **Smyk**

Podmínka:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\tau_d = 1{,}5 \cdot \frac{V_{E,d}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{4338}{19\,200} = 0{,}339\ \text{MPa}$$

$$V_{E,d} = \sqrt{{V_{y,Ed}}^2 + {V_{z,Ed}}^2} = \sqrt{2{,}762^2 + 3{,}345^2} = 4{,}338\ \text{kN}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0{,}339}{2{,}769} = 0{,}12 \leq 1$$

VYHOVUJE

3.1.7. Posouzení - MSP

$$u_{inst,g,z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{v,k} + g_{pl,k}) \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_y} \cdot \cos\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{0{,}389 \cdot 3500^4}{11000 \cdot 40{,}96 \cdot 10^6} \cdot \cos 53°$$

$$u_{inst,g,z} = 1{,}02 \text{ mm}$$

$$u_{inst,s,z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{s,k} \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_y} \cdot \cos\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{1{,}297 \cdot 3500^4}{11000 \cdot 40{,}96 \cdot 10^6} \cdot \cos 53°$$

$$u_{inst,s,z} = 3{,}39 \text{ mm}$$

$$u_{inst,w,z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{w,k} \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0{,}154 \cdot 3500^4}{11000 \cdot 40{,}96 \cdot 10^6} = 0{,}67 \text{ mm}$$

$$\Sigma\, u_{inst,z} = 1{,}02 + 3{,}39 + 0{,}67 = 5{,}08 \text{ mm}$$

$$u_{inst,g,y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{v,k} + g_{pl,k}) \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_z} \cdot \sin\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{0{,}389 \cdot 3500^4}{11000 \cdot 23{,}04 \cdot 10^6} \cdot \sin 53°$$

$$u_{inst,g,y} = 2{,}40 \text{ mm}$$

$$u_{inst,g,y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{s,k} \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_z} \cdot \sin\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{1{,}297 \cdot 3500^4}{11000 \cdot 23{,}04 \cdot 10^6} \cdot \sin 53°$$

$$u_{inst,s,z} = 7{,}96 \text{ mm}$$

$$\Sigma\, u_{inst,y} = 2{,}40 + 7{,}96 = 10{,}36 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = \sqrt{5{,}08^2 + 10{,}36^2} = 11{,}54 \text{ mm}$$

$$u_{inst,lim} = \frac{l}{300} = \frac{3500}{300} = 11{,}67 \text{ mm}$$

$u_{inst} = 11{,}54 \text{ mm} \leq u_{inst,lim} = 11{,}67 \text{ mm}$ <u>VYHOVUJE</u>

3.1.8. Dotvarování

$$u_{fin,g,z} = u_{inst,g,z} \cdot (1 + k_{def}) = 1{,}02 \cdot (1 + 0{,}6) = 1{,}63 \text{ mm}$$

$$u_{fin,s,z} = u_{inst,s,z} \cdot (1 + \psi_{2,1} k_{def}) = 3{,}39 \cdot (1 + 0) = 3{,}39 \text{ mm}$$

$$u_{fin,w,z} = u_{inst,w,z} \cdot (\psi_{0,1} + \psi_{2,1} k_{def}) = 0{,}67 \cdot (0{,}6 + 0) = 0{,}40 \text{ mm}$$

$$\Sigma u_{fin,z} = 1{,}63 + 3{,}39 + 0{,}40 = 5{,}420 \text{ mm}$$

$$u_{fin,g,y} = u_{inst,g,y} \cdot (1 + k_{def}) = 2{,}40 \cdot (1 + 0{,}6) = 3{,}84 \text{ mm}$$

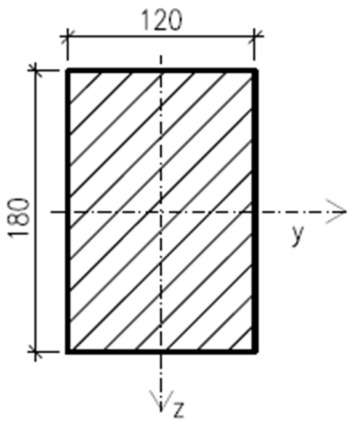
$$u_{fin,s,y} = u_{inst,s,y} \cdot (1 + \psi_{2,1} k_{def}) = 7{,}96 \cdot (1 + 0) = 7{,}96 \text{ mm}$$

$$\Sigma u_{fin,y} = 3{,}840 + 7{,}960 = 11{,}8 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = \sqrt{5{,}42^2 + 11{,}8^2} = 12{,}99 \text{ mm}$$

$$u_{fin,lim} = \frac{l}{200} = \frac{3500}{200} = 17{,}5 \text{ mm}$$

$u_{fin} = 12{,}99 \text{ mm} \leq u_{fin,lim} = 17{,}5 \text{ mm}$ <u>VYHOVUJE</u>



3.2. Paždík

Posouzení paždíku č. 5 délky 3700 mm, který je od 'ZS 8 - Vítr příčný levý' namáhán největším rovnoměrně spojitým zatížením. Paždík je uvažován jako nosník prostě podepřený do příhradových sloupů.

3.2.1. Materiál

Rostlé dřevo pevnostní třídy C24

Modul pružnosti	E = 11000,000 MPa
Smykový modul	G = 690,000 MPa
Objemová tíha	γ = 4,20 kN·m^{-3}
Charakteristická pevnost v ohybu	$f_{m,k}$ = 24,000 MPa
Charakteristická pevnost v tahu	$f_{t,0,k}$ = 14,000 MPa
Charakteristická pevnost v tahu kolmo k vláknům	$f_{t,90,k}$ = 0,400 MPa
Charakteristická pevnost v tlaku	$f_{c,0,k}$ = 21,000 MPa
Charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům	$f_{c,90,k}$ =2,500 MPa
Charakteristická pevnost ve smyku/krutu	$f_{v,k}$ = 4,000 MPa
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$ = 11000MPa
Modul pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean}$ = 370,000 MPa
Smykový modul	G_{mean} = 690,000 MPa
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,05}$ = 7400,000 MPa
Modul pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,05}$ = 247,000 MPa
Smykový modul	$G_{0,05}$ = 464,000 MPa
Hustota	ρ = 350,0 kN·m^{-3}
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean} = 420,0 kN·m^{-3}

Třída provozu: 1

Modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti k_{mod} = 0,90

Dílčí součinitel spolehlivosti vlastnosti materiálu $\gamma_M = 1{,}3$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{24}{1{,}3} = 16{,}615 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{4}{1{,}3} = 2{,}769 \text{ MPa}$$

3.2.2. Průřezové charakteristiky

h = 180 mm

b = 120 mm

A = 21 600 mm

$I_y = \frac{1}{12}\, b \cdot h^3 = \frac{1}{12}\, 120 \cdot 180^3 = 58{,}32 \cdot 10^6\ mm^4$

$I_z = \frac{1}{12}\, b \cdot h^3 = \frac{1}{12}\, 180 \cdot 120^3 = 25{,}92 \cdot 10^6\ mm^4$

$W_y = \frac{1}{6}\, b \cdot h^2 = \frac{1}{12}\, 120 \cdot 180^2 = 648\,000\ mm^3$

$W_z = \frac{1}{6}\, b \cdot h^2 = \frac{1}{12}\, 180 \cdot 120^2 = 432\,000\ mm^3$

$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{58{,}32 \cdot 10^6}{21\,600}} = 51{,}96$

$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{25{,}92 \cdot 10^6}{21\,600}} = 34{,}64$

3.2.3. Zatížení

a) Stálé

Vlastní tíha:

$g_{v,k} = A \cdot \gamma = 21{,}6 \cdot 10^{-3} \cdot 4{,}2 = 0{,}091 kN \cdot m^{-1}$

Prosklení čelní stěny:

Izolační trojsklo INTERM ... $30\ kg \cdot m^{-2} = 0{,}30\ kN \cdot m^{-2}$

Zatěžovací šířka $b_z = 2\ m$

$g_{g,k} = 0{,}30 \cdot b_z = 0{,}30 \cdot 2 = 0{,}6\ kN \cdot m^{-1}$

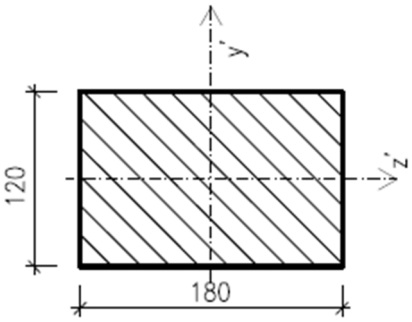
$g_k = g_{v,k} + g_{g,k} = 0{,}091 + 0{,}60 = 0{,}691\ kN \cdot m^{-1}$

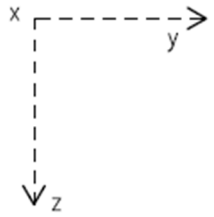
b) Proměnné

Vítr

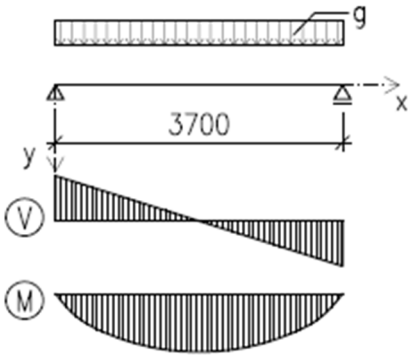
Nejméně příznivý je pro paždík 'ZS8 - Vítr příčný levý', kdy je paždík namáhán rovnoměrně spojitým zatížením od sání větru.

$q_w = -1{,}958\ kN \cdot m^{-1}$ ... zatížení pro zatěžovací šířku paždíku





Natočení lokálních souřadnicových os paždíku ke globálním souřadnicovým osám



3.2.4. Vnitřní síly

$$M_{g,z,k} = \frac{1}{8} \cdot g_k \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 0{,}691 \cdot 3{,}7^2 = 1{,}182 \text{kNm}$$

$$M_{q,y,k} = \frac{1}{8} \cdot q_w \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 1{,}958 \cdot 3{,}7^2 = 3{,}351 \text{ kNm}$$

$$V_{g,y,k} = \frac{1}{2} \cdot g_k \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 0{,}691 \cdot 3{,}7 = 1{,}278 \text{ kN}$$

$$V_{q,z,k} = \frac{1}{2} \cdot q_w \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 1{,}958 \cdot 3{,}7 = 3{,}622 \text{ kN}$$

V žádném ze směrů těžištních os průřezu nepůsobí kombinace stálého a proměnného zatížení:

$$M_{z,Ed} = \gamma_G \cdot M_{g,z,k} = 1{,}35 \cdot 1{,}182 = 1{,}596 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = \gamma_Q \cdot M_{q,y,k} = 1{,}50 \cdot 3{,}351 = 5{,}027 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = \gamma_G \cdot V_{g,z,k} = 1{,}35 \cdot 1{,}278 = 1{,}725 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = \gamma_Q \cdot V_{q,y,k} = 1{,}50 \cdot 3{,}622 = 5{,}433 \text{ kNm}$$

3.2.5. Posouzení - MSÚ

a) Šikmý ohyb

Podmínky:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d,}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \qquad k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d,}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{5{,}027 \cdot 10^6}{648\,000} = 7{,}758 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,Ed}}{W_z} = \frac{1{,}596 \cdot 10^6}{432\,000} = 3{,}694 \text{ MPa}$$

$k_m = 0{,}7$ *... obdélníkový průřez*

$$\frac{7{,}758}{16{,}615} + 0{,}7 \cdot \frac{3{,}694}{16{,}615} = 0{,}62 \leq 1$$

$$0{,}7 \cdot \frac{7{,}758}{16{,}615} + \frac{3{,}694}{16{,}615} = 0{,}55 \leq 1$$

VYHOVUJE

b) Smyk

Podmínka:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\tau_d = 1{,}5 \cdot \frac{V_{E,d}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{5{,}700}{21\,600} = 0{,}395 \text{ MPa}$$

$$V_{E,d} = \sqrt{{V_{y,Ed}}^2 + {V_{z,Ed}}^2} = \sqrt{5{,}433^2 + 1{,}725^2} = 5{,}700 \text{ kN}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0{,}395}{2{,}769} = 0{,}14 \leq 1 \qquad \text{VYHOVUJE}$$

3.2.6. Posouzení - MSP

$$u_{inst,g,z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{,k} \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0{,}691 \cdot 3700^4}{11000 \cdot 25{,}92 \cdot 10^6} = 5{,}91 \text{ mm}$$

$$u_{inst,q,y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{,w} \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1{,}958 \cdot 3700^4}{11000 \cdot 58{,}32 \cdot 10^6} = 7{,}45 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = \sqrt{u_{inst,g,z}^2 + u_{inst,q,y}^2} = \sqrt{5{,}91^2 + 7{,}45^2} = 9{,}51 \text{ mm}$$

$$u_{inst,lim} = \frac{l}{300} = \frac{3700}{300} = 12{,}33 \text{ mm}$$

$u_{inst} = 9{,}51 \text{ mm} \leq u_{inst,lim} = 12{,}33 \text{ mm}$ <u>VYHOVUJE</u>

3.2.7. Dotvarování

$$u_{fin,g,z} = u_{inst,g,z} \cdot (1 + k_{def}) = 5{,}91 \cdot (1 + 0{,}6) = 9{,}46 \text{ mm}$$

$$u_{fin,q,y} = u_{inst,q,y} \cdot (1 + \psi_2 k_{def}) = 7{,}45 \cdot (1 + 0) = 7{,}45 \text{ mm}$$

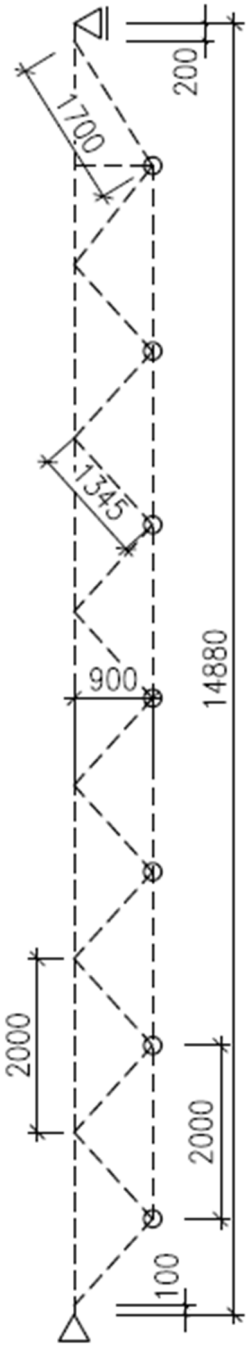
$$u_{fin} = \sqrt{u_{fin,g,z}^2 + u_{fin,q,y}^2} = \sqrt{9{,}46^2 + 7{,}45^2} = 12{,}04 \text{ mm}$$

$$u_{fin,lim} = \frac{l}{200} = \frac{3700}{200} = 18{,}5 \text{ mm}$$

$u_{fin} = 12{,}04 \text{ mm} \leq u_{fin,lim} = 18{,}5 \text{ mm}$ <u>VYHOVUJE</u>

3.3. Sloup

Sloupy čelní stěny jsou uvažovány jako prostě podepřené příhradové nosníky s posuvnou podporou v místě připojení k dolnímu pasu vazníku. Posuv je umožněn ve směru globální osy 'z' pro zajištění volného průhybu vazníků a zamezení přenášení sil na sloup ve vertikální rovině.



Posouzen bude sloup "e" nejblíže ose symetrie čelní stěny. Ze všech sloupů jsou pruty tohoto sloupu namáhány největšími osovými silami v kombinaci s největší podporovou reakcí posuvné podpoy vyvozující ohybový moment na krátké konzole. Horní pás je uvažován v rovině čelní stěny, dolní pás v interiéru haly.

3.3.1. Materiál

Lepené lamelové dřevo GL24h

Modul pružnosti	E = 11 600,000 MPa
Smykový modul	G = 720,000 MPa
Objemová tíha	γ = 3,70 kN·m^{-3}
Charakteristická pevnost v ohybu	$f_{m,k}$ = 24,000 MPa
Charakteristická pevnost v tahu	$f_{t,0,k}$ = 16,500 MPa
Charakteristická pevnost v tahu kolmo k vláknům	$f_{t,90,k}$ = 0,400 MPa
Charakteristická pevnost v tlaku	$f_{c,0,k}$ = 24,000 MPa
Charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům	$f_{c,90,k}$ =2,700 MPa
Charakteristická pevnost ve smyku/krutu	$f_{v,k}$ = 2,700 MPa
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$ = 11600MPa
Modul pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean}$ = 390,000 MPa
Smykový modul	G_{mean} = 720,000 MPa
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,05}$ = 9700,000 MPa
Modul pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,05}$ = 325,000 MPa
Smykový modul	$G_{0,05}$ = 464,000 MPa
Hustota	ρ = 380,0 kN·m^{-3}
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean} = 437,0 kN·m^{-3}

Třída provozu: 1

Modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti k_{mod} = 0,90

Dílčí součinitel spolehlivosti vlastnosti materiálu $\gamma_M = 1{,}25$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{24}{1{,}25} = 17{,}280 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{2{,}7}{1{,}25} = 1{,}944 \text{ MPa}$$

$$f_{c,o,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{24}{1{,}25} = 17{,}280 \text{ MPa}$$

$$f_{t,o,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{16{,}5}{1{,}25} = 11{,}880 \text{ MPa}$$

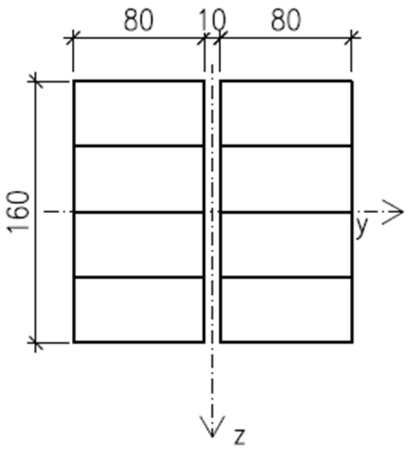
3.3.2. Zatížení

Sloupy jsou zatíženy ve své rovině vlatní tíhou a silami od paždíků, které přenášejí účinky stálého zatížení a zatížení větrem. Statický model byl vytvořen a vnitřní síly získány prostřednictvím software RFEM.

3.3.3. Horní pás

- **Průřezové charakteristiky**

Členěný průřez 2x 80x160 mm:



$A_i = 80 \cdot 160 = 12\,800 \text{ mm}^2$

$A = 80 \cdot 160 \cdot 2 = 25\,600 \text{ mm}^2$

$I_{i,y} = \frac{1}{12}\, b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 80 \cdot 160^3 = 27{,}31 \cdot 10^6 \text{ mm4}$

$I_y = 2 \cdot I_{i,y} = 2 \cdot 27{,}31 \cdot 10^6 = 54{,}61 \cdot 10^6 \text{ mm4}$

$I_{i,z} = \frac{1}{12}\, b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 160 \cdot 80^3 = 6{,}827 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{54{,}61 \cdot 10^6}{80} = 682\,667 \text{ mm}^3$

$W_{i,z} = \frac{I_{i,z}}{y} = \frac{6{,}827 \cdot 10^6}{40} = 170\,667 \text{ mm}^3$

$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{54{,}61 \cdot 10^6}{25\,600}} = 46{,}19$

$i_{i,z} = \sqrt{\frac{I_{i,z}}{A}} = \sqrt{\frac{6{,}827 \cdot 10^6}{12\,800}} = 23{,}09$

- **Vnitřní síly**

$N_{Ed} = -122{,}734 \text{ kN}$ (tlak)

$N_{Ed} = 113{,}920 \text{ kN}$ (tah)

$V_{z,Ed} = 29{,}840 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} = 5{,}840 \text{ kNm}$

- **Posouzení na vzpěr**

a) Ve směru osy *z*

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$l_{ef,y} = 2\,000 \text{ mm}$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{2000}{46{,}19} = 43{,}301$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{43{,}30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9700}} = 0{,}69$$

$k_y = 0{,}5 \cdot (1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0{,}3) + \lambda_{rel,y}^2)$

$k_y = 0{,}5 \cdot (1 + 0{,}1\,(0{,}69 - 0{,}3) + 0{,}69^2) = 0{,}754$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0{,}754 + \sqrt{0{,}754^2 - 0{,}69^2}} = 0{,}936$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{122{,}734 \cdot 10^3}{25\,600} = 4{,}794 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{4{,}794}{0{,}936 \cdot 17{,}280} = 0{,}30 \leq 1 \qquad \text{VYHOVUJE}$$

b) Ve směru osy *y*

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

Vzpěrná délka = osová vzdálenost paždíků

$l_{ef,z} = 2\,000 \text{ mm}$

$\beta_c = 0{,}2$ *pro rostlá dřeva*

$\beta_c = 0{,}1$ *lepené lamelové dřevo*

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{2000}{23{,}09} = 86{,}60$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{86{,}60}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9700}} = 1{,}37$$

$k_z = 0{,}5 \cdot (1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0{,}3) + \lambda_{rel,z}^2)$

$k_z = 0{,}5 \cdot (1 + 0{,}1\,(1{,}37 - 0{,}3) + 1{,}37^2) = 1{,}494$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1{,}494 + \sqrt{1{,}494^2 - 1{,}37^2}} = 0{,}479$$

$$N_{Ed} = \frac{122{,}734}{2} = 61{,}367 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{61{,}367 \cdot 10^3}{12\,800} = 4{,}794 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{4{,}794}{0{,}479 \cdot 17{,}280} = 0{,}56 \ \leq 1$$

VYHOVUJE

- **Posouzení na tah**

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{113{,}920 \cdot 10^3}{25\,600} = 4{,}45 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{4{,}45}{11{,}8} = 0{,}38 \ \leq 1$$

VYHOVUJE

- **Posouzení na ohyb**

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{5{,}840 \cdot 10^6}{682\,667} = 8{,}555 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{8{,}555}{17{,}280} = 0{,}49 \leq 1$$

VYHOVUJE

- **Posouzení na smyk**

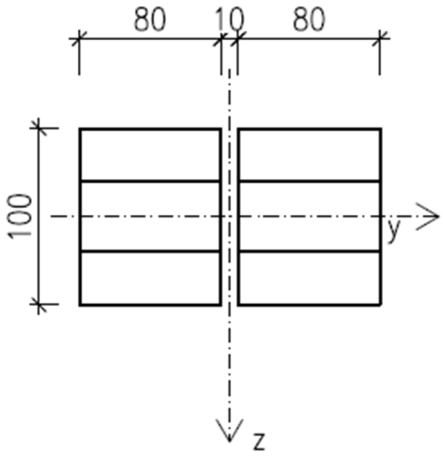
Podmínka:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\tau_d = 1{,}5 \cdot \frac{V_{Ed}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{29{,}251}{25\,600} = \ 1{,}714 \text{ MPa}$$

$V_{Ed} = \ 29{,}251$ kN

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1{,}714}{1{,}944} = 0{,}88 \leq 1 \qquad \text{VYHOVUJE}$$



3.3.4. Dolní pás

- **Průřezové charakteristiky**

Členěný průřez 2x 80x100 mm:

$A_i = 80 \cdot 100 = 8\,000\ mm^2$

$A = 80 \cdot 100 \cdot 2 = 16\,000\ mm^2$

$I_{i,y} = \frac{1}{12}\ b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 80 \cdot 100^3 = 6{,}666 \cdot 10^6\ mm4$

$I_y = 2 \cdot I_{i,y} = 2 \cdot 6{,}665 \cdot 10^6 = 13{,}33 \cdot 10^6\ mm4$

$I_{i,z} = \frac{1}{12}\ b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 80^3 = 4{,}267 \cdot 10^6\ mm^4$

$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{13{,}33 \cdot 10^6}{50} = 266\,667\ mm^3$

$W_{i,z} = \frac{I_{i,z}}{y} = \frac{4{,}267 \cdot 10^6}{40} = 106\,667\ mm^3$

$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{13{,}33 \cdot 10^6}{16\,000}} = 28{,}87$

$i_{i,z} = \sqrt{\frac{I_{i,z}}{A}} = \sqrt{\frac{4{,}267 \cdot 10^6}{8000}} = 23{,}09$

- **Vnitřní síly**

$N_{Ed} = -117{,}734\ kN$

$N_{Ed} = 103{,}858\ kN$

- **Posouzení na vzpěr**

a) Ve směru osy *z*

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$l_{ef,y} = 2\,000\ mm$

$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{2000}{28{,}87} = 69{,}28$

$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{69{,}28}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9700}} = 1{,}10$

$k_y = 0{,}5 \cdot (1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0{,}3) + \lambda_{rel,y}^2)$

$k_y = 0{,}5 \cdot (1 + 0{,}1\ (1{,}10 - 0{,}3) + 1{,}10^2) = 1{,}142$

$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1{,}142 + \sqrt{1{,}142 - 1{,}10^2}} = 0{,}69$

$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{117{,}739 \cdot 10^3}{16\,000} = 7{,}358\ MPa$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{7{,}358}{0{,}69 \cdot 17{,}280} = 0{,}62 \ \leq 1$$

VYHOVUJE

b) Ve směru osy *y*

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

Vzpěrná délka = osová vzdálenost ocelových táhel

$l_{ef,z} = 2\,000 \text{ mm}$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{2000}{23{,}09} = 86{,}60$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{86{,}60}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9700}} = 1{,}37$$

$$k_z = 0{,}5 \cdot (1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0{,}3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0{,}5 \cdot (1 + 0{,}1\,(1{,}37 - 0{,}3) + 1{,}37^2) = 1{,}494$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1{,}494 + \sqrt{1{,}494^2 - 1{,}37^2}} = 0{,}479$$

$$N_{E,d} = \frac{117{,}734}{2} = 58{,}867 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{E,d}}{A} = \frac{58{,}867 \cdot 10^3}{8\,000} = 7{,}358 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{7{,}358}{0{,}479 \cdot 17{,}280} = 0{,}89 \ \leq 1$$

VYHOVUJE

- **Posouzení na tah**

Podmínka:

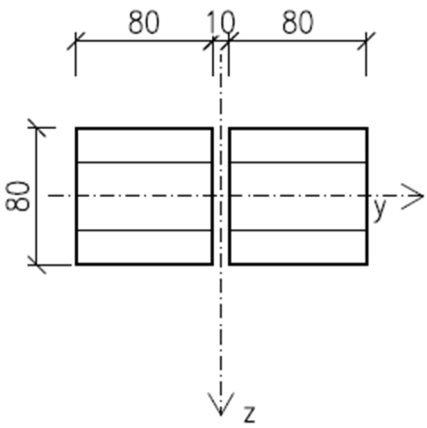
$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{103{,}858 \cdot 10^3}{16\,000} = 6{,}49 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{6{,}49}{11{,}8} = 0{,}55 \ \leq 1$$

VYHOVUJE



3.3.5. Diagonála

- **Průřezové charakteristiky**

Členěný průřez 2x 80x80 mm:

$A_i = 80 \cdot 80 = 6\,400\ mm^2$

$A = 80 \cdot 80 \cdot 2 = 12\,800\ mm^2$

$I_y = 2 \cdot \frac{1}{12}\ b \cdot h^3 = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 80 \cdot 80^3 = 6{,}827 \cdot 10^6\ mm4$

$I_{i,z} = \frac{1}{12}\ b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 80 \cdot 80^3 = 3{,}413 \cdot 10^6\ mm^4$

$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{6{,}827 \cdot 10^6}{40} = 170\,667\ mm^3$

$W_{i,z} = \frac{I_{i,z}}{y} = \frac{3{,}413 \cdot 10^6}{40} = 85\,333\ mm^3$

$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{6{,}827 \cdot 10^6}{12\,800}} = 23{,}09$

$i_{i,z} = \sqrt{\frac{I_{i,z}}{A}} = \sqrt{\frac{3{,}413 \cdot 10^6}{6\,400}} = 23{,}09$

- **Vnitřní síly**

$N_{Ed} = -34{,}078\ kN$

$N_{Ed} = 38{,}990\ kN$

- **Posouzení na vzpěr**

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$l_{ef,y} = l_{ef,z} = 1\,345\ mm$

$\lambda_y = \lambda_z = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{1345}{23{,}09} = 58{,}25$

$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{58{,}25}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9700}} = 0{,}92$

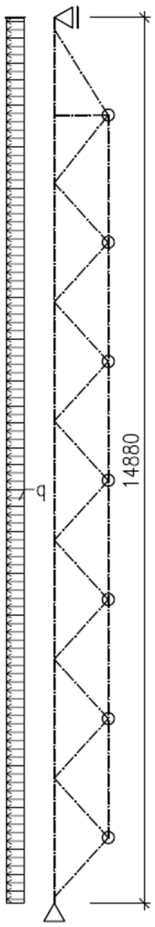
$k_y = 0{,}5 \cdot (1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0{,}3) + \lambda_{rel,y}^2)$

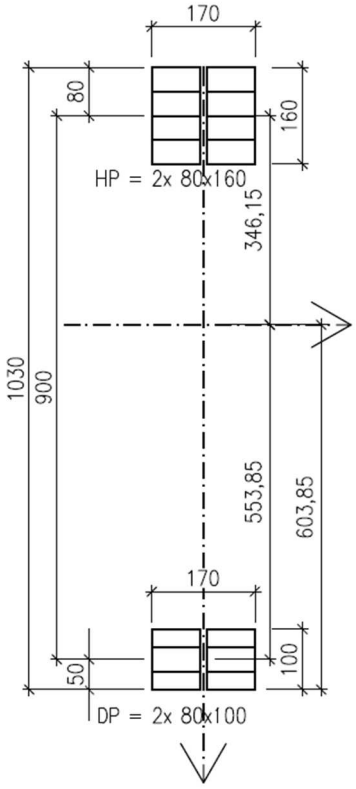
$k_y = 0{,}5 \cdot (1 + 0{,}1\ (0{,}92 - 0{,}3) + 0{,}92^2) = 0{,}954$

$k_{c,y} = k_{c,z} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0{,}945 + \sqrt{0{,}954 - 0{,}92^2}} = 0{,}861$

$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{38{,}990 \cdot 10^3}{12800} = 3{,}027\ MPa$

Posouzení:





$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{3{,}027}{0{,}861 \cdot 17{,}280} = 020 \leq 1 \qquad \text{VYHOVUJE}$$

- **Posouzení na tah**

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{38{,}990 \cdot 10^3}{12800} = 3{,}046 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{3{,}046}{11{,}880} = 0{,}26 \leq 1$$

<u>VYHOVUJE</u>

- **Mezní stav použitelnosti**

Výpočet průhybu, kdy je příhradový sloup uvažován jako plnostěnný nosník výšky odpovídající průměrné výšce sloupu s konstantní ohybovou tuhostí.

Délka sloupu $l = 14\,881$ mm

Průměrná výška $h = 900$ mm

Celková výška $h_{tot} = 900 + \frac{100}{2} + \frac{160}{2} = 1030$ mm

Poloha těžiště:

$$y_T = \frac{2 \cdot 80 \cdot 160 \cdot 950 + 2 \cdot 80 \cdot 100 \cdot 50}{2 \cdot 80 \cdot 160 + 2 \cdot 80 \cdot 100} = 603{,}85 \text{ mm}$$

Vzdálenost od těžiště částí:

$y_{T,1} = 603{,}85 - 50 = 553{,}85$ mm

$y_{T,2} = (1030 - 603{,}85) - 80 = 346{,}15$ mm

$$I_y = \left(\frac{1}{12} \cdot 80 \cdot 100^3 + 80 \cdot 100 \cdot 553{,}85^2 + \frac{1}{12} \cdot 80 \cdot 160^3 + 80 \cdot 160 \cdot 346{,}15^2\right) \cdot 2$$
$$= 8{,}066 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$q = \frac{w_{e,B} \cdot l_{p.i}}{2 \cdot b} = \frac{0{,}653 \cdot (3{,}890 + 3{,}955)}{2} = 2{,}561 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$u_{inst,q,y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2{,}561 \cdot 14881^4}{11600 \cdot 8{,}066 \cdot 10^9} = 17{,}47 \text{ mm}$$

$$u_{inst,lim} = \frac{l}{300} = \frac{14881}{300} = 49{,}603 \text{ mm}$$

$u_{inst} = 17{,}47$ mm $\leq u_{inst,lim} = 49{,}603$ mm VYHOVUJE

- **Dotvarování**

$u_{fin,q,y} = u_{inst,q,y} \cdot (1 + \psi_2 k_{def}) = 39{,}02 \cdot (1 + 0) = 17{,}47$ mm

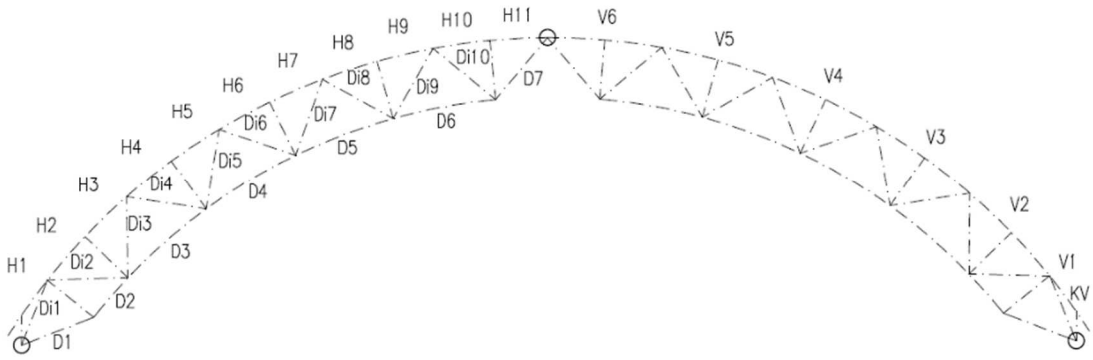
$$u_{fin,lim} = \frac{l}{200} = \frac{14881}{200} = 74{,}41 \text{ mm}$$

$u_{fin} = 17{,}47$ mm $\leq u_{fin,lim} = 74{,}41$ mm VYHOVUJE

3.4. Vazník

Vazník je staticky modelován jako trojkloubový příhradový vazník s pasy z lepeného lamelového dřeva a diagonálami z konstrukčního řeziva.

Prvky jsou spojeny vloženým styčníkovým plechem MKD.



3.4.1. Materiál

Lepené lamelové dřevo GL24h

Modul pružnosti	E = 11 600,000 MPa
Smykový modul	G = 720,000 MPa
Objemová tíha	γ = 3,70 kN·m^{-3}
Charakteristická pevnost v ohybu	$f_{m,k}$ = 24,000 MPa
Charakteristická pevnost v tahu	$f_{t,0,k}$ = 16,500 MPa
Charakteristická pevnost v tahu kolmo k vláknům	$f_{t,90,k}$ = 0,400 MPa
Charakteristická pevnost v tlaku	$f_{c,0,k}$ = 24,000 MPa
Charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům	$f_{c,90,k}$ =2,700 MPa
Charakteristická pevnost ve smyku/krutu	$f_{v,k}$ = 2,700 MPa
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$ = 11600MPa
Modul pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean}$ = 390,000 MPa
Smykový modul	G_{mean} = 720,000 MPa
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,05}$ = 9700,000 MPa
Modul pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,05}$ = 325,000 MPa
Smykový modul	$G_{0,05}$ = 464,000 MPa
Hustota	ρ = 380,0 kN·m^{-3}
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean} = 437,0 kN·m^{-3}

Třída provozu: 1

Modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti k_{mod} = 0,90

Dílčí součinitel spolehlivosti vlastnosti materiálu $\gamma_M = 1{,}25$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{24}{1{,}25} = 17{,}280 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{2{,}7}{1{,}25} = 1{,}944 \text{ MPa}$$

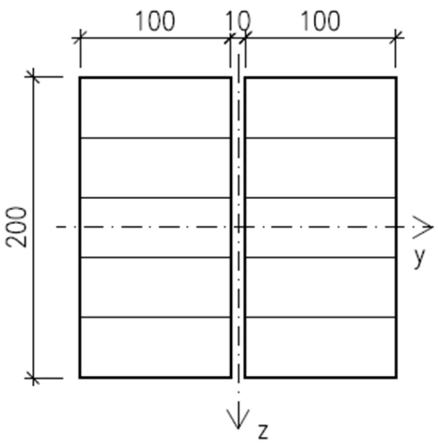
$$f_{c,o,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{24}{1{,}25} = 17{,}280 \text{ MPa}$$

$$f_{t,o,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{16{,}5}{1{,}25} = 11{,}880 \text{ MPa}$$

3.4.2. Horní pás

- **Průřezové charakteristiky**

Členěný průřez **2x 100x200** mm:



$A_i = 100 \cdot 200 = 20\,000 \text{ mm}^2$

$A = 100 \cdot 200 \cdot 2 = 40\,000 \text{ mm}^2$

$I_y = 2 \cdot \frac{1}{12} b \cdot h^3 = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 200^3 = 1{,}3333 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$

$I_{i,z} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 100^3 = 1{,}667 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

$W_y = \frac{I_y}{100} = \frac{1{,}3333 \cdot 10^8}{100} = 1{,}3333 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

$W_z = \frac{I_z}{50} = \frac{1{,}667 \cdot 10^7}{50} = 333\,333 \text{ mm}^4$

$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1{,}3333 \cdot 10^8}{40000}} = 57{,}74$

$i_y = \sqrt{\frac{I_z}{A_i}} = \sqrt{\frac{1{,}667 \cdot 10^7}{20000}} = 28{,}87$

POSOUZENÍ:

- **Tah**

Místo: **H9**

$N_{Ed} = 84{,}113 \text{ kN}$ (KZ 58)max. tahová síla

$M_{y,Ed} = -0{,}573 \text{ kNm}$ → lze zanedbat

$M_{z,Ed} = -0{,}099 \text{kNm}$ → lze zanedbat

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{84{,}113 \cdot 10^3}{40000} = 2{,}103 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{2{,}103}{11{,}880} = 0{,}18 \leq 1$$

VYHOVUJE

- **Smyk**

Místo: **H11**

$V_{Ed} = 22{,}977 \text{ kN}$ (KZ 41)

Podmínka:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\tau_d = 1{,}5 \cdot \frac{V_{Ed}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{22\,977}{40000} = 0{,}862 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0{,}862}{1{,}944} = 0{,}44 \leq 1$$

VYHOVUJE

- **Kombinace ohybu a osového tlaku**

Podmínka:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

Místo: **H6**

$N_{Ed} = -289{,}295 \text{ kN}$ (KZ 36) max. tlaková síla

$M_{y,Ed} = -0{,}967 \text{kNm}$

$M_{z,Ed} = 0{,}182 \text{ kNm}$ → lze zanedbat

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{289{,}295 \cdot 10^3}{40000} = 7{,}232 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{0{,}967 \cdot 10^6}{1{,}3333 \cdot 10^6} = 0{,}725 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\left(\frac{7{,}232}{17{,}280}\right)^2 + \frac{0{,}725}{17{,}280} = 0{,}22 \leq 1{,}0$$

Místo: **H1**

$N_{Ed} = -5{,}948$ kN (KZ 45)

$M_{y,Ed} = -5{,}764$ kNm max. ohybový moment

$M_{z,Ed} = -1{,}237$ kNm

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{5{,}948 \cdot 10^3}{40000} = 0{,}15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{my,,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{5{,}764 \cdot 10^6}{1{,}3333 \cdot 10^6} = 4{,}323 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,Ed}}{W_z} = \frac{1{,}237 \cdot 10^6}{333\,333} = 3{,}711 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\left(\frac{0{,}15}{17{,}280}\right)^2 + \frac{4{,}323}{17{,}280} + 0{,}7\frac{3{,}711}{17{,}280} = 0{,}40 \leq 1{,}0$$

$$\left(\frac{0{,}15}{17{,}280}\right)^2 + 0{,}7\frac{4{,}323}{17{,}280} + \frac{3{,}711}{17{,}280} = 0{,}39 \leq 1{,}0$$

<u>VYHOVUJE</u>

Místo: **H11**

$N_{Ed} = -102{,}480$ kN (KZ 50)

$M_{y,Ed} = -3{,}647$ kNm

$M_{z,Ed} = 0{,}005$ kNm → lze zanedbat

Vrchol oblouku je zatížený přídavnými vnitřními silami od podélného ztužení:

$N_{p,Ed} = -80{,}805$ kN

$M_{p,Ed} = N_{p,Ed} \cdot e = -80{,}805 \cdot 0{,}040 = -3{,}232$ kNm (viz str. 64)

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{(102{,}480 + 80{,}805) \cdot 10^3}{52000} = 3{,}525 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{my,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{(3{,}647 + 3{,}232) \cdot 10^6}{1{,}3333 \cdot 10^6} = 5{,}159 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\left(\frac{3{,}525}{17{,}280}\right)^2 + \frac{5{,}159}{17{,}280} = 0{,}34 \leq 1{,}0$$

<u>VYHOVUJE</u>

POSOUZENÍ STABILITY:

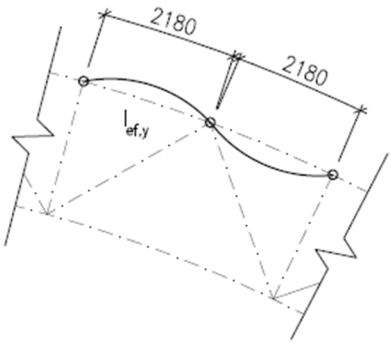
- **Kombinace tlaku a ohybu**

Místo: **H6**

$N_{Ed} = -289{,}295\ \text{kN}$ (KZ 36) max. tlaková síla

$M_{y,Ed} = -0{,}967\text{kNm}$

$M_{z,Ed} = 0{,}182\ \text{kNm}$ → lze zanedbat



a) Vzpěr ve směru osy *z*

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$l_{ef,y} = 2\ 180\ \text{mm}$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{2180}{57{,}74} = 37{,}76$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{37{,}76}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9700}} = 0{,}60$$

$$k_y = 0{,}5 \cdot (1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0{,}3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0{,}5 \cdot (1 + 0{,}1\ (0{,}60 - 0{,}3) + 0{,}60^2) = 0{,}694$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0{,}694 + \sqrt{0{,}694^2 - 0{,}60^2}} = 0{,}957$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{289{,}295 \cdot 10^3}{40000} = 7{,}232\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{0{,}967 \cdot 10^6}{1{,}3333 \cdot 10^6} = 0{,}725\ \text{MPa}$$

Posouzení:

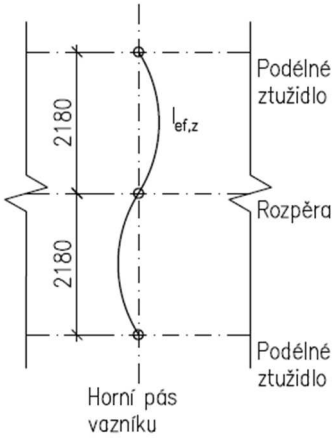
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{7{,}232}{0{,}957 \cdot 17{,}280} + \frac{0{,}725}{17{,}280} = 0{,}48 \leq 1$$

<u>VYHOVUJE</u>

b) Ve směru osy *y*

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$



Předpoklad: Prut je zatížen pouze malým ohybovým momentem a neklopí

Vzpěrná délka = osová vzdálenost mezi rozpěrami a podélným ztužením

$l_{ef,z} = 2{,}180\ \text{mm}$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{2180}{28{,}87} = 75{,}52$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{75{,}52}{\pi}\cdot\sqrt{\frac{24}{9700}} = 1{,}20$$

$$k_z = 0{,}5\cdot(1+\beta_c(\lambda_{rel,z}-0{,}3)+\lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0{,}5\cdot(1+0{,}1\,(1{,}20-0{,}3)+1{,}20^2) = 1{,}260$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z+\sqrt{k_z^2-\lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1{,}260+\sqrt{1{,}260^2-1{,}20^2}} = 0{,}604$$

$$N_{E,d} = \frac{289{,}2955}{2} = 144{,}648\ \text{kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{144{,}648\cdot 10^3}{20000} = 7{,}232\ \text{MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}\cdot f_{c,0,d}} = \frac{7{,}232}{0{,}604\cdot 17{,}280} = 0{,}69\ \leq 1$$

<u>VYHOVUJE</u>

- **Kombinace ohybu a osového tlaku**

Podmínka:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit}\cdot f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}\cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

Místo: **H1**

$M_{y,Ed} = -5{,}764\ \text{kNm}$ (KZ 45)

$N_{Ed} = -5{,}948\ \text{kN}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{218{,}923}} = 0{,}331\ \leq 0{,}75$$

→ $k_{crit} = 1{,}0$

... bez vlivu klopení

Celistvý obdélníkový průřez ze dřeva jehličnatých dřevin:

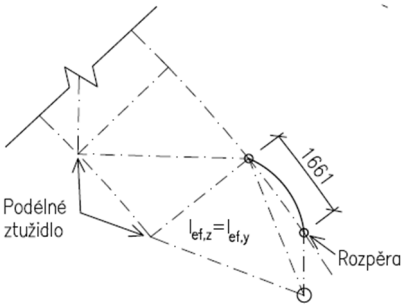
$$\sigma_{m,crit} = \frac{0{,}78\cdot b^2}{h\cdot l_{ef}}E_{0,05} = \frac{0{,}78\cdot 100^2}{200\cdot 1728}\cdot 9700 = 218{,}923\ \text{MPa}$$

$l = 1660\ \text{mm}$ ... uvažován prostě podepřený nosník zatížený soustředěnou silou v polovině rozpětí

→ $l_{ef}/l = 0{,}8$

Zatížení působí na tlačeném okraji nosníku (zvýšení l_{ef} o 2·h)

$l_{ef} = 0{,}8\cdot l + 2\cdot h = 0{,}8\cdot 1660 + 2\cdot 200 = 1728\ \text{mm}$



Vzpěr ve směru osy y:

$l_{ef,z} = 1661\ \text{mm}$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{1661}{28{,}87} = 57{,}50$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{57{,}50}{\pi}\cdot\sqrt{\frac{24}{9700}} = 0{,}91$$

$$k_z = 0{,}5\cdot(1+\beta_c(\lambda_{rel,z}-0{,}3)+\lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0{,}5\cdot(1+0{,}1\,(0{,}91-0{,}3)+0{,}91) = 0{,}945$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_y+\sqrt{k_z^2-\lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0{,}945+\sqrt{0{,}945^2-0{,}91^2}} = 0{,}835$$

$$N_{Ed} = \frac{5{,}948}{2} = 2{,}974\ \text{kN}$$

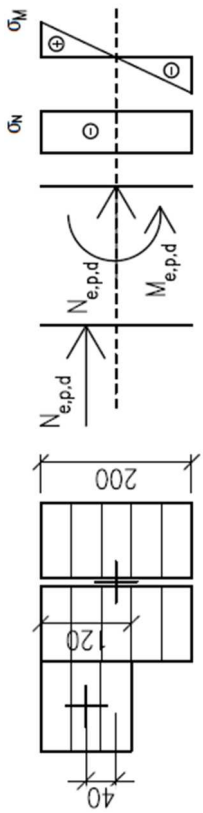
$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{2{,}974\cdot 10^3}{20000} = 0{,}15\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{5{,}764\cdot 10^6}{1{,}3333\cdot 10^6} = 4{,}323\ \text{MPa}$$

Posouzení:

$$\left(\frac{4{,}323}{1{,}0\cdot 17{,}28}\right)^2 + \frac{0{,}15}{0{,}835\cdot 17{,}28} = 0{,}07 \le 1{,}0$$

<u>VYHOVUJE</u>



Místo: **H11**

$N_{E,d} = -102{,}480\ \text{kN}$ (KZ 50)

$M_{y,Ed} = -3{,}647\ \text{kNm}$

Přídavné síly od příčného ztužidla:

$N_{p,Ed} = -80{,}805\ \text{kN}$

$M_{p,Ed} = N_{p,Ed}\cdot e = -80{,}805\cdot 0{,}040 = -3{,}232\ \text{kNm}$ (viz str. 64)

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{187{,}277}} = 0{,}36 \le 0{,}75$$

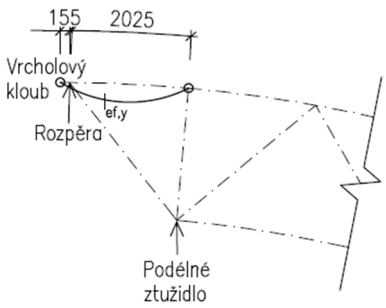
→ $k_{crit} = 1{,}0$

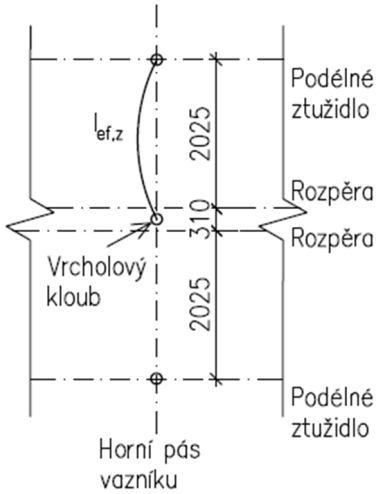
... bez vlivu klopení

Celistvý obdélníkový průřez ze dřeva jehličnatých dřevin:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0{,}78\cdot b^2}{h\cdot l_{ef}}E_{0,05} = \frac{0{,}78\cdot 100^2}{200\cdot 2020}\cdot 9700 = 187{,}277\ \text{MPa}$$

$l = 2025\ \text{mm}$ ... uvažována konzola zatížená soustředěnou silou na volném konci





→ $l_{ef}/l = 0{,}8$

Zatížení působí na tlačeném okraji nosníku (zvýšení l_{ef} o 2·h)

$l_{ef} = 0{,}8 \cdot l + 2 \cdot h = 0{,}8 \cdot 2025 + 2 \cdot 200 = 2020\ \text{mm}$

Vzpěr ve směru osy *y*:

$l_{ef,z} = 2025\ \text{mm}$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{2025}{28{,}87} = 70{,}15$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{70{,}15}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9700}} = 1{,}11$$

$$k_z = 0{,}5 \cdot (1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0{,}3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0{,}5 \cdot (1 + 0{,}1\,(1{,}11 - 0{,}3) + 1{,}11^2) = 1{,}157$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1{,}157 + \sqrt{1{,}157^2 - 1{,}11^2}} = 0{,}674$$

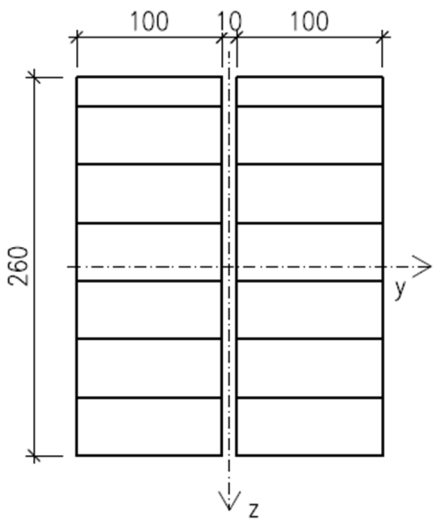
$$N_{Ed} = \frac{-102{,}480}{2} + (-80{,}805) = 132{,}045\ \text{kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{132{,}045 \cdot 10^3}{26\,000} = 5{,}079\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{m,d} = 5{,}159\ \text{MPa}$$

$$\left(\frac{5{,}159}{1{,}0 \cdot 17{,}28}\right)^2 + \frac{5{,}079}{0{,}674 \cdot 17{,}28} = 0{,}53 \leq 1{,}0$$

<u>VYHOVUJE</u>



3.4.3. Dolní pás

- **Průřezové charakteristiky**

Členěný průřez 2x 100x260 mm:

$A_i = 100 \cdot 260 = 26\,000\ mm^2$

$A = 100 \cdot 260 \cdot 2 = 52\,000\ mm^2$

$I_y = 2 \cdot \frac{1}{12}\, b \cdot h^3 = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 260^3 = 2{,}9293 \cdot 10^8\ mm4$

$I_{i,z} = \frac{1}{12}\, b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 260 \cdot 100^3 = 2{,}167 \cdot 10^7\ mm^4$

$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{2{,}9293 \cdot 10^8}{130} = 2{,}2533 \cdot 10^6\ mm^3$

$W_{i,z} = \frac{I_{i,z}}{y} = \frac{2{,}167 \cdot 10^7}{50} = 433\,333\ mm^3$

$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2{,}9293 \cdot 10^8}{52000}} = 75{,}06$

$i_y = \sqrt{\frac{I_{i,z}}{A}} = \sqrt{\frac{2{,}167 \cdot 10^7}{26\,000}} = 28{,}87$

POSOUZENÍ:

- **Kombinace ohybu a osového tahu**

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Místo: **D3**

$N_{Ed} = 103{,}159\ kN$ (KZ 80) max. tahová síla

$M_{y,Ed} = 4{,}039\ kNm$

$M_{z,Ed} = -0{,}010\ kNm$ → lze zanedbat

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{103{,}159 \cdot 10^3}{52000} = 1{,}984\ MPa$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{4{,}039 \cdot 10^6}{2{,}2533 \cdot 10^6} = 1{,}792\ MPa$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\frac{1{,}984}{11{,}880} + \frac{1{,}792}{17{,}280} = 0{,}27 \leq 1$$

<u>VYHOVUJE</u>

Místo: **D3** ... vazník čelní stěny

Sloupek „i“ je k dolnímu pasu připojen a vyvozuje tak ohybový moment namáhající vazník v jeho měkké ose:

Návrhový ohybový moment: $M_{z,Ed} = 4{,}257\ \text{kNm}$ (KZ 70)

Odpovídající vnitřní síly: $M_{y,Ed} = -0{,}398\ \text{kN}$ → lze zanedbat

$N_{Ed} = 9{,}970\ \text{kN}$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{9{,}970 \cdot 10^3}{52000} = 0{,}192\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,Ed}}{W_z} = \frac{4{,}257 \cdot 10^6}{433\ 333} = 9{,}824\text{MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{0{,}192}{11{,}88} + \frac{9{,}824}{17{,}280} = 0{,}58 \leq 1$$

<u>VYHOVUJE</u>

- **Kombinace ohybu a osového tlaku**

Podmínka:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

Místo: **D3**

$N_{Ed} = -155{,}240\ \text{kN}$ (KZ 39) max. tlaková síla v poli

$M_{y,Ed} = 6{,}010\ \text{kNm}$

$M_{z,Ed} = 0{,}206\ \text{kNm}$ → lze zanedbat

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{155{,}240 \cdot 10^3}{52000} = 2{,}985\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{6{,}010 \cdot 10^6}{2{,}2533 \cdot 10^6} = 2{,}667\ \text{MPa}$$

Posouzení:

$$\left(\frac{2{,}985}{17{,}280}\right)^2 + \frac{2{,}667}{17{,}280} = 0{,}18 \leq 1{,}0$$

<u>VYHOVUJE</u>

- **Smyk**

Místo: **D3** ... vazník čelní stěny

$V_{y,Ed} = 29{,}673\ \text{kN}$ (KZ 67)

$V_{z,Ed} = 2{,}935\ \text{kN}$

Síla $V_{z,Ed}$ namáhá celý průřez, $V_{y,Ed}$ pouze jednu část:

$$V_{Ed} = \sqrt{(V_{y,Ed})^2 + (\frac{V_{z,Ed}}{2})^2} = \sqrt{29{,}673^2 + (\frac{2{,}935}{2})^2} = 29{,}71\ \text{kN}$$

Podmínka:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\tau_d = 1{,}5 \cdot \frac{V_{Ed}}{A_i} = 1{,}5 \cdot \frac{29710}{26000} = 1{,}714\ \text{MPa}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1{,}714}{1{,}944} = 0{,}88 \leq 1 \qquad \text{VYHOVUJE}$$

POSOUZENÍ STABILITY:

- **Kombinace tlaku a ohybu**

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

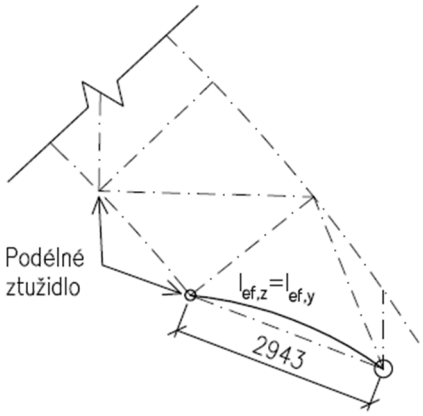
Posouzení pro dva případy s různými vzpěrnými délkami:

Místo: **D1**

$N_{Ed} = -176{,}348\ \text{kN}$ (KZ 39) max. tlaková síla u podpory

$M_{y,Ed} = -2{,}866\ \text{kNm}$

$M_{z,Ed} = -0{,}307\ \text{kNm}$ → lze zanedbat



Vzpěr k ose *y*:

$l_{ef,z} = 2\,943\ \text{mm}$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{2943}{28{,}87} = 42{,}48$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{42{,}48}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9700}} = 1{,}61$$

$$k_z = 0{,}5 \cdot (1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0{,}3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0{,}5 \cdot (1 + 0{,}1\,(1{,}61 - 0{,}3) + 1{,}61^2) = 1{,}868$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1{,}868 + \sqrt{1{,}868^2 - 1{,}61^2}} = 0{,}356$$

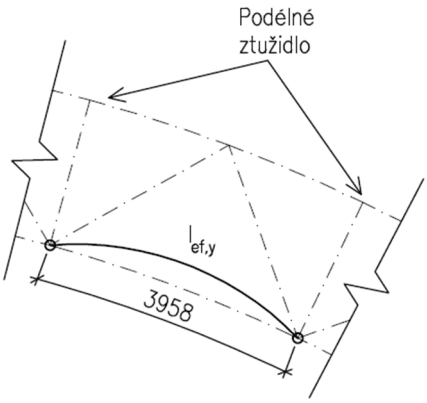
$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{176{,}348 \cdot 10^3}{52000} = 3{,}391\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{2{,}866 \cdot 10^6}{2{,}2533\ \cdot\ 10^6} = 1{,}272\ \text{MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{3{,}391}{0{,}356 \cdot 17{,}28} + \frac{1{,}272}{17{,}28} = 0{,}63 \leq 1{,}0$$

VYHOVUJE



Místo: **D3**

$N_{Ed} = -155{,}240$ kN (KZ 39)

$M_{y,Ed} = 6{,}010$ kNm

$M_{z,Ed} = 0{,}206$ kNm → lze zanedbat

Vzpěr k ose *y*:

$l_{ef,z} = 3\,958$ mm

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{3958}{28{,}87} = 137{,}11$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{137{,}11}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9700}} = 2{,}17$$

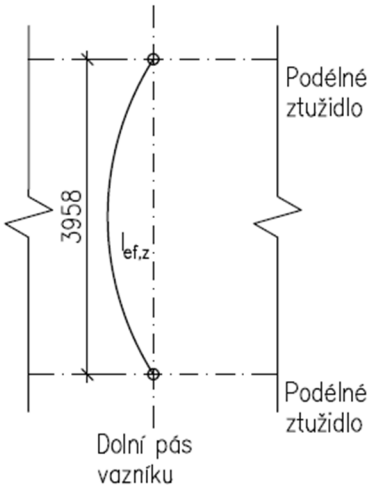
$$k_z = 0{,}5 \cdot (1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0{,}3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0{,}5 \cdot (1 + 0{,}1\,(2{,}17 - 0{,}3) + 2{,}17^2) = 2{,}950$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{2{,}950 + \sqrt{2{,}950^2 - 2{,}17^2}} = 0{,}202$$

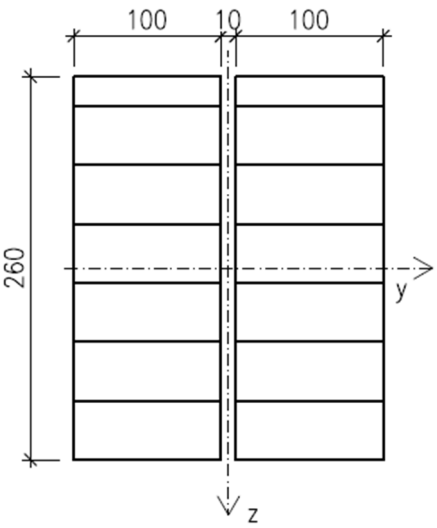
$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{155{,}240 \cdot 10^3}{52000} = 2{,}985\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{6{,}010 \cdot 10^6}{2{,}2533\ \cdot\ 10^6} = 2{,}667\ \text{MPa}$$



$$\frac{2{,}985}{0{,}202 \cdot 17{,}28} + \frac{2{,}667}{17{,}28} = 1{,}0 \leq 1{,}0$$

VYHOVUJE



3.4.4. Diagonála Di1

- **Průřezové charakteristiky**

Členěný průřez 2x 100x260 mm:

$A_i = 100 \cdot 260 = 26\,000\ mm^2$

$A = 100 \cdot 260 \cdot 2 = 52\,000\ mm^2$

$I_y = 2 \cdot \frac{1}{12}\ b \cdot h^3 = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 260^3 = 2{,}929 \cdot 10^8\ mm4$

$I_{i,z} = \frac{1}{12}\ b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 260 \cdot 100^3 = 2{,}167 \cdot 10^7\ mm^4$

$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{2{,}929 \cdot 10^8}{130} = 2{,}2533 \cdot 10^6\ mm^3$

$W_{i,z} = \frac{I_{i,z}}{y} = \frac{2{,}167 \cdot 10^7}{50} = 433\,333\ mm^3$

$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2{,}929 \cdot 10^8}{52000}} = 75{,}06$

$i_{i,z} = \sqrt{\frac{I_{i,z}}{A}} = \sqrt{\frac{2{,}167 \cdot 10^7}{26000}} = 28{,}87$

- **Vnitřní síly**

$N_{Ed} = -288{,}371\ kN$ (KZ 45)

$N_{Ed} = 112{,}747\ kN$ (KZ 57)

POSOUZENÍ:

- **Posouzení na tah**

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{112{,}747 \cdot 10^3}{52000} = 2{,}168\ MPa$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{2{,}168}{11{,}880} = 0{,}18 \leq 1$$

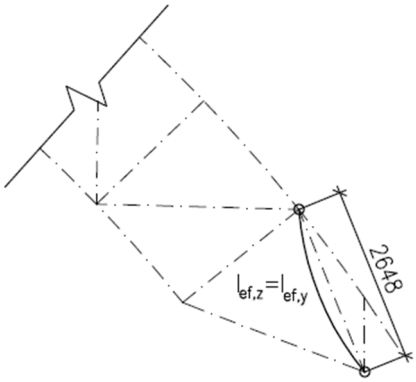
<u>VYHOVUJE</u>

POSOUZENÍ STABILITY:

- **Posouzení na vzpěr**

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$



$l_{ef,y} = l_{ef,z} = 2648$ mm → posouzení k ose menší tuhosti (osa z)

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{2648}{28{,}87} = 91{,}73$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{91{,}73}{\pi}\cdot\sqrt{\frac{24}{9700}} = 1{,}45$$

$$k_z = 0{,}5\cdot(1+\beta_c(\lambda_{rel,y}-0{,}3)+\lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_z = 0{,}5\cdot(1+0{,}1\,(1{,}45-0{,}3)+1{,}45^2) = 1{,}609$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z+\sqrt{k_z^2-\lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1{,}609+\sqrt{1{,}609-1{,}45^2}} = 0{,}434$$

$$N_{Ed} = \frac{-288{,}371}{2} = -144{,}186\ \text{kN}$$

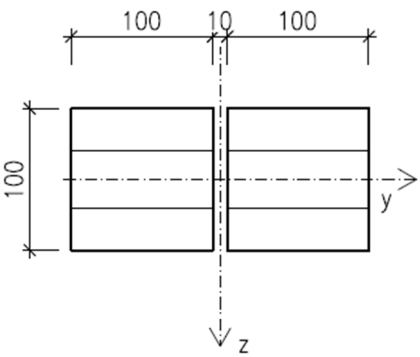
$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{144{,}186\cdot 10^3}{26000} = 5{,}546\ \text{MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}\cdot f_{c,0,d}} = \frac{5{,}546}{0{,}434\cdot 17{,}28} = 0{,}74 \le 1$$

<u>VYHOVUJE</u>

3.4.5. Diagonály Di2 - Di15



- **Průřezové charakteristiky**

Členěný průřez 2x 100x100 mm:

$A_i = 100\cdot 100 = 10\,000\ \text{mm}^2$

$A = 100\cdot 100\cdot 2 = 20\,000\ \text{mm}^2$

$I_y = 2\cdot\frac{1}{12}\,b\cdot h^3 = 2\cdot\frac{1}{12}\cdot 100\cdot 100^3 = 1{,}6667\cdot 10^7$ mm4

$I_{i,z} = \frac{1}{12}\,b\cdot h^3 = \frac{1}{12}\cdot 100\cdot 100^3 = 8{,}333\cdot 10^6\ \text{mm}^4$

$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{1{,}6667\cdot 10^7}{50} = 333\,333\ \text{mm}^3$

$W_{i,z} = \frac{I_{i,z}}{y} = \frac{8{,}333\cdot 10^6}{50} = 166\,666\text{mm}^3$

$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1{,}6667\cdot 10^7}{10000}} = 28{,}87$

$i_{i,z} = \sqrt{\frac{I_{i,z}}{A}} = \sqrt{\frac{8{,}333\cdot 10^6}{20000}} = 28{,}87$

POSOUZENÍ

- **Posouzení na tah**

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

Místo: **Di2**

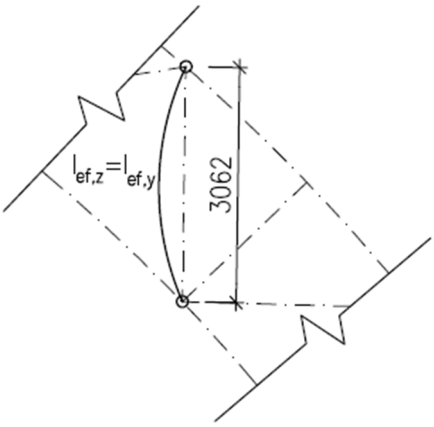
$N_{Ed} = 59{,}617\ kN$ (KZ 57)

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{59{,}617 \cdot 10^3}{20000} = 2{,}981 MPa$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{2{,}981}{11{,}88} = 0{,}25 \ \leq 1$$

<u>VYHOVUJE</u>



- **Posouzení na vzpěr**

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

Místo: **Di3**

$N_{Ed} = -62{,}974\ kN$ (KZ 47)

$l_{ef,y} = l_{ef,z} = 3062\ mm,\ i_y = i_z = 28{,}87$ → vzpěr k oběma osám shodný

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} = \frac{3062}{28{,}87} = 106{,}07$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{106{,}07}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9700}} = 1{,}68$$

$$k = 0{,}5 \cdot (1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0{,}3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k = 0{,}5 \cdot (1 + 0{,}1\ (1{,}68 - 0{,}3) + 1{,}68^2) = 2{,}037$$

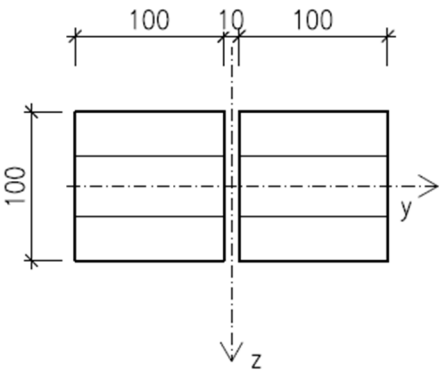
$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{2{,}037 + \sqrt{2{,}037 - 1{,}68^2}} = 0{,}314$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{62{,}974 \cdot 10^3}{20000} = 3{,}149\ MPa$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = \frac{3{,}149}{0{,}314 \cdot 17{,}28} = 0{,}58 \leq 1$$

<u>VYHOVUJE</u>



3.4.6. Vertikála

- **Průřezové charakteristiky**

Členěný průřez 2x 100x100 mm:

$A_i = 100 \cdot 100 = 10\,000\ mm^2$

$A = 100 \cdot 100 \cdot 2 = 20\,000\ mm^2$

$I_y = 2 \cdot \frac{1}{12}\ b \cdot h^3 = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 100^3 = 1{,}6667 \cdot 10^7\ \ mm4$

$I_{i,z} = \frac{1}{12}\ b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 100^3 = 8{,}333 \cdot 10^6\ mm^4$

$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{1{,}6667 \cdot 10^7}{50} = 333\,333\ mm^3$

$W_{i,z} = \frac{I_{i,z}}{y} = \frac{8{,}333 \cdot 10^6}{50} = 166\,666 mm^3$

$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1{,}6667\ \cdot 10^7}{10000}} = 28{,}87$

$i_{i,z} = \sqrt{\frac{I_{i,z}}{A}} = \sqrt{\frac{8{,}333 \cdot 10^6}{20000}} = 28{,}87$

POSOUZENÍ:

- **Posouzení na tah**

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

Místo: **V1**

$N_{Ed} = 62{,}197\ kN$ (KZ 63)

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{62{,}197 \cdot 10^3}{20000} = 3{,}110\ MPa$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{3{,}108}{11{,}88} = 0{,}26\ \leq 1$$

<u>VYHOVUJE</u>

Místo: **V6** ... vazník čelní stěny

$N_{Ed} = 8{,}337\ kN$ (KZ 39)

Přídavná síla od vertikály podélného ztužidla:

$N_{p,tEd} = 17{,}246\ kN$ (viz str.70)

$N_{Ed} = 8{,}337 + 17{,}246 = 25{,}583\ kN \leq N_{Ed}(V1) = 62{,}197\ kN$

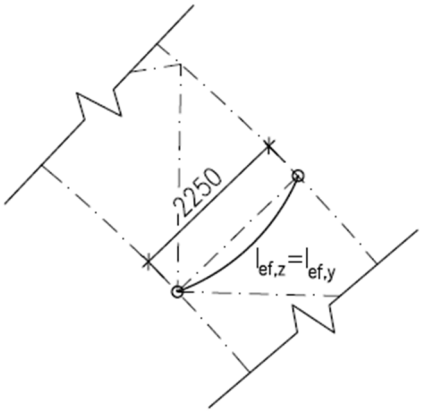
<u>VYHOVUJE</u>

POSOUZENÍ STABILITY

- **Posouzení na vzpěr**

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$



Místo: **V4**

$N_{Ed} = -17{,}571\ \text{kN}$ (KZ 63)

$l_{ef,y} = l_{ef,z} = 2250\ \text{mm},\ i_y = i_z = 28{,}87$ → vzpěr k oběma osám shodný

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} = \frac{2250}{28{,}87} = 77{,}94$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{77{,}94}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9700}} = 1{,}23$$

$$k = 0{,}5 \cdot (1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0{,}3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k = 0{,}5 \cdot (1 + 0{,}1\ (1{,}23 - 0{,}3) + 1{,}23^2) = 1{,}303$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1{,}303 + \sqrt{1{,}303^2 - 1{,}23^2}} = 0{,}577$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{17{,}571 \cdot 10^3}{20000} = 0{,}879\ \text{MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{0{,}879}{0{,}577 \cdot 17{,}28} = 0{,}09 \leq 1$$

<u>VYHOVUJE</u>

Místo: **V6** ... vazník čelní stěny

$N_{E,d} = -3{,}893\ \text{kN}$ (KZ 39)

Přídavná síla od vertikály podélného ztužidla:

$N_{E,p,c,d} = -17{,}220\ \text{kN}$ (viz str.70)

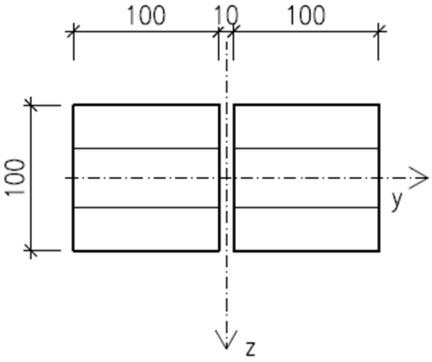
$N_{Ed} = -(3{,}893 + 17{,}220) = 21{,}113\ \text{kN}$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{21{,}113 \cdot 10^3}{20000} = 1{,}056\ \text{MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{1{,}056}{0{,}577 \cdot 17{,}28} = 0{,}11 \leq 1$$

VYHOVUJE



3.4.7. Koncová vertikála KV

- **Průřezové charakteristiky**

Členěný průřez 2x 100x100 mm:

$A_i = 100 \cdot 100 = 10\,000\ mm^2$

$A = 100 \cdot 100 \cdot 2 = 20\,000\ mm^2$

$I_y = 2 \cdot \frac{1}{12}\ b \cdot h^3 = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 100^3 = 1{,}6667 \cdot 10^7\ \ mm4$

$I_{i,z} = \frac{1}{12}\ b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 100^3 = 8{,}333 \cdot 10^6\ mm^4$

$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{1{,}6667 \cdot 10^7}{50} = 333\,333\ mm^3$

$W_{i,z} = \frac{I_{i,z}}{y} = \frac{8{,}333 \cdot 10^6}{50} = 166\,666 mm^3$

$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1{,}6667\ \cdot 10^7}{10000}} = 28{,}87$

$i_{i,z} = \sqrt{\frac{I_{i,z}}{A}} = \sqrt{\frac{8{,}333 \cdot 10^6}{20000}} = 28{,}87$

POSOUZENÍ:

- **Kombinace ohybu a osového tlaku**

Podmínka:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$N_{E,d} = -34{,}780\ kN$ (KZ 38)

$M_{y,Ed} = -1{,}121\ kNm$

$M_{z,Ed} = 0{,}015\ kNm$ → lze zanedbat

$N_{E,d} = \frac{N_{E,d}}{2} = \frac{-34{,}780}{2} = -17{,}390\ kN$

$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{17{,}390 \cdot 10^3}{10000} = 1{,}739\ MPa$

$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{1{,}121 \cdot 10^6}{333\,333} = 3{,}363\ MPa$

Posouzení:

$$\left(\frac{1{,}739}{17{,}28}\right)^2 + \frac{3{,}363}{17{,}28} = 0{,}20 \leq 1{,}0$$

VYHOVUJE

$N_{Ed} = -14{,}083\ kN$ (KZ 39)

$M_{y,Ed} = -2{,}174\ kNm$

$M_{y,Ed} = 0{,}079\ kNm$ → lze zanedbat

$$N_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{14{,}083}{2} = 7{,}042\ kN$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{7{,}042 \cdot 10^3}{10000} = 0{,}704\ MPa$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{2{,}174 \cdot 10^6}{333\,333} = 6{,}522\ MPa$$

Posouzení:

$$\left(\frac{0{,}704}{17{,}28}\right)^2 + \frac{6{,}522}{17{,}28} = 0{,}38 \leq 1{,}0$$

VYHOVUJE

- **Tah**

$N_{Ed} = 32{,}401\ kN$ (KZ 57)

$M_{y,Ed} = 0{,}126\ kNm$ → lze zanedbat

$M_{z,Ed} = 0{,}090\ kNm$ → lze zanedbat

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{E,d}}{A} = \frac{32{,}401 \cdot 10^3}{20000} = 1{,}620\ MPa$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{1{,}620}{11{,}88} = 0{,}14 \leq 1$$

VYHOVUJE

- **Smyk**

$V_{z,Ed} = 3{,}563\ kN$ (KZ 69)

$V_{y,Ed} = 0{,}629\ kN$

$$V_{Ed} = \sqrt{{V_{y,Ed}}^2 + \left(\frac{V_{z,Ed}}{2}\right)^2} = \sqrt{0{,}629^2 + \left(\frac{3{,}563}{2}\right)^2} = 1{,}889\ kN$$

Podmínka:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\tau_d = 1{,}5 \cdot \frac{V_{Ed}}{A_i} = 1{,}5 \cdot \frac{1889}{10000} = 0{,}283\ MPa$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0{,}283}{1{,}944} = 0{,}15 \leq 1$$

VYHOVUJE

POSOUZENÍ STABILITY

- **Kombinace tlaku a ohybu**

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$N_{Ed} = -34{,}780$ kN (KZ 57)

$M_{y,Ed} = -1{,}121$ kNm

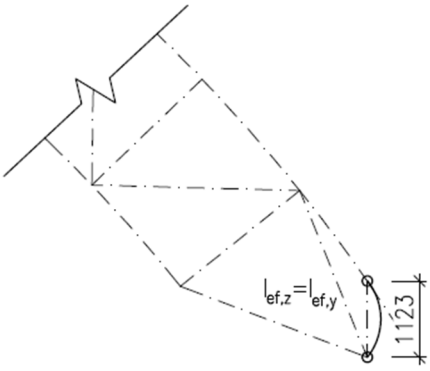
$M_{z,Ed} = 0{,}015$ kNm → lze zanedbat

$l_{ef,y} = l_{ef,z} = 1123$ mm, $i_y = i_z = 28{,}87$ → vzpěr k oběma osám je totožný

Vzpěr k ose *z*:

$l_{ef,z} = 1123$ mm

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{1123}{28{,}87} = 38{,}90$$



$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{38{,}29}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9700}} = 0{,}61$$

$$k_z = 0{,}5 \cdot (1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0{,}3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0{,}5 \cdot (1 + 0{,}1\,(0{,}61 - 0{,}3) + 0{,}61^2) = 0{,}702$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0{,}702 + \sqrt{0{,}702^2 - 0{,}61^2}} = 0{,}95$$

$$N_{E,d} = \frac{N_{E,d}}{2} = \frac{-34{,}780}{2} = -17{,}390 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{E,d}}{A} = \frac{17{,}390 \cdot 10^3}{10000} = 1{,}739 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{E,y,d}}{W_y} = \frac{1{,}121 \cdot 10^6}{333\,333} = 3{,}363 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{1{,}739}{0{,}95 \cdot 17{,}28} + \frac{3{,}363}{17{,}28} = 0{,}21 \leq 1{,}0$$

VYHOVUJE

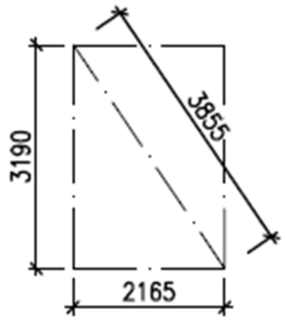
3.5. Příčné ztužidlo

Příčné ztužidlo přenáší do podpor účinky od zatížení větrem na čelní stěnu, stabilizační síly tlačeného horního pásu vazníků a tření na střešním plášti od větru v podélném směru. Pro posouzení je také nutné započítat zatížení od táhel stabilizující dolní pás příhradových sloupů.

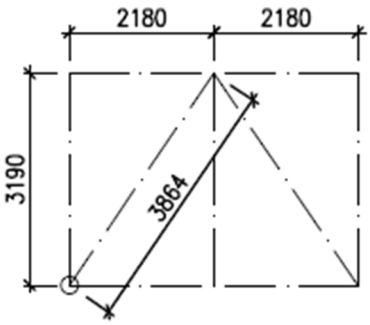
Při nárazu větru na čelní stěnu jsou dolní pásy sloupů této stěny taženy, druhá čelní stěna je však zatížena sáním a dolní pásy vazníků jsou zde tlačeny. Stabilizační síly jsou přenášeny táhly, která jsou kotvena do nosného železobetonového rámu, od úrovně podpor vazníků výše pak k vertikálám čelního vazníku, kde dochází k přenosu sil do segmentů podélného ztužení a následného přenosu do ztužení příčného. Zatížení od táhel působí proti směru působícího větru a je tedy z hlediska příčného ztužidla příznivé, při posouzení nebude na stranu bezpečnou uvažováno.

3.5.1. Geometrie

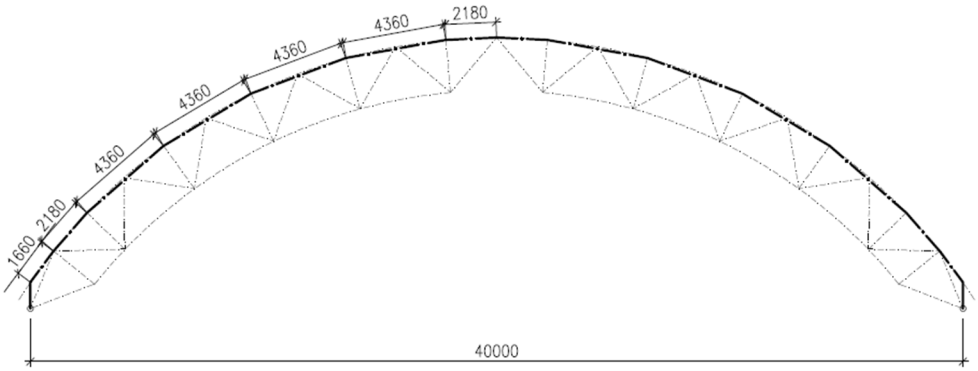
Příčné ztužidlo je umístěno v rovině horního pásu vazníků a skládá se z jednotlivých prefabrikovaných segmentů, které společně tvoří lomený příhradový nosník. Horní a dolní pásy segmentů jsou konstrukční a slouží pro připojení a následnému přenosu sil do horního pásu vazníků.

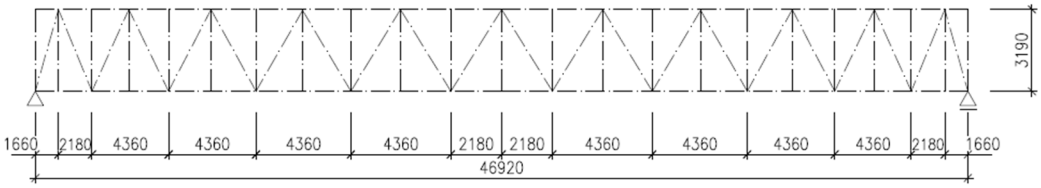


Segment B3



Segment B4





3.5.2. Materiál

Lepené lamelové dřevo GL24h

Modul pružnosti	E = 11 600,000 MPa
Smykový modul	G = 720,000 MPa
Objemová tíha	γ = 3,70 kN·m^{-3}
Charakteristická pevnost v ohybu	$f_{m,k}$ = 24,000 MPa
Charakteristická pevnost v tahu	$f_{t,0,k}$ = 16,500 MPa
Charakteristická pevnost v tahu kolmo k vláknům	$f_{t,90,k}$ = 0,400 MPa
Charakteristická pevnost v tlaku	$f_{c,0,k}$ = 24,000 MPa
Charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům	$f_{c,90,k}$ =2,700 MPa
Charakteristická pevnost ve smyku/krutu	$f_{v,k}$ = 2,700 MPa
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$ = 11600MPa
Modul pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean}$ = 390,000 MPa
Smykový modul	G_{mean} = 720,000 MPa
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,05}$ = 9700,000 MPa
Modul pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,05}$ = 325,000 MPa
Smykový modul	$G_{0,05}$ = 464,000 MPa
Hustota	ρ = 380,0 kg·m^{-3}
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean} = 437,0 kg·m^{-3}

Třída provozu: 1

Modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti k_{mod} = 0,90

Dílčí součinitel spolehlivosti vlastnosti materiálu $\gamma_M = 1{,}25$

$$f_{c,o,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{24}{1{,}25} = 17{,}280 \text{ MPa}$$

$$f_{t,o,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{16{,}5}{1{,}25} = 11{,}880 \text{ MPa}$$

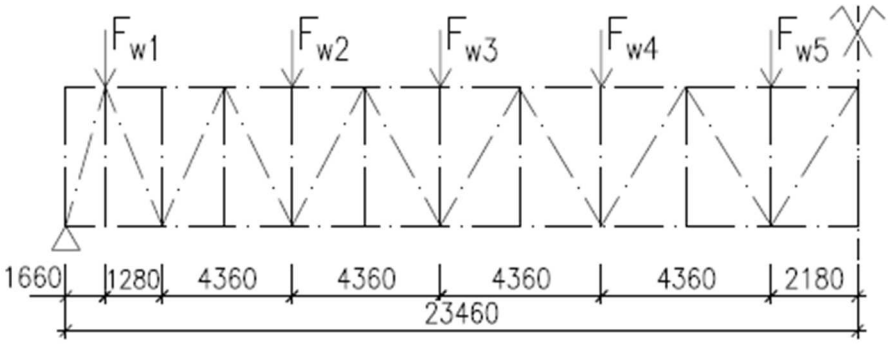
3.5.3. Zatížení

- **Vítr**

Zatížení od větru v podélném směru bylo rozpočítáno na paždíky, které ve styčnících zatěžují příhradové sloupy. Reakce v místě uložené sloupů k vazníků poté byly získány ze software RFEM.

Náraz větru v podélném směru zatěžuje čelní stěnu tlakem (oblast D) a protilehlou stěnu sáním (oblast E).

$F_{w,i}$	D	E
	[kN]	[kN]
1	5,261	2,324
2	12,312	4,538
3	14,175	6,262
4	17,539	7,747
5	17,188	7,594



Zatížení příčného ztužidla se zakótovanými délkami jednotlivých segmentů

- **Stabilizující síly**

Stabilizující zatížení bude do příčného ztužidla přenášeno systémem podélného ztužení a rozpěr.

$$q_d = k_l \cdot \frac{n \cdot N_d}{k_{f,3} \cdot l} = 0{,}55 \cdot \frac{6 \cdot 202{,}246}{30 \cdot 46{,}920} = 0{,}474\ \mathrm{kN \cdot m^{-1}}$$

$k_{f,3} = 30$

$l = 2 \cdot 23{,}460 = 46{,}920$ m

$$k_l = \min\left\{\begin{matrix} 1 \\ \sqrt{\frac{15}{l}} \end{matrix}\right. = \min\left\{\begin{matrix} 1 \\ \sqrt{\frac{15}{46{,}920}} \end{matrix}\right. = \min\left\{\begin{matrix} 1 \\ 0{,}57 \end{matrix}\right. = 0{,}57$$

$$n = \frac{\text{počet vazníků}}{\text{počet příčných ztužidel}} = \frac{18}{3} = 6$$

$$N_d = \frac{\Sigma N_i \cdot l_i}{\Sigma l_i} = \frac{4713{,}262}{23{,}305} = 202{,}246\ \mathrm{kN}$$

Zkombinované zatěžovací stavy:

ZS1 Vlastní tíha

ZS2 Ostatní stálé

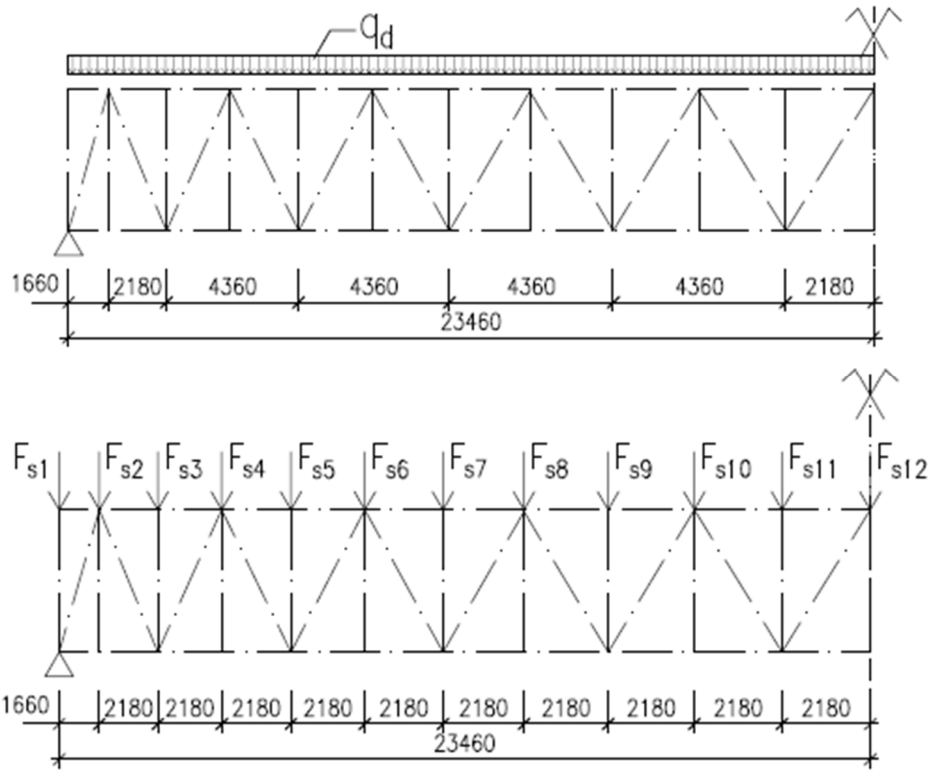
ZS4 Sníh rovnoměrný

Délka l_i	ZS1	ZS2	ZS4	1,35·(ZS1+ZS2)+1,5·ZS4	
	[kN]	[kN]	[kN]	N_i [kN]	$N_i \cdot l_i$
1,660	3,919	5,762	7,668	24,571	40,78844
2,180	37,747	51,784	73,178	230,634	502,7818
2,180	34,886	48,625	68,349	215,263	469,2741
2,180	33,257	45,891	65,302	204,803	446,4701
2,180	31,777	43,268	60,779	192,479	419,6048
2,180	33,981	46,190	68,429	210,874	459,7061
2,180	32,490	44,220	64,639	200,517	437,1271
2,180	34,556	48,551	74,260	223,584	487,4141
2,180	33,659	47,300	71,671	216,801	472,6265
2,180	35,242	50,608	78,593	233,787	509,6557
2,025	34,857	50,116	77,537	231,019	467,8136
23,305	Σ				4713,262

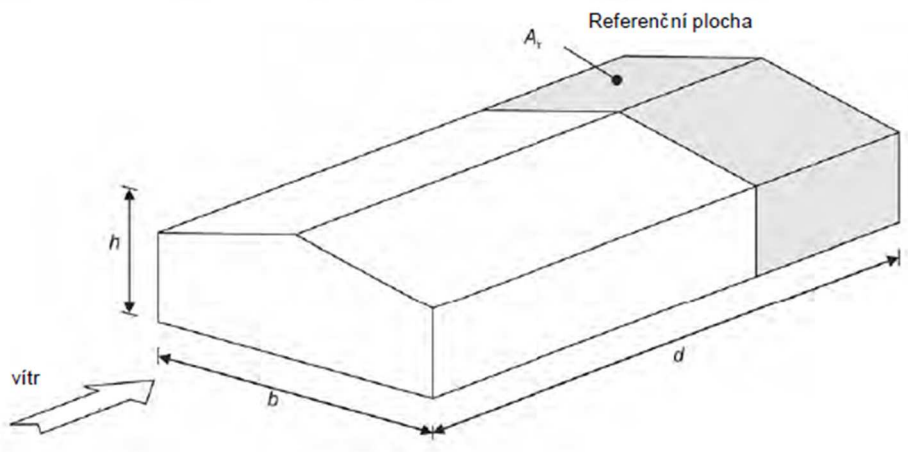
$$F_{s,1} = q_d \cdot b = 0{,}474 \cdot \frac{1.660}{2} = 0{,}393\ \text{kN}$$

$$F_{s,2} = q_d \cdot b = 0{,}474 \cdot \frac{1{,}660 + 2{,}180}{2} = 0{,}910\ \text{kN}$$

$$F_{s,3-12} = q_d \cdot b = 0{,}474 \cdot 2{,}180 = 1{,}033\ \text{kN}$$



- **Tření na střešním plášti**



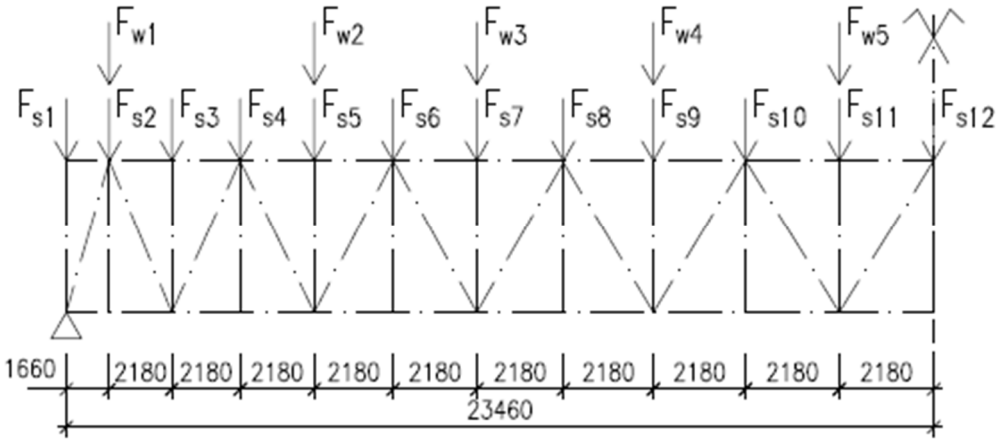
Délka střešního oblouku $l_o = 49{,}350\ \mathrm{m}$

Tření působí na ploše A_{fr} vzdálené od návětrné strany budovy ve vzdálenosti rovné menší z hodnot 2·b;4·h

$\min(2b; 4h) = \min(2 \cdot 41; 4 \cdot 17{,}525) = \min(82; 70{,}1) = 70{,}1\ \mathrm{m} \geq 60\ \mathrm{m}$

→ **bez vlivu tření na konstrukci**

Zatížení stabilizujícími silami je shodné pro všecha příčná ztužidla, rozhodující proto bude zatížení od podélného větru, které dosahuje největších hodnot při nárazu na návětrnou čelní stěnu.



3.5.4. Vnitřní síly

Vnitřní síly byly získány po zatížení dodatečném zatížení prostorového modelu stabilizujícími silami v místech příčného ztužení:

Prvek	Normálové síly [kN]		
	ZS6 - Vítr podél	ZS-S Stabilizační	1,5·ZS6 + ZS-S
Diagonála	-52,198	-17,664	**-95,961**
	53,833	17,084	**97,834**
HP (vrchol)	-45,240	-12,945	**-80,805**
Vertikála	-5,455	-3,345	**-11,528**
	6,255	1,854	**11,237**

Maximální tahové síly bylo dosaženo v diagonále segmentu 3.

Maximální tlakové síly bylo dosaženo v diagonále segmentu 2.

3.5.5. Diagonála

- **Průřezové charakteristiky**

Průřez: **160x120** mm

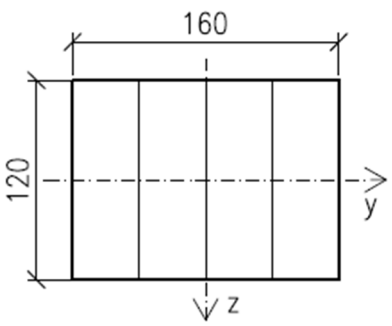
$A = 100 \cdot 160 = 19200\ mm^2$

$I_y = \frac{1}{12}\, b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 160 \cdot 120^3 = 2{,}304 \cdot 10^7\ mm4$

$I_z = \frac{1}{12}\, b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 160^3 = 4{,}096 \cdot 10^7\ mm4$

$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2{,}304 \cdot 10^7}{19200}} = 34{,}64$

$i_{i,z} = \sqrt{\frac{I_{i,z}}{A}} = \sqrt{\frac{4{,}096 \cdot 10^6}{19200}} = 46{,}19$



POSOUZENÍ

- **Tah**

Podmínka:

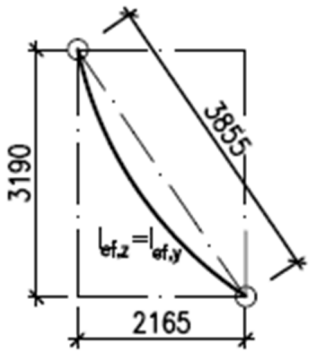
$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{97{,}834 \cdot 10^3}{19200} = 5{,}10\ MPa$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{5{,}10}{11{,}88} = 0{,}43 \leq 1$$

<u>VYHOVUJE</u>



POSOUZENÍ STABILITY

Vzpěrná délka je k oběma osám stejná, posouzení bude provedeno k ose menší tuhosti.

- **Vzpěr k ose *y*:**

$l_{ef,y} = 3855\ \text{mm}$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{3855}{34{,}64} = 111{,}28$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{111{,}28}{\pi}\cdot\sqrt{\frac{24}{9700}} = 1{,}76$$

$$k_y = 0{,}5\cdot(1+\beta_c(\lambda_{rel,z}-0{,}3)+\lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_y = 0{,}5\cdot(1+0{,}1\,(1{,}76-0{,}3)+1{,}76^2) = 2{,}125$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y+\sqrt{k_y^2-\lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{2{,}125+\sqrt{2{,}125-1{,}76^2}} = 0{,}302$$

$N_{Ed} = -95{,}961\ \text{kN}$

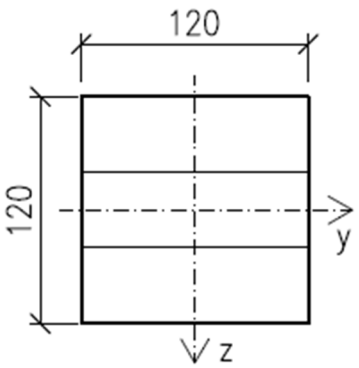
$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{95{,}961\cdot 10^3}{19200} = 5{,}00\ \text{MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}\cdot f_{c,0,d}} = \frac{5{,}00}{0{,}302\cdot 17{,}28} = 0{,}96 \le 1$$

VYHOVUJE

3.5.6. Vertikála



Vertikála je tvořena dvěma průřezy 120x120 mm sousedních segmentů ztužidla. Vzájemně však nejsou propojeny a síla je rozpočítána do obou průřezů.

- **Průřezové charakteristiky**

Průřez **120x120** mm:

$A = 120\cdot 120 = 14400\ \text{mm}^2$

$I_y = I_z = \frac{1}{12}\,b\cdot h^3 = \frac{1}{12}\cdot 120\cdot 120^3 = 1{,}728\cdot 10^7\ \text{mm4}$

$$i_y = i_z = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1{,}728\cdot 10^7}{14400}} = 34{,}64$$

POSOUZENÍ

- **Tah**

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{c,0,d}} \le 1$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{11{,}237 \cdot 10^3}{14400} = 0{,}780 \text{ MPa}$$

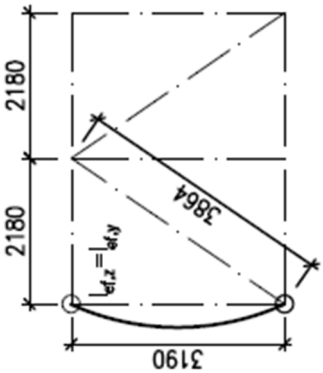
Posouzení:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{0{,}780}{11{,}88} = 0{,}07 \ \leq 1$$

VYHOVUJE

POSOUZENÍ STABILITY

Vzpěrná délka, moment setrvačnosti a tedy i poloměr setrvačnosti jsou k oběma osám stejné.



- **Vzpěr k ose y:**

$l_{ef,y} = 3190 \text{ mm}$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{3190}{34{,}64} = 92{,}09$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{92{,}09}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9700}} = 1{,}46$$

$$k_y = 0{,}5 \cdot (1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0{,}3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_y = 0{,}5 \cdot (1 + 0{,}1\,(1{,}46 - 0{,}3) + 1{,}46^2) = 1{,}621$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1{,}621 + \sqrt{1{,}621 - 1{,}46^2}} = 0{,}429$$

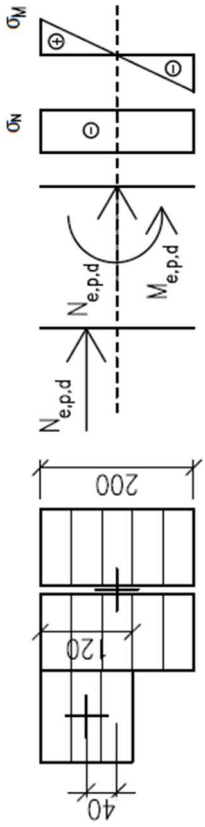
$N_{Ed} = -11{,}528 \text{ kN}$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{11{,}528 \cdot 10^3}{14400} = 0{,}80 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{0{,}80}{0{,}429 \cdot 17{,}28} = 0{,}11 \leq 1$$

VYHOVUJE



3.5.7. Horní a dolní pás

Horní a dolní pás příčného ztužidla je pouze konstrukční a slouží pro fixaci segmentů a přenos přídavné normálové síly a ohybového momentu do horního pásu vazníků. Maximální normálová síla se vyskytuje ve vrcholu ztužidla a tedy i vazníku.

Průřez **120x120** mm.

Přídavné vnitřní síly vnesené do horního pásu ve vrcholu vazníku:

$N_{p,Ed} = -80{,}805 \text{ kN}$

$M_{p,Ed} = N_{p,Ed} \cdot e = -80{,}805 \cdot 0{,}040 = -3{,}232$ kNm

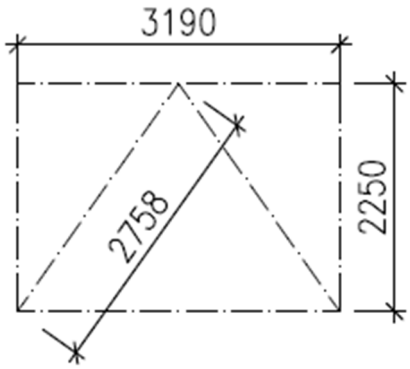
3.6. Podélné ztužidlo

Podélné ztužidlo se skládá z příhradových segmentů vkládaných mezi vazníky v místě vertikál. Podélné ztužení přenáší stabilizující síly v úrovni horního pasu a zatížení od větru na čelní stěny do příčného ztužidla.

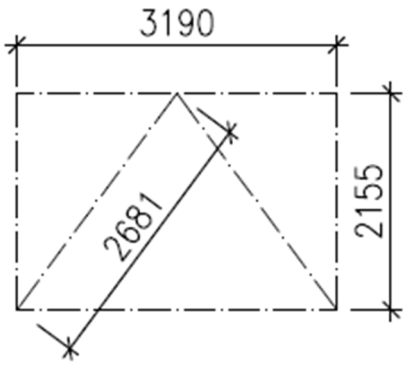
3.6.1. Geometrie

Segmety jsou tvořeny horním a dolním pásem a dvojicí diagonál, které se sbíhají ve středu horního pásu. Koncové vertikály odpovídají vertikálám vazníků. Segment je tedy tvořen pouze horním a dolním pásem se 2 diagonálami.

V místě příčného ztužení je nutné snížení segmentů o šířku prvků příčného ztužidla.



Osové schéma běžného segmentu



Osové schéma sníženého segmentu

3.6.2. Materiál

Rostlé dřevo pevnostní třídy C24

Modul pružnosti	E = 11000,000 MPa
Smykový modul	G = 690,000 MPa
Objemová tíha	γ = 4,20 kN·m^{-3}
Charakteristická pevnost v ohybu	$f_{m,k}$ = 24,000 MPa
Charakteristická pevnost v tahu	$f_{t,0,k}$ = 14,000 MPa
Charakteristická pevnost v tahu kolmo k vláknům	$f_{t,90,k}$ = 0,400 MPa
Charakteristická pevnost v tlaku	$f_{c,0,k}$ = 21,000 MPa
Charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům	$f_{c,90,k}$ =2,500 MPa
Charakteristická pevnost ve smyku/krutu	$f_{v,k}$ = 4,000 MPa

Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$ = 11000MPa
Modul pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean}$ = 370,000 MPa
Smykový modul	G_{mean} = 690,000 MPa
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,05}$ = 7400,000 MPa
Modul pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,05}$ = 247,000 MPa
Smykový modul	$G_{0,05}$ = 464,000 MPa
Hustota	ρ = 350,0 kN·m^{-3}
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean} = 420,0 kN·m^{-3}

Třída provozu: 1

Modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti k_{mod} = 0,90

Dílčí součinitel spolehlivosti vlastnosti materiálu $\gamma_M = 1{,}3$

$$f_{c,o,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{21}{1{,}30} = 14{,}538 \text{ MPa}$$

$$f_{t,o,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{14{,}0}{1{,}30} = 9{,}692 \text{ MPa}$$

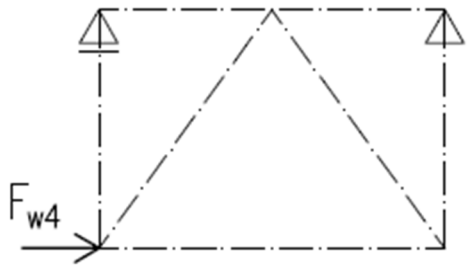
3.6.3. Zatížení

Pro posouzení byl vybrán segment nacházející se pod příčným ztužidlem návětrné čelní stěny v místě, kde uložení sloupu k dolnímu pásu vazníku vyvozuje působením větru největší reakci.

Byl vytvořen zjednodušený statický model krajního segmentu. Ve skutečnosti se bude část sil přenášet konstrukcí k dalším příčným ztužidlům.

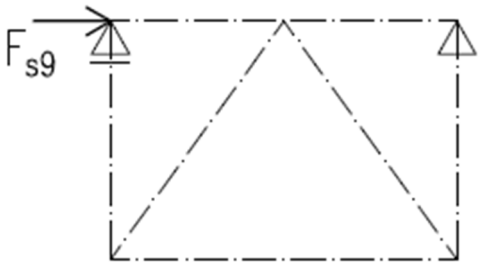
- **Zatížení větrem**

Zatížení silou: $F_{w,4,k} = 17{,}539$ kN v úrovni dolního pásu.



- **Stabilizující síla**

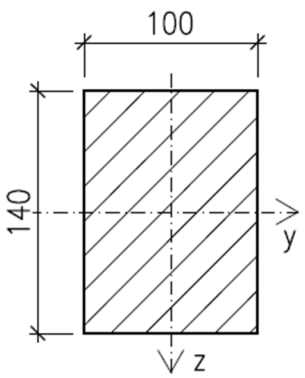
Zatížení silou: $F_{s,9} = 1{,}033$ kN v úrovni horního pásu



3.6.4. Vnitřní síly

Model byl vymodelován a zatížen v software RFEM, odkud byly také získány vnitřní síly:

Prvek	Normálové síly [kN]		
	ZS6 - Vítr podél	ZS-S Stabilizační	1,5·ZS6 + ZS-S
Diagonála	-14,464	0	**-21,696**
	14,442	0	**21,663**
HP	-17,539	-1,033	**-27,342**
DP	-8,763	0	**-13,145**
Vertikála	-11,48	0	**-17,220**
	11,497	0	**17,246**



3.6.5. Horní pás

Průřez: **100x140** mm

$A = 100 \cdot 140 = 14\,000\ \mathrm{mm}^2$

$I_y = \frac{1}{12}\, b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 140^3 = 2{,}2867 \cdot 10^7\ \mathrm{mm4}$

$I_z = \frac{1}{12}\, b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 140 \cdot 100^3 = 1{,}167 \cdot 10^7\ \mathrm{mm4}$

$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2{,}2867 \cdot 10^7}{14000}} = 40{,}41$

$i_{i,z} = \sqrt{\frac{I_{i,z}}{A}} = \sqrt{\frac{1{,}167 \cdot 10^6}{14000}} = 28{,}87$

POSOUZENÍ

- **Tlak**

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{27{,}342 \cdot 10^3}{14\,000} = 1{,}953\ \mathrm{MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{1{,}953}{14{,}538} = 0{,}13 \leq 1$$

<u>VYHOVUJE</u>

POSOUZENÍ STABILITY

- Vzpěr k ose y:

$l_{ef,y} = l_{ef,z} = 3190\ \text{mm}$ → posouzení k ose menší tuhosti (osa z)

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{3190}{28{,}87} = 110{,}49$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{110{,}495}{\pi}\cdot\sqrt{\frac{21}{7400}} = 1{,}87$$

$$k_z = 0{,}5\cdot(1+\beta_c(\lambda_{rel,y}-0{,}3)+\lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_z = 0{,}5\cdot(1+0{,}2\,(1{,}87-0{,}3)+1{,}87^2) = 2{,}413$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z+\sqrt{k_z^2-\lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{2{,}413+\sqrt{2{,}413^2-1{,}87^2}} = 0{,}254$$

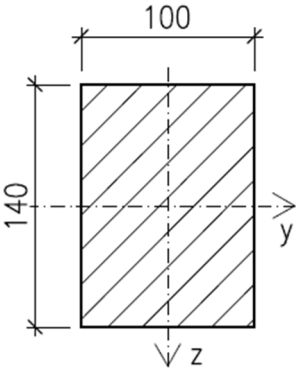
$$N_{Ed} = -27{,}342\ \text{kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{27{,}342\cdot 10^3}{14000} = 1{,}953\ \text{MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}\cdot f_{c,0,d}} = \frac{1{,}953}{0{,}254\cdot 14{,}538} = 0{,}53 \le 1$$

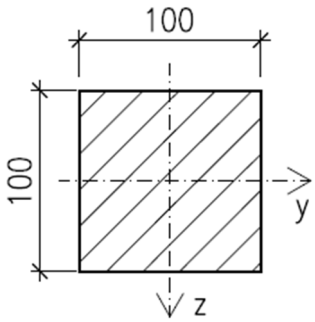
VYHOVUJE



3.6.6. Dolní pás

Dolní pás má stejný průřez i vzpěrnou délku jako pás horní. Je však namáhán menší tlakovou silou a na vzpěr tak vyhoví.

Průřez: **100x140** mm



3.6.7. Diagonála

Průřez **100x100** mm

$A = 100\cdot 100 = 10\,000\ \text{mm}^2$

$I_y = I_z = \cdot\frac{1}{12}\,b\cdot h^3 = \cdot\frac{1}{12}\cdot 100\cdot 100^3 = 8{,}333\cdot 10^6\ \text{mm4}$

$$i_y = i_z = \sqrt{\frac{I_{i,z}}{A}} = \sqrt{\frac{8{,}333\cdot 10^6}{10000}} = 28{,}87$$

POSOUZENÍ

- Tah

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{21{,}663 \cdot 10^3}{10000} = 2{,}166 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{2{,}166}{9{,}692} = 0{,}223 \leq 1$$

VYHOVUJE

- **Tlak**

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{21{,}696 \cdot 10^3}{10000} = 2{,}170 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{2{,}170}{14{,}538} = 0{,}15 \leq 1$$

VYHOVUJE

POSOUZENÍ STABILITY

Vzpěrná délka, moment setrvačnosti a tedy i poloměr setrvačnosti jsou k oběma osám stejné.

- **Vzpěr k ose y:**

$$l_{ef,y} = l_{ef,z} = 2681 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{2681}{28{,}87} = 92{,}86$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{92{,}86}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1{,}575$$

$$k_z = 0{,}5 \cdot (1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0{,}3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_z = 0{,}5 \cdot (1 + 0{,}2\,(1{,}575 - 0{,}3) + 1{,}575^2) = 1{,}868$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1{,}868 + \sqrt{1{,}868^2 - 1{,}575^2}} = 0{,}348$$

$$\sigma_{c,0,d} = 2{,}170 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{2{,}170}{0{,}348 \cdot 14{,}538} = 0{,}43 \leq 1$$

VYHOVUJE

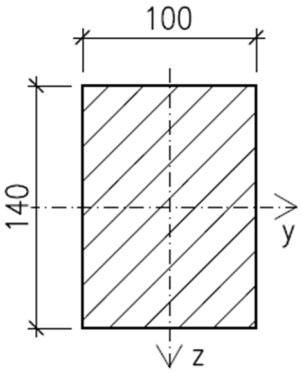
3.6.8. Vertikála

Vertikály podélného ztužení jsou tvořeny vertikálami vazníků. Získaná normálová síla tak bude přičtena k osové síle zatěžující vertikálu vazníku a provedeno posouzení. (viz str. 53)

Přídavné normálové síly vnesené do vertikály vazníku:

$N_{p,c,Ed} = -17{,}220\ \mathrm{kN}$

$N_{p,t,Ed} = 17{,}246\ \mathrm{kN}$

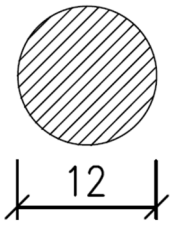


3.6.9. Rozpěra

Průřez rozpěry i její vzpěrná délka odpovídá hornímu pasu segmentu podélného ztužení. Rozpěra přenáší pouze stabilizující sílu $F_s = 1{,}033\ \mathrm{kN}$ a na vzpěr tak bezpečně vyhoví.

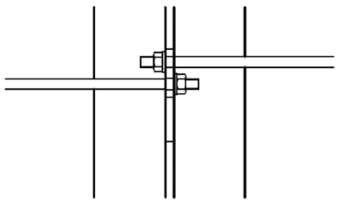
Průřez: **100x140** mm

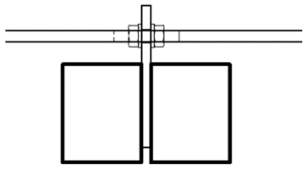
3.7. Táhlo



Systém táhel zajišťuje spodní pás sloupů v případě namáhání čelní stěny sáním větru. Délka táhla odpovídá vzdálenosti sloupů. Konce táhel jsou opatřeny závitem, protaženy otvorem v přesahující části styčníkove desky MKD a dotažené maticí s podložkou.

3.7.1. Průřezové a materiálové charakteristiky





$d = 12\ \mathrm{mm}$
$d_m = 19{,}4\ \mathrm{mm}$
$A = 113\ \mathrm{mm}^2$
$A_s = 84{,}3\ \mathrm{mm}^2$ plocha průřezu v místě závitu

Tyč: Ocel S235
$f_y = 235\ \mathrm{MPa}$
$f_u = 360\ \mathrm{MPa}$
MKD: Ocel S355
$f_y = 355\ \mathrm{MPa}$
$f_u = 490\ \mathrm{MPa}$

3.7.2. Zatížení

Návrhová síla pro posouzení táhla odpovídá stabilizující síle dolního pásu a je počítána stejným postupem jako v případě stabibilizace horního pásu vazníku.

- **Stálé**

Prosklení čelní stěny je uloženo v úrovni horního pásu sloupů, v dolním pásu tedy nevznikají žádné významné vnitřní normálové síly. Podobně i normálové síly v prutech dolního pasu nepřekračují hodnotu 0,15 kN.

→ lze zanedbat

- **Vítr**

Největší sání na čelních stěnách a tedy i namáhání dolního pasu tlakem způsobuje příčný vítr. Pro zjednodušení a návrh na stranu bezpečnou není uvažována oblast zatížení C, ale pouze oblasti A a B rozloženy na čelní stěnu symetricky podle osy symetrie procházející vrcholem oblouku a rovnoběžné s osou z.

Stabilizující zatížení pro polovinu soustavy:

$$q_d = k_l \cdot \frac{N_d}{k_{f,3} \cdot l} = 1 \cdot \frac{321{,}828}{30 \cdot 9{,}2} = 1{,}116\ \mathrm{kN \cdot m^{-1}}$$

$k_{f,3} = 30$

$$l = \frac{\Sigma l_i}{n} = \frac{4 + 8 + 10 + 12 + 12}{5} = 9{,}2\ \mathrm{m}$$

... průměrná délka dolního pasu všech sloupů

$n = 5$ ... počet sloupů

Sloup	N_i				
	a	b	c	d	e
l_i [m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
2,000	18,193	32,218	36,829	28,07	48,228
2,000	20,48	44,431	51,089	57,253	68,963
2,000	0	43,231	54,596	67,595	78,035
2,000	0	29,343	47,376	67,543	75,939
2,000	0	0	30,123	56,316	62,381
2,000	0	0	0	34,914	38,197
$\Sigma N_i \cdot l_i$	77,346	298,446	440,026	623,382	743,486

$$k_l = \min\left\{\begin{matrix} 1 \\ \sqrt{\frac{15}{l}} \end{matrix}\right. = \min\left\{\begin{matrix} 1 \\ \sqrt{\frac{15}{9{,}2}} \end{matrix}\right. = \min\left\{\begin{matrix} 1 \\ 1{,}28 \end{matrix}\right. = 1$$

Průměrné tlakové síly pro jednotlivé sloupy:

$$N_k(a) = \frac{\Sigma N_i \cdot l_i}{\Sigma l_i} = \frac{77{,}346}{4} = 19{,}337\ \mathrm{kN}$$

$$N_k(b) = \frac{\Sigma N_i \cdot l_i}{\Sigma l_i} = \frac{298{,}446}{8} = 37{,}306\ \mathrm{kN}$$

$$N_k(c) = \frac{\Sigma N_i \cdot l_i}{\Sigma l_i} = \frac{440{,}025}{10} = 44{,}003\ \mathrm{kN}$$

$$N_k(d) = \frac{\Sigma N_i \cdot l_i}{\Sigma l_i} = \frac{623{,}382}{12} = 51{,}949\ \mathrm{kN}$$

$$N_k(e) = \frac{\Sigma N_i \cdot l_i}{\Sigma l_i} = \frac{743{,}486}{12} = 61{,}957\ \mathrm{kN}$$

Největší zatížení přenese táhlo T2, které prochází všemi sloupy:

$N_k = N_k(a) + N_k(b) + N_k(c) + N_k(d) + N_k(e)$

$N_k = 19{,}337 + 37{,}306 + 44{,}003 + 51{,}949 + 61{,}957 = 214{,}552\ \mathrm{kN}$

$N_d = \gamma_Q \cdot N_k = 1{,}5 \cdot 214{,}552 = 321{,}828\ \mathrm{kN}$

Síla přenášená táhlem T2 pro celou soustavu:

$F_{t,Ed} = 2 \cdot q_d \cdot b = 2 \cdot 1{,}116 \cdot 2 = 4{,}464\ \mathrm{kN}$

3.7.3. Posouzení

Táhlo je namáháno pouze tahovou silou:
$F_{t,Ed} = 4{,}464\ kN$

Porušení nastane v místě závitu, táhlo tak bude posouzeno jako šroub M12 namáhaný tahem s materiálovými vlastnostmi odpovídající oceli S235.

- **Tah**

Podmínka:

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot f_u \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 360 \cdot 84{,}3}{1{,}25} = 21{,}851\ kN$$

Posouzení:

$$4{,}464\ kN \leq 21{,}851\ kN$$

<u>VYHOVUJE</u>

- **Protlačení**

Spoj namáhaný tahem → spoj kategorie D
Podmínka:

$$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0{,}6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}6 \cdot \pi \cdot 19{,}4 \cdot 10 \cdot 490}{1{,}25} = 143{,}347\ kN$$

$t_p = 10\ mm$ tloušťka desky MKD

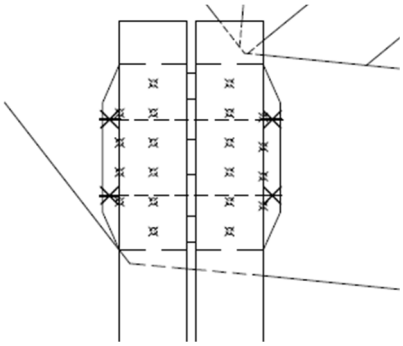
Posouzení:

$$4{,}464\ kN \leq 143{,}347\ kN$$

<u>VYHOVUJE</u>

4. SPOJE

4.1. Připojení sloupu - vazník

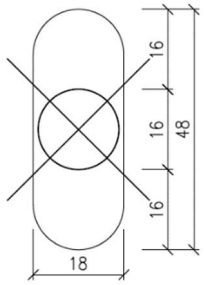


Sloup je připojen k dolnímu pásu vazníku pomocí T profilu ze dvou svařených plechů tl. 10 mm. K vazníku je profil připevněn vruty, sloup je připojen svorníky. Otvory pro svorníky jsou oválné z důvodu umožnění volného průhybu vazníku a zamezení přenášení sil z vazníku na sloup.

Maximální průhyb ve všech místech připojení sloupů získaný ze software RFEM: $w_{max} = 13{,}8\ \mathrm{mm}$

→ vůle pro svorník ve svislém směru = 16 mm

4.1.1. Materiál



Plech: Ocel S235

$f_y = 235\ \mathrm{MPa}$

$f_u = 360\ \mathrm{MPa}$

Svorníky: M16, pevnostní třída 4.6.

$f_{y,b} = 240\ \mathrm{MPa}$

$f_{u,b} = 400\ \mathrm{MPa}$

Vrut: RAPI-TEC do tesařského kování

d = 8 mm

d_1 = 5,3 mm jmenovitý vnitřní průměr závitu

l = 60 mm

l_z = 54 mm délka závitu

d_m = 18 mm jmenovitý průměr hlavy

4.1.2. Zatížení

$F_{Ed} = 29{,}253\ \mathrm{kN}$

4.1.3. Posouzení vrutů

Počet vrutů n = 20; úhel k vláknům α = 90°

Min. vzdálenost od okrajů 4 · d = 4 ·8 = 32 mm → volím 35 mm

Min. rozteč 4 · d = 4 ·8 = 32 mm → volím 35 mm

Charakteristická únosnost uvedená výrobcem:

$f_{ax,k} = 13{,}82\ \mathrm{MPa}$ na vytažení, zatížení kolmo k vláknům

$f_{head,k} = 27{,}07\ \mathrm{MPa}$ na protažení hlavy

$F_{t,Rk} = 26{,}78\ kN$ na přetržení vrutu

Charakteristická únosnost na vytažení spoje:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef}}{n}(\pi d_1 l_{ef})^{0,8} f_{ax,k} = \frac{5{,}02+4}{10}\cdot(\pi\cdot 5{,}3\cdot 46)^{0,8}\cdot 13{,}82 = 2{,}529\ kN$$

$n_{ef,1} = n^{0,9} = 6^{0,9} = 5{,}02$ účinný počet vrutů pro první řadu

$n_{ef,1} = n^{0,9} = 4^{0,9} = 3{,}48$ účinný počet vrutů pro druhou řadu

$l_{ef} = l_z - d = 54 - 8 = 46\ mm$

Charakteristická únosnost na protažení hlavičky:

$$F_{head,Rk} = f_{head,k}\, d_h^2 = 27{,}07\cdot 18^2 = 8{,}770\ kN$$

$$F_{Rk,1} = \min\begin{cases} F_{ax,\alpha,Rk} = 2{,}529\ kN \\ F_{t,Rk} = 20{,}0\ kN \\ F_{head,Rk} = 8{,}770\ kN \end{cases} = 2{,}529\ kN$$

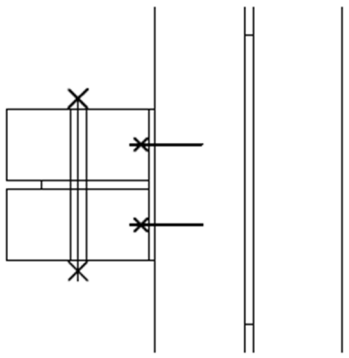
$$F_{Rd,1} = k_{mod}\frac{F_{Rk}}{\gamma_M} = 0{,}9\cdot\frac{2{,}529}{1{,}25} = 1{,}821\ kN$$

$$F_{Rd} = n\, F_{Rd,1} = 20\cdot 1{,}821 = 36{,}148\ kN$$

Posouzení:

$$F_{t,Ed} = 29{,}253\ kN \le F_{t,Rd,1} = 36{,}418\ kN$$

VYHOVUJE



4.1.4. Posouzení svorníků

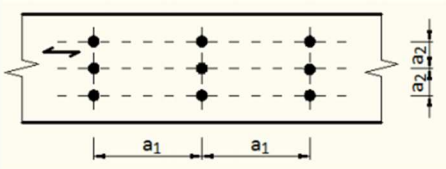
- **Střih**

Podmínka:

$$F_{v,Ed} \le F_{v,Rd}$$

Počet svorníků n = 2

Zatížení směrem k vláknům α = 90°



Minimální vzdálenosti:

$a_1 = (4 + |\cos\alpha|)\, d = (4 + \cos 90)\cdot 16 = 64\ mm$ → volím 84 mm

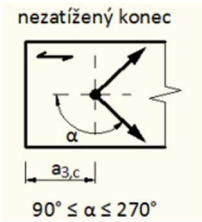
... rozměr je zvolen z důvodů dodržení běžných roztečí oválných otvorů desky

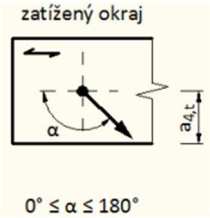
$a_{3,c} = \max[(1 + 6\cdot\sin\alpha)\, d;\ 4d] = \max[(1 + \sin 90)\, d; 4\, d] = 7\, d$

$a_{3,c} = 7\cdot 16 = 112\ mm$ → volím 120 mm

$a_{4,t} = \max[(2 + 2\sin\alpha)\, d;\ 3d] = \max[(2 + 2\sin 90)\, d; 4\, d] = 4d$

$a_{4,t} = 4\cdot 16 = 64\ mm$ → volím 80 mm





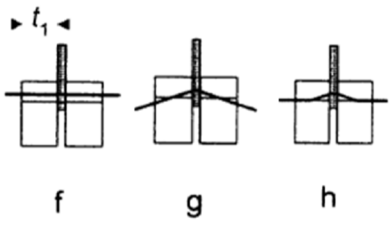
Únosnost svorníku pro jednu střihovou rovinu:

$$f_{h,0,k} = 0{,}082\,(1 - 0{,}01\, d)\,\rho_k = 0{,}082\,(1 - 0{,}01\cdot 16)\cdot 380 = 26{,}174\ MPa$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}\sin^2\alpha + \cos^2\alpha} = \frac{26{,}174}{1{,}59\cdot\sin^2 90 + \cos^2 90} = 16{,}462\ MPa$$

$k_{90} = 1{,}35 + 0{,}015\ d = 1{,}35 + 0{,}015 \cdot 16 = 1{,}59$

$M_{y,Rk} = 0{,}3\ f_{u,b} d^{2,6} = 0{,}3 \cdot 400 \cdot 16^{2,6} = 162\ 141\ \text{Nmm}$



Ocelová deska libovolné tloušťky jako střední prvek dvoustřižného spoje:

$F_{v,Rk,f} = f_{h,1,k} t_1 d = 16{,}462 \cdot 80 \cdot 16 = 21{,}071\ \text{kN}$

$$F_{v,Rk,g} = f_{h,1,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1\right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,Rk,g} = 16{,}462 \cdot 80 \cdot 16 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 162\ 141}{16{,}462 \cdot 16 \cdot 80^2}} - 1\right] + 0 = 11{,}468\ \text{kN}$$

$$F_{v,Rk,h} = 2{,}3\sqrt{M_{y,Rk}\ f_{h,1,k}\ d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 2{,}3\sqrt{162\ 141 \cdot 16{,}462 \cdot 16} + 0$$

$F_{v,Rk,h}$ =15,031 kN

$$F_{v,Rk,1} = \min \begin{cases} F_{v,Rk,f} = 21{,}071\ \text{kN} \\ F_{v,Rk,g} = 11{,}468\ \text{kN} \\ F_{v,Rk,h} = 15{,}031\ \text{kN} \end{cases} = 11{,}468\ \text{kN}$$

$$F_{v,Rd,1} = k_{mod} \frac{F_{Rk,1}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{11{,}468}{1{,}25} = \mathbf{8{,}257\ kN}$$

Únosnost spoje pro n svorníku a 2 roviny střihu:

$F_{Rd} = 2\ n \cdot F_{v,Rd,1} = 2 \cdot 2 \cdot 8{,}257 = 33{,}028\ \text{kN}$

Posouzení:

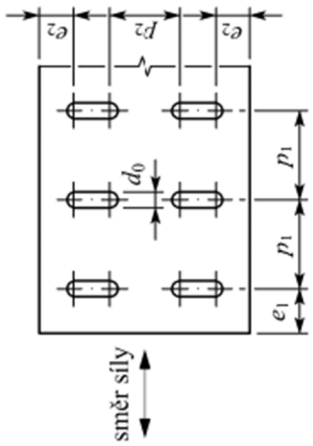
$$F_{v,Ed} = 29{,}253\ \text{kN} \leq F_{v,Rd} = 33{,}028\ \text{kN}$$

<u>VYHOVUJE</u>

- **Otlačení**

Podmínka:

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$



Běžné rozteče pro směr síly působící kolmo podélné osy otvoru:

$d = 16\ \text{mm} \quad \rightarrow d_o = 16 + 2 = 18\ \text{mm}$

$e_1 = 1{,}5 \cdot d_o = 1{,}5 \cdot 18 = 27\ \text{mm}$ → volím 40 mm

$e_2 = 1{,}5 \cdot d_o = 1{,}5 \cdot 18 = 27\ \text{mm}$ → volím 40 mm

$p_2 = 3{,}0 \cdot d_o = 3{,}0 \cdot 18 = 54\ \text{mm}$ → volím 54 mm

$$F_{b,Rd} = n \frac{k_b k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0{,}6 \cdot 2{,}5 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 10}{1{,}25} = 138{,}240\ \text{kN}$$

$k_b = 0{,}60$ pro dlouhé oválné otvory s osou kolmou ke směru síly

$k_1 = 2{,}5$ pro $e_2 \geq 1{,}5\ d_0$

α_b nerozhoduje pokud $f_{ub} \geq f_u$

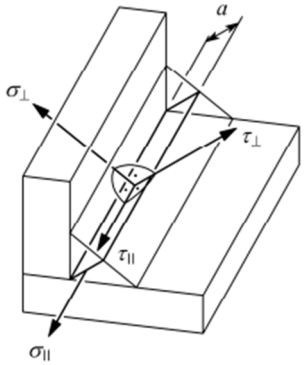
$f_{ub} = 400$ MPa mez pevnosti svorníků

$f_u = 360$ MPa mez pevnosti základního materiálu

$\gamma_{M2} = 1{,}25$

Posouzení: $F_{v,Ed} = 29{,}253 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 138{,}240 \text{ kN}$

VYHOVUJE



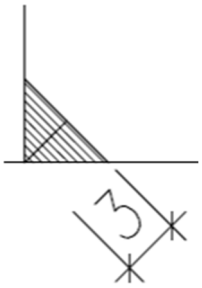
4.1.5. Svar plechu a čelní desky

Účinná tloušťka svaru $a = 3$ mm

Délka svaru $l = 200$ mm

Účinná délka svaru $l_{eff} = l - 2a = 200 - 2 \cdot 3 = 194$ mm

$F_{E,d} = 29{,}253$ kN



Podmínka:

$$\sqrt{\sigma_\perp{}^2 + 3(\tau_\perp{}^2 + \tau_\parallel{}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \wedge \sigma_\perp \leq \frac{0{,}9\, f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{F_{Ed}}{2\sqrt{2}\, a\, l_{eff}} = \frac{29253}{2\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 194} = 17{,}771 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0{,}8 \cdot 1{,}25} = 360 \text{ MPa}$$

$\beta_w = 0{,}8$ korelační součinitel pro ocel S235

Posouzení:

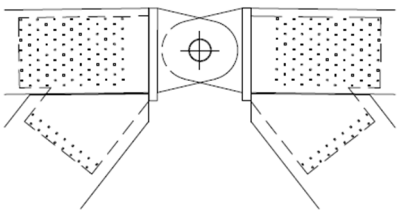
$$\sqrt{\sigma_\perp{}^2 + 3(\tau_\perp{}^2 + \tau_\parallel{}^2)} = \sqrt{17{,}771^2 + 3 \cdot 17{,}771^2} = 35{,}542 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$\frac{0{,}9\, f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 360}{1{,}25} = 259{,}2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_\perp = 17{,}771 \leq \frac{0{,}9\, f_u}{\gamma_{M2}} = 259{,}2 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

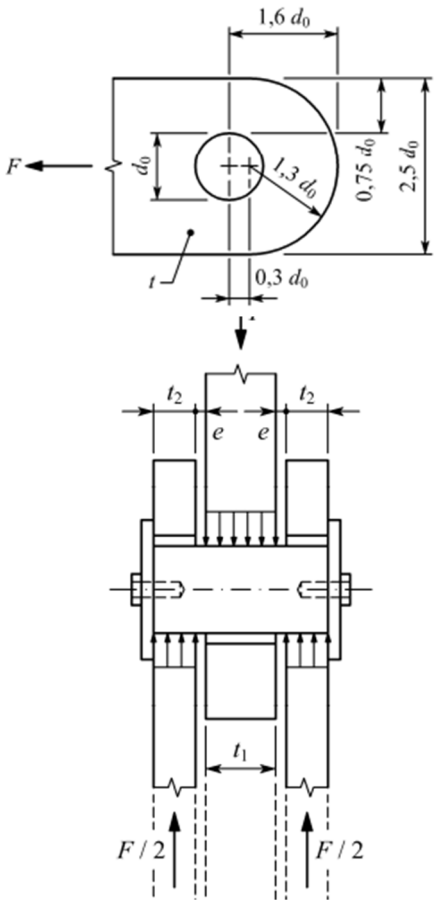


4.2. Vrcholový kloub

4.2.1. Čepový spoj

- **Geometrie**

$$t_1 \geq 0{,}7\sqrt{F_{Ed}\frac{\gamma_{M0}}{f_y}} = 0{,}7\sqrt{219{,}820\,\frac{1{,}00}{355}} = 17{,}42$$ volím 20 mm



$t_2 = 12$ mm

$2\,t_2 = 2 \cdot 12 = 24 \text{ mm} \geq t_1 = 20$ mm

$d_0 \geq 1{,}75\sqrt{F_{Ed}\frac{\gamma_{M0}}{f_y}} = 1{,}75\sqrt{219{,}820\frac{1{,}00}{355}} = 43{,}55$ volím 53 mm

$d = 50$ mm

$A = 1{,}96 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$

$W_{el} = 12{,}3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

$1{,}3\,d_0 = 1{,}3 \cdot 53 = 68{,}9$ mm → volím 70 mm

$0{,}3\,d_0 = 0{,}3 \cdot 53 = 15{,}9$ mm → volím 20 mm

$0{,}75\,d_0 = 0{,}75 \cdot 53 = 39{,}75$ mm → volím 40 mm

$2{,}5\,d_0 = 133$ mm

$1{,}6\,d_0 = 90$ mm

$e = 1$ mm

- **Materiál**

Plech: Ocel S355

pro jmenovitou tloušťku prvku t ≤ 40 mm:

$f_y = 355$ MPa

$f_u = 490$ MPa

pro jmenovitou tloušťku prvku 40 < t ≤ 80 mm

$f_y = 335$ MPa

$f_u = 470$ MPa

- **Zatížení**

$N_{Ed} = 219{,}818$ kN

$V_{z,Ed} = 0{,}948$ kN

$V_{z,Ed} = V_{z,Ed,max} = 22{,}041$ kN

$N_{Ed} = -129{,}781$ kN

$F_{Ed} = \sqrt{219{,}818^2 + 0{,}948^2} = 219{,}820$ kN

POSOUZENÍ

- **Otlačení**

Podmínka:

$$F_{Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1{,}5\,t\,d\,f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1{,}5 \cdot 20 \cdot 50 \cdot 355}{1{,}00} = 532{,}5 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$219{,}820 \text{ kN} \leq 532{,}5 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

- **Střih**

Podmínka:

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{F_{Ed}}{2} = \frac{219{,}820}{2} = 109{,}910\ \text{kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6\ A\ f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}6 \cdot 1{,}96 \cdot 10^3 \cdot 470}{1{,}25} = 442{,}176\ \text{kN}$$

Posouzení:

$$109{,}910\ \text{kN} \leq 442{,}176\ \text{kN}$$

VYHOVUJE

- **Ohyb**

Podmínka:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8}(t_1 + 4e + 2t_2) = \frac{219{,}820}{8}(20 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 12) \cdot 10^{-3} = 1{,}319\ \text{kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{1{,}5 W_{el} f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1{,}5 \cdot 12{,}3 \cdot 10^3 \cdot 335}{1{,}0} = 6{,}181\ \text{kNm}$$

Posouzení:

$$1{,}319\ \text{kNm} \leq 6{,}181\ \text{kNm}$$

VYHOVUJE

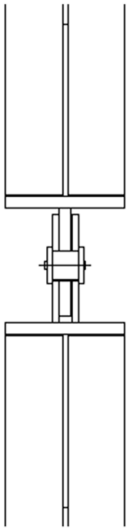
- **Smyk a ohyb**

Podmínka:

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1{,}0$$

Posouzení:

$$\left(\frac{1{,}319}{6{,}181}\right)^2 + \left(\frac{109{,}910}{442{,}176}\right)^2 = 0{,}11 \leq 1{,}0$$



4.2.2. Svar čelní desky a čepové desky

Účinná tloušťka svaru	$a = 3\ \text{mm}$
Délka svaru	$l = 200\ \text{mm}$
Účinná délka svaru	$l_{eff} = l - 2a = 200 - 2 \cdot 3 = 194\ \text{mm}$

- **Maximální normálová síla**

$F_{E,d} = N_{Ed} = 219{,}818\ \text{kN}$

$V_{z,Ed} = 0{,}948\ \text{kN}$ odpovídající posouvající síla

Podmínka:

$$\sqrt{\sigma_\perp{}^2 + 3(\tau_\perp{}^2 + \tau_\parallel{}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \wedge \sigma_\perp \leq \frac{0{,}9\, f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{F_{Ed}}{2\sqrt{2}\, a\, l_{eff}} = \frac{219\,918}{2\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 194} = 133{,}535 \text{ MPa}$$

$$\tau_\parallel = \frac{V_{E,z,d}}{2\, a\, l_{eff}} = \frac{948}{2 \cdot 3 \cdot 194} = 0{,}814$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0{,}9 \cdot 1{,}25} = 435 \text{ MPa}$$

$\beta_w = 0{,}9$ korelační součinitel pro ocel S355

Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_\perp{}^2 + 3(\tau_\perp{}^2 + \tau_\parallel{}^2)} = \sqrt{133{,}535^2 + 3(133{,}535^2 + 0{,}948^2)} = 267{,}075 \text{ MPa}$$

$$267{,}075 \text{ MPa} \leq 435 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$\frac{0{,}9\, f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 490}{1{,}25} = 352{,}8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_\perp = 133{,}535 \leq \frac{0{,}9\, f_u}{\gamma_{M2}} = 352{,}8 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- **Maximální posouvající síla**

$V_{z,Ed} = V_{z,Ed,max} = 22{,}041$ kN

$N_{Ed} = -129{,}781$ kN

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{F_{Ed}}{2\sqrt{2}\, a\, l_{eff}} = \frac{129781}{2\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 194} = 78{,}839 \text{ MPa}$$

$$\tau_\parallel = \frac{V_{E,z,d}}{2\, a\, l_{eff}} = \frac{22041}{2 \cdot 3 \cdot 194} = 18{,}936 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_\perp{}^2 + 3(\tau_\perp{}^2 + \tau_\parallel{}^2)} = \sqrt{78{,}839^2 + 3(78{,}839^2 + 18{,}936^2)} = 161{,}053 \text{ MPa}$$

$$161{,}053 \text{ MPa} \leq 435 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$\frac{0{,}9\, f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 490}{1{,}25} = 352{,}8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_\perp = 78{,}839 \leq \frac{0{,}9\, f_u}{\gamma_{M2}} = 352{,}8 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

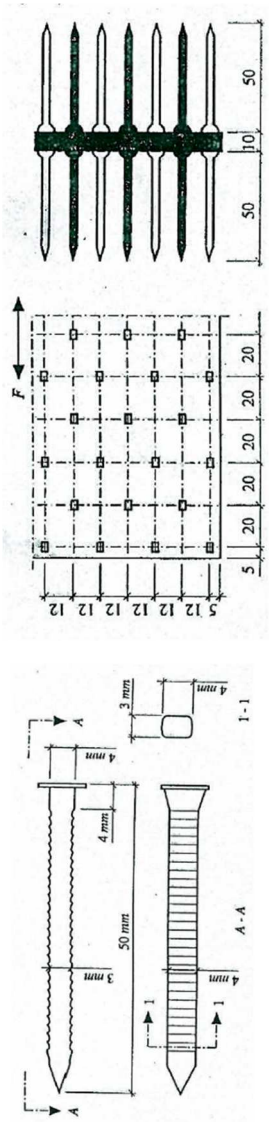
4.2.3. Svar čelní desky a MKD desky

Účinná tloušťka svaru $a = 3$ mm

Délka svaru $l = 220$ mm

Účinná délka svaru $l_{eff} = l - 2a = 220 - 2 \cdot 3 = 214\ \text{mm}$

Svar přenáší stejné zatížení jako svar čelní desky a desky čepového spoje, jeho délka je však pro větší rozměr MKD desky v místě svaru o 20 mm větší. Svar dané zatížení přenese a vyhoví.



4.2.4. MKD deska

Spojování prvků ve styčnících vazníků a sloupů je zajištěno vkládanými styčníkovi deskami MKD, které se skládají z ocelové desky, ke které jsou oboustranně přivařeny hřebíky kolmo k její rovině.

Následující informace jsou uvedeny v publikaci [7] a potvrzeny zkouškami, jenž provedl Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p. spolu se střediskem AdMas, Ústav stavebního zkušebnictví FAST VUT Brno. Oba protokoly jsou součástí přílohy.

- **Geometrie**

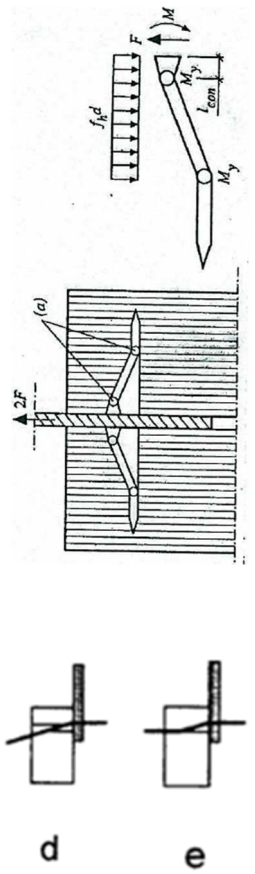
Minimální rozteče a_1, a_2 jsou dány výrobcem styčníkových desek, ostatní rozteče vychází z návrhu dle EC 5, část 1-1, tab. 8.2. Hřebíky jsou přivařeny k desce tak, že jejich podélná strana je vždy rovnoběžná se směrem vláken.

$a_1 = 40\ \text{mm}$
$a_2 = 12\ \text{mm}$
$a_{3,t} = 15\ d = 15 \cdot 4 = 60\ \text{mm}$
$a_{3,c} = 10\ d = 10 \cdot 4 = 40\ \text{mm}$
$a_{4,t} = 5\ d = 5 \cdot 4 = 20\ \text{mm}$
$a_{4,c} = 5\ d = 5 \cdot 4 = 20\ \text{mm}$

- **Materiál**

Přivařené hřebíky: obdélníkový průřez 4x3 mm
pevnost v tahu $f_{u,k} = 600\ \text{Nmm}^{-2}$
plastický moment únosnosti $M_{y,Rk} = 7850\ \text{Nmm}$

Ocelová deska: tl. 10 mm
jakost oceli Fe510D
→ odpovídá oceli třídy S355
$f_y = 355\ \text{MPa}$
$f_u = 490\ \text{MPa}$



- **Zatížení**

Horní pás: $N_{max} = N_{Ed} = -227{,}564\ \text{kN}$

Dolní pás: $N_{max} = N_{Ed} = 39{,}840\ \text{kN}$

- **Návrhová únosnost jednoho hřebíku**

Výpočet únosnosti je proveden pro spoj dřevo-ocel pro tlustou ocelovou desku jednostřižně namáhanou. U hřebíků s kónickým zesílením ve vzdálenosti $l_{con} = 4\ \text{mm}$ od spáry mezi ocelovou deskou a dřevem se únosnost hřebíku ve střihu zvýší součinitelem $l_{con} d\, f_{h,k}$

$$f_{h,k} = 0{,}082\, \rho_k\, d^{-0{,}3} = 0{,}082 \cdot 380 \cdot 3^{-0{,}3} = 22{,}411\ \text{MPa}$$

Modifikace vztahů pro výpočet únosnosti:

$$F_{v,Rk,d} = 1{,}1\, f_{h,k}(t_1 - l_{con})\, d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} d (t_1 - l_{con})^2}} - 1\right] + 1{,}1\, l_{con} d f_{h,k}$$

$$F_{v,Rk,d} = 1{,}1 \cdot 22{,}411 \cdot (50-4) \cdot 3 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 7850}{22{,}411 \cdot 3 \cdot (50-4)^2}} - 1\right] +$$

$$+ 1{,}1 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 22{,}411 = 1{,}964\ \text{kN}$$

$$F_{v,Rk,e} = 1{,}5 \sqrt{2\, M_{y,Rk}\, f_{h,k}\, d} + 1{,}1\, l_{con} d f_{h,k}$$

$$F_{v,Rk,e} = 1{,}5 \sqrt{2 \cdot 7850 \cdot 22{,}411 \cdot 3} + 1{,}1 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 22{,}411 = 1{,}837\ \text{kN}$$

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} F_{v,Rk,d} = 1{,}964 \\ F_{v,Rk,e} = 1{,}837 \end{cases} = \underline{1{,}837\ \text{kN}}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0{,}9 \frac{1{,}837}{1{,}25} = \mathbf{1{,}323\ kN}$$

- **Počet hřebíků pro jednotlivé prvky**

Horní pás:

$$n_{tot} = \frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{227{,}564}{1{,}323} = 172{,}01$$ → volím 174 hřebíků

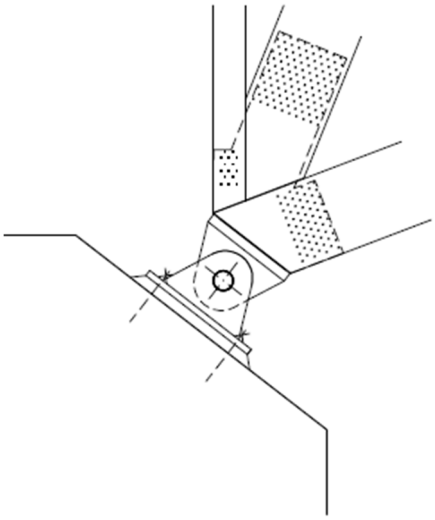
Pro jednu střihovou rovinu:

$$n = \frac{n_{tot}}{2} = \frac{174}{2} = 87$$ → navrženo 2x 7 řad po 7 hřebících

Pro spoj MKD s více než 6 hřebíky za sebou v jedné řadě je nutná redukce:

$$n_{ef} = 6 + \frac{2}{5}(n-6) = 6 + \frac{2}{5}(7-6) = 6{,}4$$

Účinný počet hřebíků: $2 \cdot 7 \cdot 6{,}4 = 89{,}6 \geq 87$



Dolní pás

$n_{tot} = \frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{39{,}840}{1{,}323} = 30{,}113$ → volím 32 hřebíků

Pro jednu střihovou rovinu:

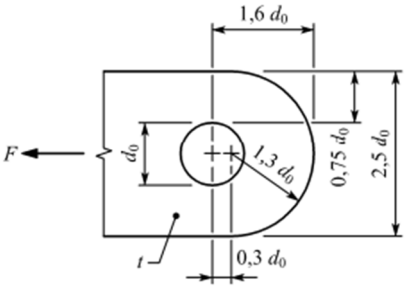
$n = \frac{n_{tot}}{2} = \frac{32}{2} = 16$ → navrženo 9 řad po 1 hřebíku

8 řad po 1 hřebíku

4.3. Uložení vazníku

4.3.1. Čepový spoj

- **Geometrie**



$t_1 \geq 0{,}7\sqrt{F_{Ed}\frac{\gamma_{M0}}{f_y}} = 0{,}7\sqrt{432{,}837\frac{1{,}00}{355}} = 24{,}44$ volím 30 mm

$t_2 = 16\ \text{mm}$

$2\ t_2 = 2 \cdot 16 = 32\ \text{mm} \geq\ t_1 = 30\ \text{mm}$

$d_0 \geq 1{,}75\sqrt{F_{Ed}\frac{\gamma_{M0}}{f_y}} = 1{,}75\sqrt{432{,}837\frac{1{,}00}{355}} = 61{,}11$ volím 63 mm

$d = 60\ \text{mm}$

$A = 2{,}83 \cdot 10^3\ \text{mm}^2$

$W_{el} = 21{,}2 \cdot 10^3\ \text{mm}^3$

$1{,}3\ d_0 = 1{,}3 \cdot 63 = 81{,}9\ \text{mm}$ → volím 85 mm

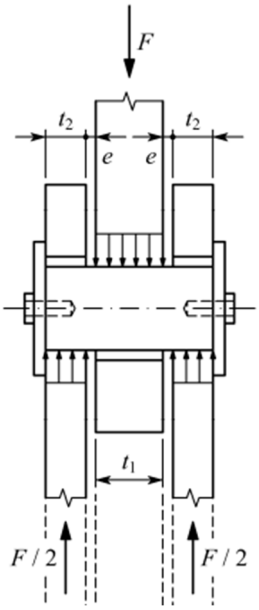
$0{,}3\ d_0 = 0{,}3 \cdot 63 = 18{,}9\ \text{mm}$ → volím 20 mm

$0{,}75\ d_0 = 0{,}75 \cdot 63 = 47{,}25\ \text{mm}$ → volím 50 mm

$2{,}5\ d_0 = 163\ \text{mm}$

$1{,}6\ d_0 = 105\ \text{mm}$

$e = 1\ \text{mm}$



- **Materiál**

Plech: Ocel S355

pro jmenovitou tloušťku prvku t ≤ 40 mm:

$f_y = 355\ \text{MPa}$

$f_u = 490\ \text{MPa}$

pro jmenovitou tloušťku prvku 40 < t ≤ 80 mm

$f_y = 335\ \text{MPa}$

$f_u = 470\ \text{MPa}$

KZ	R'z	R'x	R'y	Rz	Rx	Ry
39	**432,619**	13,742	31,546	**254,969**	**349,770**	31,545
47	269,625	**61,596**	0,601	117,066	250,574	0,601
63	396,944	7,445	**50,778**	238,018	317,755	**50,778**

- **Zatížení**

Největší podporové reakce byly zapsány do tabulky. Jsou rozdělny na globánlí podporové reakce R' a R. Jsou zvýrazněny maximální reakce ve směru daného souřadného systému.

$$F_{Ed} = \sqrt{432{,}619^2 + 13{,}742^2} = 432{,}837\ \text{kN}$$

POSOUZENÍ

- **Otlačení**

Podmínka:

$$F_{Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1{,}5\ t\ d\ f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1{,}5 \cdot 30 \cdot 60 \cdot 355}{1{,}00} = 958{,}500\ \text{kN}$$

Posouzení:

$$432{,}837\ \text{kN} \leq 958{,}500\ \text{kN}$$

VYHOVUJE

- **Střih**

Podmínka:

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{F_{Ed}}{2} = \frac{432{,}837}{2} = 216{,}419\ \text{kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6\ A\ f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}6 \cdot 2{,}83 \cdot 10^3 \cdot 470}{1{,}25} = 638{,}448\ \text{kN}$$

Posouzení:

$$216{,}419\ \text{kN} \leq 638{,}448\ \text{kN}$$

VYHOVUJE

- **Ohyb**

Podmínka:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8}(t_1 + 4e + 2t_2) = \frac{432{,}837}{8}(30 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 16) \cdot 10^{-3} = 3{,}571\ \text{kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{1{,}5 W_{el} f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1{,}5 \cdot 21{,}2 \cdot 10^3 \cdot 335}{1{,}0} = 10{,}653\ \text{kNm}$$

Posouzení:

$$3{,}571\ \text{kNm} \leq 10{,}653\ \text{kNm}$$

VYHOVUJE

- **Smyk a ohyb**

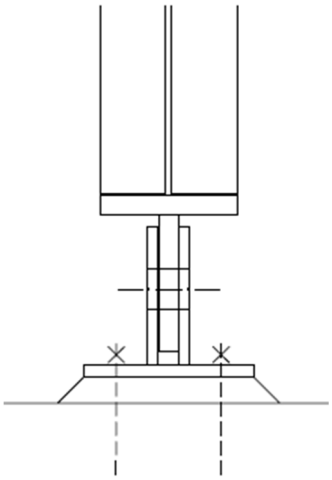
Podmínka:

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1{,}0$$

Posouzení:

$$\left(\frac{3{,}571}{10{,}653}\right)^2 + \left(\frac{216{,}419}{638{,}448}\right)^2 = 0{,}23 \leq 1{,}0$$

VYHOVUJE



4.3.2. Svar čepové a patní desky

Účinná tloušťka svaru $a = 6\ \text{mm}$

Délka svaru $l = 300\ \text{mm}$

Účinná délka svaru $l_{eff} = l - 2a = 300 - 2 \cdot 5 = 290\text{mm}$

$$I_x = 2\left(\frac{1}{12}290 \cdot 6^3 + 250 \cdot 6 \cdot 18^2\right) = 982\,440\ \text{mm}^4$$

$$I_y = 2\frac{1}{12}6 \cdot 290^3 = 2{,}4389 \cdot 10^7$$

$$W_x = \frac{I_x}{y} = \frac{982440}{21} = 46782\ \text{mm}^3$$

$$W_y = \frac{I_y}{x} = \frac{2{,}4389 \cdot 10^7}{145} = 168\,200\ \text{mm}^3$$

Svar bude posouzen pro kombinaci zatížení KZ 39, kdy je namáhán největší silou v rovině čepové desky a pro kombinaci zatížení 63, kdy je namáhán největším ohybovým momentem od síly, která je na rovinu čepové desky kolmá.

- **Maximální síla kolmá na rovinu čepové desky**

$F_{z,Ed} = 396{,}944\ \text{kN}$

$F_{x,Ed} = 7{,}445\ \text{kN}$

$F_{y,Ed} = 50{,}778\ \text{kN}$

$M_{x,Ed} = -1{,}741\ \text{kNm}$

Podmínka:

$$\sqrt{\sigma_\perp{}^2 + 3(\tau_\perp{}^2 + \tau_\parallel{}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \wedge \sigma_\perp \leq \frac{0{,}9\, f_u}{\gamma_{M2}}$$

Zatížení ve směru osy z:

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{F_{E,z,d}}{2\sqrt{2}\, a\, l_{eff}} = \frac{396{,}944}{2\sqrt{2} \cdot 6 \cdot 290} = 80{,}656\ \text{MPa}$$

Zatížení ve směru osy x:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{E,x,d}}{2\ a\ l_{eff}} = \frac{7445}{2 \cdot 6 \cdot 290} = 2{,}139\ \text{MPa}$$

$$\sigma_M = \frac{M_{E,y,d}}{W_y} = \frac{(7{,}445 \cdot 0{,}115) \cdot 10^6}{168\ 200} = 5{,}090\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{5{,}090}{\sqrt{2}} = 3{,}599\ \text{MPa}$$

<u>Zatížení ve směru osy y</u>:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{y,Ed}}{2\sqrt{2}\ a\ l_{eff}} = \frac{50\ 778}{2\sqrt{2} \cdot 6 \cdot 290} = 10{,}318\ \text{MPa}$$

$$\sigma_M = \frac{M_{x,Ed} + F_{y,Ed} \cdot z_T}{W_x} = \frac{(1{,}741 + 50{,}778 \cdot 0{,}115) \cdot 10^6}{46782} = 162{,}038\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{162{,}038}{\sqrt{2}} = 114{,}578\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 80{,}656 + 3{,}599 + 10{,}318 + 114{,}578 = 209{,}151\ \text{MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 2{,}139\ \text{MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0{,}9 \cdot 1{,}25} = 435\ \text{MPa}$$

$\beta_w = 0{,}9$ korelační součinitel pro ocel S355

Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}{}^2 + 3(\tau_{\perp}{}^2 + \tau_{\parallel}{}^2)} = \sqrt{209{,}151^2 + 3\ (209{,}151^2 + 2{,}139^2)} = 418{,}318\ \text{MPa}$$

$$418{,}318\ \text{MPa} \leq 435\ \text{MPa}$$

<u>VYHOVUJE</u>

$$\frac{0{,}9\ f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 490}{1{,}25} = 352{,}8\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 209{,}151\ \text{MPa} \leq \frac{0{,}9\ f_u}{\gamma_{M2}} = 352{,}8\ \text{MPa}$$

<u>VYHOVUJE</u>

- **Maximální síla v rovině čepové desky**

$F_{z,Ed} = 432{,}619\ \text{kN}$

$F_{x,Ed} = 13{,}742\ \text{kN}$

$F_{y,Ed} = 31{,}546\ \text{kN}$

$M_{x,Ed} = -0{,}476\ \text{kNm}$

Podmínka:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}{}^2 + 3(\tau_{\perp}{}^2 + \tau_{\parallel}{}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq \frac{0{,}9\ f_u}{\gamma_{M2}}$$

<u>Zatížení ve směru osy z</u>:

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{F_{z,Ed}}{2\sqrt{2}\,a\,l_{eff}} = \frac{432\,619}{2\sqrt{2}\cdot 6\cdot 290} = 87{,}905\ \text{MPa}$$

<u>Zatížení ve směru osy x</u>:

$$\tau_\parallel = \frac{F_{x,Ed}}{2\,a\,l_{eff}} = \frac{13\,742}{2\cdot 6\cdot 290} = 3{,}949\ \text{MPa}$$

$$\sigma_M = \frac{M_{x,Ed}}{W_y} = \frac{(13{,}742\cdot 0{,}115)\cdot 10^6}{168\,200} = 9{,}396\ \text{MPa}$$

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{9{,}396}{\sqrt{2}} = 6{,}644\ \text{MPa}$$

<u>Zatížení ve směru osy y</u>:

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{F_{y,Ed}}{2\sqrt{2}\,a\,l_{eff}} = \frac{31\,546}{2\sqrt{2}\cdot 6\cdot 290} = 6{,}410\ \text{MPa}$$

$$\sigma_M = \frac{M_{x,Ed} + F_{y,Ed}\cdot z_T}{W_x} = \frac{(0{,}476 + 31{,}546\cdot 0{,}115)\cdot 10^6}{46782} = 87{,}722\ \text{MPa}$$

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{87{,}722}{\sqrt{2}} = 62{,}029\ \text{MPa}$$

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = 87{,}905 + 6{,}644 + 6{,}410 + 62{,}029 = 162{,}988\ \text{MPa}$$

$$\tau_\parallel = 3{,}949\ \text{MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0{,}9\cdot 1{,}25} = 435\ \text{MPa}$$

$\beta_w = 0{,}9$ korelační součinitel pro ocel S355

Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_\perp{}^2 + 3(\tau_\perp{}^2 + \tau_\parallel{}^2)} = \sqrt{162{,}988^2 + 3\,(162{,}988^2 + 3{,}949^2)} = 326{,}048\ \text{MPa}$$

$$326{,}048\ \text{MPa} \le 435\ \text{MPa}$$

<u>VYHOVUJE</u>

$$\frac{0{,}9\,f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9\cdot 490}{1{,}25} = 352{,}8\ \text{MPa}$$

$$\sigma_\perp = 162{,}988\ \text{MPa} \le \frac{0{,}9\,f_u}{\gamma_{M2}} = 352{,}8\ \text{MPa}$$

<u>VYHOVUJE</u>

4.3.3. Svar MKD a čelní desky

Účinná tloušťka svaru	$a = 6\ \text{mm}$
Délka svaru	$l = 300\ \text{mm}$
Účinná délka svaru	$l_{eff} = l - 2a = 300 - 2\cdot 5 = 290\text{mm}$

Z hlediska dodržení podmínky rovnováhy sil v bodě musí být výslednice vnitřních sil prutů podporového styčníku rovna výslednici podporových reakcí. Svar stejné délky a totožné účinné výšky tedy vyhoví.

4.3.4. MKD deska

- **Zatížení**

Dolní pás: $N_{max} = N_{Ed} = -176{,}348\ kN$
Diagonála: $N_{max} = N_{Ed} = -288{,}371\ kN$
Koncová vertikála: $N_{max} = N_{Ed} = -34{,}780\ kN$

Únosnost hřebíku pro jednu střihovou rovinu: $F_{v,Rd} = 1{,}323\ kN$

Dolní pás

$n_{tot} = \frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{176{,}348}{1{,}323} = 133{,}294$ → volím 134 hřebíků

Pro jednu střihovou rovinu:

$n = \frac{n_{tot}}{2} = \frac{134}{2} = 67$ → navrženo 10 řad po 4 hřebících
9 řad po 3 hřebících

Diagonála

$n_{tot} = \frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{288{,}371}{1{,}323} = 217{,}97$ → volím 218 hřebíků

Pro jednu střihovou rovinu:

$n = \frac{n_{tot}}{2} = \frac{218}{2} = 114$ → navrženo 10 řad po 6 hřebících
9 řad po 6 hřebících

V řadě není více než 6 hřebíků → bez redukce

Koncová vertikála

$n_{tot} = \frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{34{,}780}{1{,}323} = 26{,}29$ → volím 28 hřebíků

Pro jednu střihovou rovinu:

$n = \frac{n_{tot}}{2} = \frac{28}{2} = 14$ → navrženo 3 řady po 3 hřebících
3 řad po 2 hřebících

4.3.5. Kotvení

Kotvení bylo navrženo pomocí software společnosti HILTI pro 3 kombinace zatížení kotev, které odpovídají vždy maximální podporové reakci ve směru lokální souřadné osy podpory a odpovídajících vnitřních sil. Podporové reakce byly převzaty ze software RFEM:

KZ	R'_z	R'_x	R'_y	M'_z	M'_x	M'_x (R'_Y·0,115)	Σ M'_x	M'_y (R'_x·0,115)
39	**432,619**	13,742	31,546	-0,572	0,476	3,628	4,104	1,580
47	269,625	**61,596**	0,601	1,117	-1,752	0,069	-1,683	7,084
63	396,944	7,445	**50,778**	-1,322	1,741	5,840	7,581	0,856

Navržena 4x kotva **HST3-R M24 hef2**

Kotevní deska: b = 260 mm

h = 400 mm

t = 20 mm

Doporučené rozteče šroubů pro ocelovou desku:

$d = 24\ \text{mm}$ → $d_o = 24 + 2 = 26\ \text{mm}$

$e_1 = 2{,}0 \cdot d_o = 2{,}0 \cdot 26 = 52\ \text{mm}$ → volím 50 mm

$e_2 = 1{,}5 \cdot d_o = 1{,}5 \cdot 26 = 39\ \text{mm}$ → volím 50 mm

$p_1 = 3{,}5 \cdot d_o = 3{,}5 \cdot 26 = 91\ \text{mm}$ → volím 300 mm

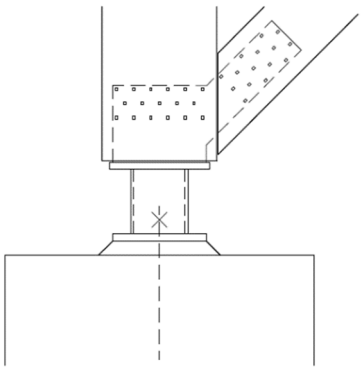
Beton: min C20/25

min. vzdálenost krajní kotvy od okraje betonu 195 mm

Podlití: $t_p = 40\ \text{mm}$

Protokoly posouzení návrhu kotvení pro tyto tři kombinace jsou součástí příloh.

4.4. Uložení sloupu



Uložení sloupu je navrženo pomocí desky tl. 10 mm přivařené koutovým svarem k MKD desce. Tato deska je spojena s kotevní deskou trubkou 80/4 mm, která je po celém obvodu přivařena k oběma deskám.

4.4.1. Únosnost trubky

- **Geometrie**

$d = 80\ \text{mm}$

$t = 4\ \text{mm}$

$A = \pi\,(40^2 - 36^2) = 955\ \text{mm}^2$

$I = \frac{\pi}{4}(r_1^2 - r_2^2) = \frac{\pi}{4}\,(40^4 - 36^4) = 69{,}15 \cdot 10^4\ \text{mm}^4$

$$W = \frac{I}{r_1} = \frac{69{,}15 \cdot 10^4}{40} = 17{,}29 \cdot 10^3\ \mathrm{mm}^3$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{69{,}15 \cdot 10^4}{955}}\ 26{,}9\ \mathrm{mm}$$

- **Materiál**

Ocel S235 $f_y = 235\ \mathrm{MPa}$

$f_u = 360\ \mathrm{MPa}$

- **Zatížení**

$N_{Ed} = -42{,}217\ \mathrm{kN}$

- **Posouzení na vzpěr**

Podmínka:

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

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi\, \beta_A\, A\, f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 955 \cdot 235}{1{,}0} = 224{,}425\ \mathrm{kN}$$

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1{,}0$$

$\frac{d}{t} = \frac{80}{4} = 20 \leq 50\ \varepsilon^2 = 50$ → třída průřezu 1

$\beta_A = 1{,}0$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{45}{26{,}9} = 1{,}67$$

$L_{cr} = k\,L = 0{,}5 \cdot 90 = 45\ \mathrm{mm}$

$$\lambda_1 = 93{,}9\sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93{,}9\sqrt{\frac{235}{235}} = 93{,}9$$

$$\lambda' = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{1{,}67}{93{,}9} = 0{,}02$$

$\phi = 0{,}5\,[1 + \alpha\,(\lambda' - 0{,}2) + \lambda'^2] = 0{,}5[1 + 0{,}49\,(0{,}02 - 0{,}2) + 0{,}02^2]$

$\phi = 0{,}476$

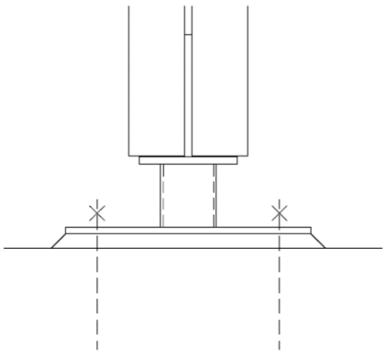
$\alpha = 0{,}49$ ... křivka vzpěrné pevnosti pro trubku válcovanou za studena

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda'^2}} = \frac{1}{0{,}476 + \sqrt{0{,}476^2 - 0{,}02^2}} = 1{,}05 \geq 1{,}0$$

Posouzení:

$$\frac{42{,}217}{224{,}425} = 0{,}19 \leq 1{,}0$$

<u>VYHOVUJE</u>



4.4.2. Svar trubky a čelní desky

Účinná tloušťka svaru $a = 3\ \text{mm}$

Účinná délka svaru $l_{eff} = 2\,\pi\,r = 2 \cdot \pi \cdot 40 = 251{,}33\ \text{mm}$

$l_{eff} = 250\ \text{mm}$ na stranu bezpečnou

$$A = \pi\,(43^2 - 40^2) = 782\ \text{mm}^2$$

$$I = \frac{\pi}{4}(r_1^2 - r_2^2) = \frac{\pi}{4}\,(43^4 - 40^4) = 67{,}45 \cdot 10^4\ \text{mm}^4$$

$$W = \frac{I}{r_1} = \frac{67{,}45 \cdot 10^4}{43} = 15{,}686 \cdot 10^3\ \text{mm}^3$$

$N_{Ed} = 35{,}963\ \text{kN}$

$V_{Ed} = 24{,}550\ \text{kN}$

Podmínka:

$$\sqrt{\sigma_\perp{}^2 + 3(\tau_\perp{}^2 + \tau_\parallel{}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \wedge \sigma_\perp \leq \frac{0{,}9\,f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{N_{Ed}}{\sqrt{2}\,a\,l_{eff}} = \frac{35\,963}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 250} = 33{,}910\ \text{MPa}$$

$$\sigma_M = \frac{M_{E,z,d}}{W} = \frac{(24{,}550 \cdot 0{,}09) \cdot 10^6}{15{,}686 \cdot 10^3} = 140{,}858\ \text{MPa}$$

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{140{,}858}{\sqrt{2}} = 99{,}6\ \text{MPa}$$

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = 33{,}910 + 99{,}6 = 133{,}51\ \text{MPa}$$

$$\tau_\parallel = \frac{V_{Ed}}{a\,l_{eff}} = \frac{24\,550}{3 \cdot 250} = 32{,}733\ \text{MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0{,}8 \cdot 1{,}25} = 360\ \text{MPa}$$

$\beta_w = 0{,}8$ korelační součinitel pro ocel S235

Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_\perp{}^2 + 3(\tau_\perp{}^2 + \tau_\parallel{}^2)} = \sqrt{133{,}51^2 + 3\,(133{,}51^2 + 32{,}733^2)} = 235{,}834\ \text{MPa}$$

$$235{,}834\ \text{MPa} \leq 360\ \text{MPa}$$

<u>VYHOVUJE</u>

$$\frac{0{,}9\,f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 360}{1{,}25} = 259{,}2\ \text{MPa}$$

$$\sigma_\perp = 133{,}510\ \text{MPa} \leq \frac{0{,}9\,f_u}{\gamma_{M2}} = 259{,}2\ \text{MPa}$$

<u>VYHOVUJE</u>

4.4.3. Svar MKD a čelní desky

Účinná tloušťka svaru $a = 3\ \mathrm{mm}$

Účinná délka svaru $l_{eff} = l - 2\,a = 130 - 2 \cdot 3 = 124\ \mathrm{mm}$

$N_{Ed} = 35{,}963\ \mathrm{kN}$

$V_{Ed} = 24{,}550\ \mathrm{kN}$

Podmínka:

$$\sqrt{\sigma_\perp{}^2 + 3(\tau_\perp{}^2 + \tau_\parallel{}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \wedge \sigma_\perp \leq \frac{0{,}9\,f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{N_{Ed}}{\sqrt{2}\,a\,l_{eff}} = \frac{35\,963}{2\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 124} = 34{,}180\ \mathrm{MPa}$$

$$\tau_\parallel = \frac{V_{Ed}}{a\,l_{eff}} = \frac{24\,550}{2 \cdot 3 \cdot 124} = 32{,}997\ \mathrm{MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0{,}8 \cdot 1{,}25} = 360\ \mathrm{MPa}$$

$\beta_w = 0{,}8$ korelační součinitel pro ocel S235

Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_\perp{}^2 + 3(\tau_\perp{}^2 + \tau_\parallel{}^2)} = \sqrt{34{,}180^2 + 3\,(34{,}180^2 + 32{,}997^2)} = 89{,}104\ \mathrm{MPa}$$

$$89{,}104\ \mathrm{MPa} \leq 360\ \mathrm{MPa}$$

<u>VYHOVUJE</u>

$$\frac{0{,}9\,f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 360}{1{,}25} = 259{,}2\ \mathrm{MPa}$$

$$\sigma_\perp = 34{,}180\ \mathrm{MPa} \leq \frac{0{,}9\,f_u}{\gamma_{M2}} = 259{,}2\ \mathrm{MPa}$$

<u>VYHOVUJE</u>

4.4.4. MKD deska

- **Zatížení**

Horní pás: $N_{max} = N_{Ed} = -42{,}217\ \mathrm{kN}$

Dolní pás: $N_{max} = N_{Ed} = -39{,}091\ \mathrm{kN}$

Únosnost hřebíku pro jednu střihovou rovinu: $F_{v,Rd} = 1{,}323\ \mathrm{kN}$

Horní pás

$n_{tot} = \frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{42{,}217}{1{,}323} = 31{,}91$ → volím 34 hřebíků

Pro jednu střihovou rovinu:

$n = \frac{n_{tot}}{2} = \frac{34}{2} = 17$ → navrženo 6 řad po 2 hřebících
5 řad po 1 hřebíku

Dolní pás

$n_{tot} = \frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{39{,}091}{1{,}323} = 29{,}55$ → volím 30 hřebíků

Pro jednu střihovou rovinu:

$n = \frac{n_{tot}}{2} = \frac{30}{2} = 15$ → navrženy 3 řady po 3 hřebících
2 řady po 3 hřebících

4.4.5. Kotvení

Kotvení bylo navrženo pomocí software společnosti HILTI a bude navrženo pro kombinaci maximální podporové reakce ve směru osy y, která namáhá kotvy smykem. Podporové reakce byly převzaty ze software RFEM:

$N_{Ed} = 35{,}963\ kN$

$V_{Ed} = 24{,}550\ kN$

Navržena 2x chemická kotva **HIT-HY 200-A + HIT-V (5.8) M24**

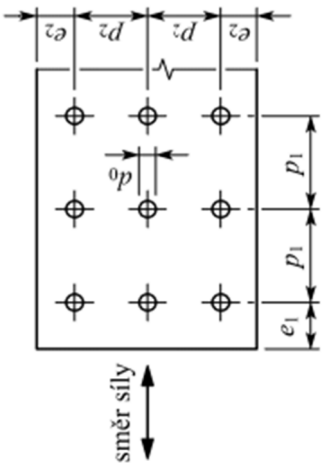
Kotevní deska: b = 130 mm
h = 340 mm
t = 10 mm

Doporučené rozteče šroubů pro ocelovou desku:

$d = 24\ mm$ → $d_o = 24 + 2 = 26\ mm$

$e_1 = 2{,}0 \cdot d_o = 2{,}0 \cdot 26 = 52\ mm$ → volím 65 mm

$e_2 = 1{,}5 \cdot d_o = 1{,}5 \cdot 26 = 39\ mm$ → volím 40 mm



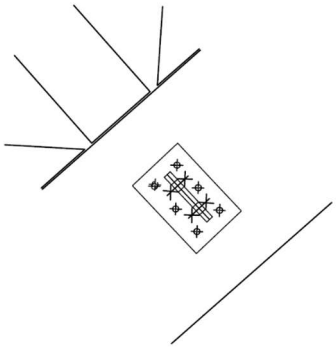
Beton: min C20/25

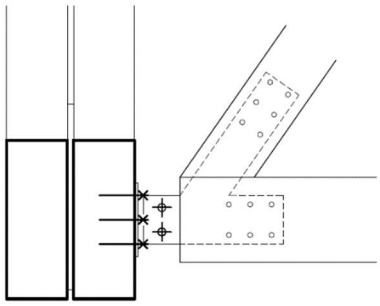
min. vzdálenost krajní kotvy od okraje betonu:

- ve směru působící síly 150 mm
- kolmo na směr působící síly 130 mm

Podlití: $t_p = 30\ mm$

Protokol posouzení návrhu kotvení pro tyto tři kombinace jsou součástí příloh.





4.5. Připojení segmentu podélného ztužení

4.5.1. Materiál

Plech: Ocel S235

$f_y = 235\ \text{MPa}$

$f_u = 360\ \text{MPa}$

Kolíky: Ocel S235

$d = 8\ \text{mm}$

$f_y = 235\ \text{MPa}$

$f_u = 360\ \text{MPa}$

Vrut: RAPI-TEC do tesařského kování

d = 8 mm

d_1 = 5,3 mm jmenovitý vnitřní průměr závitu

l = 60 mm

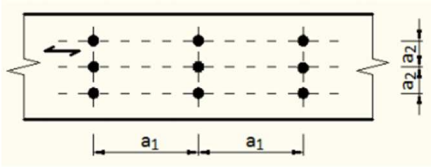
l_z = 54 mm délka závitu

d_m = 18 mm jmenovitý průměr hlavy

Šrouby: M12, pevnostní třída 4.6.

$f_{y,b} = 240\ \text{MPa}$

$f_{u,b} = 400\ \text{MPa}$



4.5.2. Kolíky

Minimální vzdálenosti:

<u>Dolní pás</u> ($\alpha = 50{,}72°$)

$a_1 = (3 + 2|\cos\alpha|)\ d = (3 + 2 \cdot \cos 50{,}72) \cdot 8 = 34{,}13\ \text{mm}$ → volím 35 mm

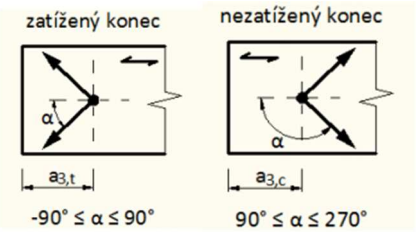
$a_2 = 3\ d = 3 \cdot 8 = 24\ \text{mm}$ → volím 50 mm

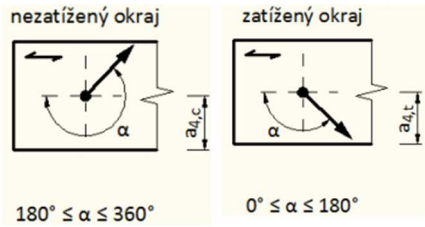
$a_{3,t} = \max(7\ d;\ 80) = \max(56; 80) = 80\ \text{mm}$

$a_{4,t} = \max[(2 + 2\ \sin\alpha)\ d;\ 3d] = \max[(2 + 2\ \sin 50{,}72)\ d; 24] = 28{,}38$

→ volím 45 mm

$a_{4,c} = 3\ d\ =\ 3 \cdot 8 = 24\ \text{mm}$ → volím 45 mm





<u>Horní pás</u> ($\alpha = 0°$)

$a_1 = (3 + 2|\cos\alpha|)\ d = (3 + 2 \cdot \cos 0) \cdot 8 = 40\ \text{mm}$ → volím 40 mm

$a_2 = 3\ d = 3 \cdot 8 = 24\ \text{mm}$ → volím 50 mm

$a_{3,t} = \max(7\ d;\ 80) = \max(56; 80) = 80\ \text{mm}$

$a_{4,t} = \max[(2 + 2\sin\alpha)\ d;\ 3d] = \max[(2 + 2\sin 0)\ d; 24] = 24$

→ volím 45 mm

$a_{4,c} = 3\ d\ =\ 3 \cdot 8 = 24\ \text{mm}$ → volím 45 mm

<u>Diagonála</u> ($\alpha = 0°$)

$a_1 = (3 + 2|\cos\alpha|)\ d = (3 + 2 \cdot \cos 0) \cdot 8 = 40\ \text{mm}$ → volím 40 mm

$a_2 = 3\ d = 3 \cdot 8 = 24\ \text{mm}$ → volím 36 mm

$a_{3,t} = \max(7\ d;\ 80) = \max(56; 80) = 80\ \text{mm}$

$a_{4,t} = \max[(2 + 2\sin\alpha)\ d;\ 3d] = \max[(2 + 2\sin 0)\ d; 24] = 24\ \text{mm}$

→ volím 32 mm

$a_{4,c} = 3\ d\ =\ 3 \cdot 8 = 24\ \text{mm}$ → volím 32 mm

- **Střih**

Podmínka:

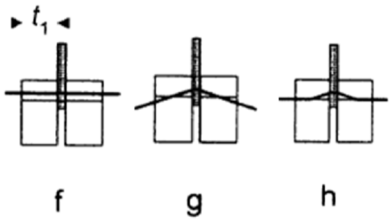
$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

<u>Dolní pás</u>

Počet kolíků n = 6

Zatížení směrem k vláknům α = 50,72°

$F_{v,Ed} = -13{,}145\ \text{kN}$



Únosnost kolíku pro jednu střihovou rovinu:

$f_{h,0,k} = 0{,}082\ (1 - 0{,}01\ d)\ \rho_k = 0{,}082\ (1 - 0{,}01 \cdot 8) \cdot 350 = 26{,}404\ \text{MPa}$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}\sin^2\alpha + \cos^2\alpha} = \frac{26{,}404}{1{,}47 \cdot \sin^2 50{,}72 + \cos^2 50{,}72} = 20{,}602\ \text{MPa}$$

$k_{90} = 1{,}35 + 0{,}015\ d = 1{,}35 + 0{,}015 \cdot 8 = 1{,}470$

$M_{y,Rk} = 0{,}3\ f_{u,b} d^{2,6} = 0{,}3 \cdot 360 \cdot 8^{2,6} = 24\ 069\ \text{Nmm}$

Ocelová deska libovolné tloušťky jako střední prvek dvoustřižného spoje:

$F_{v,Rk,f} = f_{h,1,k} t_1 d = 20{,}602 \cdot 47{,}5 \cdot 8 = 7{,}829\ \text{kN}$

$$F_{v,Rk,g} = f_{h,1,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1\right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,Rk,g} = 20{,}602 \cdot 47{,}5 \cdot 8 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 24069}{20{,}602 \cdot 8 \cdot 47{,}5^2}} - 1\right] + 0 = 3{,}938\ \text{kN}$$

$$F_{v,Rk,h} = 2{,}3\sqrt{M_{y,Rk}\ f_{h,1,k}\ d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 2{,}3\sqrt{24069 \cdot 20{,}602 \cdot 8} + 0$$

$F_{v,Rk,h}$ =4,581 kN

$$F_{v,Rk,1} = \min \begin{cases} F_{v,Rk,f} = 7{,}829\ \text{kN} \\ F_{v,Rk,g} = 3{,}938\ \text{kN} \\ F_{v,Rk,h} = 4{,}581\ \text{kN} \end{cases} = 3{,}938\ \text{kN}$$

$$F_{v,Rd,1} = k_{mod} \frac{F_{Rk,1}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{3{,}938}{1{,}30} = \mathbf{2{,}726\ kN}$$

Únosnost spoje pro n kolíků v řadě a 2 roviny střihu:

$F_{Rd} = 2 \cdot 2 \cdot\ n \cdot F_{v,Rd,1} = 2 \cdot 2 \cdot 2{,}05 \cdot 2{,}726 = 22{,}353\ \text{kN}$

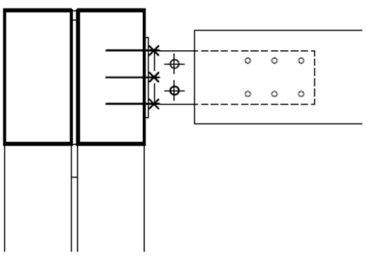
$n = 3$

$$n_{ef} = \min \begin{cases} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{cases} = \min \begin{cases} 3 \\ 3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{35}{13 \cdot 8}} \end{cases} = 2{,}05$$

Posouzení:

$$F_{v,Ed} = 13{,}145\ \text{kN} \leq F_{v,Rd} = 22{,}353\ \text{kN}$$

VYHOVUJE



Horní pás

Počet kolíků n = 6

Zatížení směrem k vláknům α = 0°

$F_{v,Ed} = -27{,}342\ \text{kN}$

Únosnost kolíku pro jednu střihovou rovinu:

$f_{h,0,k} = 0{,}082\ (1 - 0{,}01\ d)\ \rho_k = 0{,}082\ (1 - 0{,}01 \cdot 8) \cdot 350 = 26{,}404\ \text{MPa}$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2\alpha + \cos^2\alpha} = \frac{26{,}404}{1{,}47 \cdot \sin^2 0 + \cos^2 0} = 26{,}404\ \text{MPa}$$

$k_{90} = 1{,}35 + 0{,}015\ d = 1{,}35 + 0{,}015 \cdot 8 = 1{,}470$

$M_{y,Rk} = 0{,}3\ f_{u,b} d^{2,6} = 0{,}3 \cdot 360 \cdot 8^{2,6} = 24\ 069\ \text{Nmm}$

$F_{v,Rk,f} = f_{h,1,k} t_1 d = 26{,}404 \cdot 47{,}5 \cdot 8 = 10{,}034\ \text{kN}$

$$F_{v,Rk,g} = f_{h,1,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,Rk,g} = 26{,}404 \cdot 47{,}5 \cdot 8 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 24069}{26{,}404 \cdot 8 \cdot 47{,}5^2}} - 1 \right] + 0 = 4{,}855\ \text{kN}$$

$$F_{v,Rk,h} = 2{,}3 \sqrt{M_{y,Rk}\ f_{h,1,k}\ d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 2{,}3 \sqrt{24069 \cdot 26{,}404 \cdot 8} + 0$$

$F_{v,Rk,h}$ =5,186 kN

$$F_{v,Rk,1} = \min \begin{cases} F_{v,Rk,f} = 10{,}034\ \text{kN} \\ F_{v,Rk,g} = 4{,}855\ \text{kN} \\ F_{v,Rk,h} = 5{,}186\ \text{kN} \end{cases} = 4{,}855\ \text{kN}$$

$$F_{v,Rd,1} = k_{mod}\frac{F_{Rk,1}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{4{,}855}{1{,}30} = \mathbf{3{,}361\ kN}$$

Únosnost spoje pro n kolíků v řadě a 2 roviny střihu:

$F_{Rd} = 2 \cdot 2 \cdot\ n \cdot F_{v,Rd,1} = 2 \cdot 2 \cdot 2{,}12 \cdot 3{,}361 = 28{,}501\ kN$

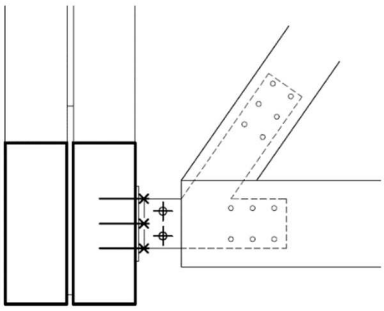
$n = 3$

$$n_{ef} = \min\begin{cases} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} = \min\begin{cases} 3 \\ 3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{40}{13 \cdot 8}} = 2{,}12 \end{cases} \end{cases}$$

Posouzení:

$$F_{v,Ed} = 27{,}342\ kN \leq F_{v,Rd} = 28{,}501\ kN$$

VYHOVUJE



Diagonála

Počet kolíků n = 6

Zatížení směrem k vláknům α = 0°

$F_{v,Ed} = -21{,}696\ kN$

Rozteč a_2 rovnoběžně s vlákny i zatížení směrem k vláknům jsou stejná jako v hornímu pásu:

$F_{Rd} = 2 \cdot 2 \cdot\ n \cdot F_{v,Rd,1} = 2 \cdot 2 \cdot 2{,}12 \cdot 3{,}361 = 28{,}501\ kN$

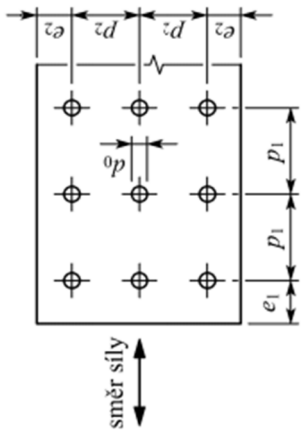
$n = 3$

$$n_{ef} = \min\begin{cases} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} = \min\begin{cases} 3 \\ 3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{40}{13 \cdot 8}} = 2{,}12 \end{cases} \end{cases}$$

Posouzení:

$$F_{v,Ed} = 21{,}696\ kN \leq F_{v,Rd} = 28{,}501\ kN$$

VYHOVUJE



- **Otlačení**

Podmínka:

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

Běžné rozteče otvorů:

$d = 8\ mm$ → $d_o = 8\ mm$

$e_1 = 2{,}0 \cdot d_o = 2{,}0 \cdot 8 = 16\ mm$ → volím 20 mm

$e_2 = 1{,}5 \cdot d_o = 1{,}5 \cdot 8 = 12\ mm$ → volím 15 mm

$p_2 = 3{,}0 \cdot d_o = 3{,}0 \cdot 8 = 24\ mm$ → $a_{2,min} = 36\ mm$

$$F_{b,Rd} = n\frac{k_b k_1 \alpha_b f_u dt}{\gamma_{M2}} = 6 \cdot \frac{1{,}0 \cdot 2{,}5 \cdot 360 \cdot 8 \cdot 5}{1{,}25} = 172{,}800\ \text{kN}$$

$k_b = 1{,}0$ přesné a obyčejné kruhové díry

$k_1 = 2{,}5$ pro $e_2 \geq 1{,}5\ d_0$

α_b nerozhoduje pokud $f_{ub} \geq f_u$

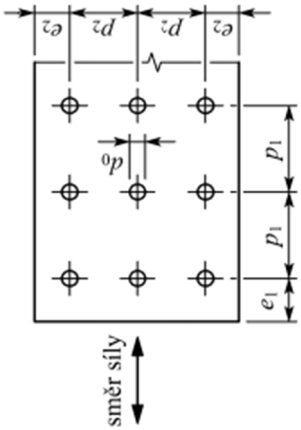
$f_{ub} = 360\ \text{MPa}$ mez pevnosti kolíků

$f_u = 360\ \text{MPa}$ mez pevnosti základního materiálu

$\gamma_{M2} = 1{,}25$

Posouzení: $F_{v,Ed} = 27{,}342\ \text{kN} \leq F_{b,Rd} = 138{,}240\ \text{kN}$

VYHOVUJE



4.5.3. Šrouby

$d = 12\ \text{mm}$

$d_m = 19{,}4\ \text{mm}$

$A = 113\ \text{mm}^2$

$A_S = 84{,}3\ \text{mm}^2$

Běžné rozteče otvorů:

$d = 12\ \text{mm}$ → $d_o = 12 + 1 = 13\ \text{mm}$

$e_1 = 2{,}0 \cdot d_o = 2{,}0 \cdot 13 = 26\ \text{mm}$ → volím 30 mm

$e_2 = 1{,}5 \cdot d_o = 1{,}5 \cdot 13 = 19{,}5\ \text{mm}$ → volím 20 mm

$p_2 = 3{,}0 \cdot d_o = 3{,}0 \cdot 13 = 39\ \text{mm}$ → volím 40 mm

- **Střih**

Podmínka:

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

Z podmínky silové podmínky rovnováhy v rovině musí velikost síly $F_{v,Ed}$ odpovídat výslednici vnitřních sil dolního pásu a diagonály v přilehlém styčníku.

$$F_{Ed} = \sqrt{(N_{DP} + N_{Di} \cdot \cos 50{,}72)^2 + (N_{Di} \cdot \sin 50{,}72)^2}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{(13{,}145 + 21{,}696 \cdot \cos 50{,}72)^2 + (21{,}696 \cdot \sin 50{,}72)^2} = 31{,}696\ \text{kN}$$

Smyková síla na jeden šroub:

$$F_{v,Ed} = \frac{F_{Ed}}{2} = \frac{31{,}696}{2} = 15{,}848$$

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha_V\ n\ {}_s f_{ub}\ A_S}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}6 \cdot 1 \cdot 400 \cdot 84{,}3}{1{,}25} = 16{,}186\ \text{kN}$$

$\alpha_V = 0{,}6$ pro pevnostní třídu 4.6

$n_s = 1$ počet střižných ploch

Posouzení: $F_{v,Ed} = 15{,}848\ \text{kN} \leq F_{b,Rd} = 16{,}186\ \text{kN}$

VYHOVUJE

- **Otlačení**

Podmínka:

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{b,Rd} = n\frac{k_b k_1 \alpha_b f_u dt}{\gamma_{M2}} = \frac{1{,}0 \cdot 2{,}5 \cdot 360 \cdot 12 \cdot 5}{1{,}25} = 43{,}200\ \text{kN}$$

$k_b = 1{,}0$ přesné a obyčejné kruhové díry

$k_1 = 2{,}5$ pro $e_2 \geq 1{,}5\ d_0$

α_b nerozhoduje pokud $f_{ub} \geq f_u$

$f_{ub} = 400\ \text{MPa}$ mez pevnosti šroubů

$f_u = 360\ \text{MPa}$ mez pevnosti základního materiálu

$\gamma_{M2} = 1{,}25$

Posouzení: $F_{v,Ed} = 15{,}848\ \text{kN} \leq F_{b,Rd} = 43{,}200\ \text{kN}$

VYHOVUJE

4.5.4. Plech

- **Prostý tlak**

Podmínka:

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

$$N_{c,Rd} = \min\{N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}\} = \min\{94{,}000\,;\,69{,}984\} = 69{,}984\ \text{kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A\,f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{400 \cdot 235}{1{,}0} = 94{,}000\ \text{kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0{,}9\,A_{net}\,f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 270 \cdot 360}{1{,}25} = 69{,}984\ \text{kN}$$

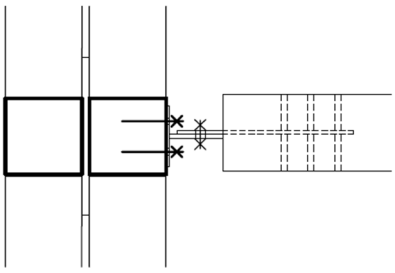
$$A = h \cdot t = 80 \cdot 5 = 400\ \text{mm}^2$$

$$A_{net} = A - 2\,d_o t = 400 - 2 \cdot 13 \cdot 5 = 270\ \text{mm}^2$$

Posouzení:

$$\frac{31{,}696}{69{,}984} = 0{,}45 \leq 1{,}0$$

VYHOVUJE



4.5.5. Svar plechu a čelní desky

Účinná tloušťka svaru $a = 3\ \text{mm}$

Délka svaru $l = 80\ \text{mm}$

Účinná délka svaru $l_{eff} = l - 2a = 80 - 2 \cdot 3 = 74\ \text{mm}$

$F_{x,Ed} = N_{DP} + N_{Di} \cdot \cos 50{,}72 = 13{,}145 + 21{,}696 \cos 50{,}72 = 26{,}881\ \text{kN}$

$F_{z,Ed} = N_{Di} \cdot \sin 50{,}72 = 21{,}696 \cos 50{,}72 = 16{,}794\ \text{kN}$

Podmínka:

$$\sqrt{\sigma_\perp{}^2 + 3(\tau_\perp{}^2 + \tau_\parallel{}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \wedge \sigma_\perp \leq \frac{0{,}9\, f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{F_{x,Ed}}{2\sqrt{2}\, a\, l_{eff}} = \frac{26881}{2\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 74} = 42{,}810\ \text{MPa}$$

$$\tau_\parallel = \frac{F_{z,Ed}}{2\, a\, l_{eff}} = \frac{16794}{2 \cdot 3 \cdot 74} = 37{,}824\ \text{MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0{,}8 \cdot 1{,}25} = 360\ \text{MPa}$$

$\beta_w = 0{,}8$ korelační součinitel pro ocel S235

Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_\perp{}^2 + 3(\tau_\perp{}^2 + \tau_\parallel{}^2)} = \sqrt{42{,}810^2 + 3 \cdot (42{,}810^2 + 37{,}824^2)} = 107{,}824\ \text{MPa}$$

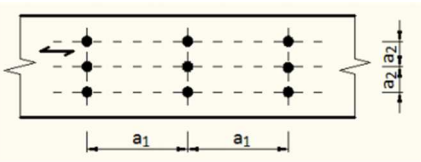
$$107{,}824\ \text{MPa} \leq 360\ \text{MPa}$$

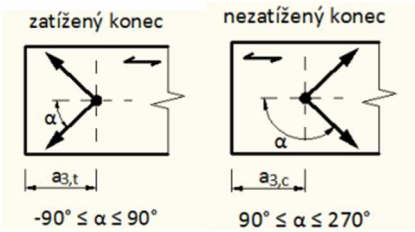
VYHOVUJE

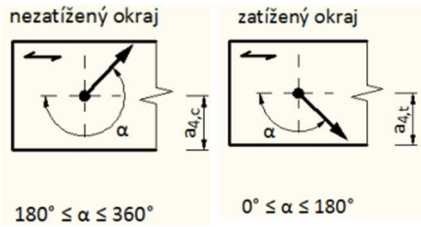
$$\frac{0{,}9\, f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 360}{1{,}25} = 259{,}2\ \text{MPa}$$

$$\sigma_\perp = 42{,}810 \leq \frac{0{,}9\, f_u}{\gamma_{M2}} = 259{,}2\ \text{MPa}$$

VYHOVUJE







4.5.6. Vruty

Minimální rozteče:

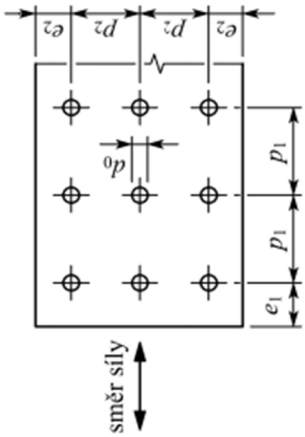
$a_1 = (4 + |\cos\alpha|)\, d = (4 + \cos 90) \cdot 8 = 32\ \text{mm}$ → volím 40 mm

$a_2 = (3 + |\sin\alpha|)\, d = (3 + \sin 90) \cdot 8 = 32\ \text{mm}$ → volím 50 mm

$a_{3,t} = (7 + 5|\cos\alpha|)\, d = (7 + 5 \cdot \cos 90) \cdot 8 = 56\ \text{mm}$ → volím 60 mm

$a_{3,c} = 7\, d = 7 \cdot 8 = 56\ \text{mm}$ → volím 60 mm

$a_{4,t} = (3 + 4|\sin\alpha|)\, d = (3 + 4 \cdot \sin 90) \cdot 8 = 56\ \text{mm}$ → volím 60 mm



$a_{4,c} = 3\,d = 3 \cdot 8 = 24\ \text{mm}$ → volím 25 mm

Běžné rozteče otvorů (ocelová deska):

$d = 8\ \text{mm}$ → $d_o = 8 + 1 = 9\ \text{mm}$

$e_1 = 2{,}0 \cdot d_o = 2{,}0 \cdot 9 = 18\ \text{mm}$ → volím 20 mm

$e_2 = 1{,}5 \cdot d_o = 1{,}5 \cdot 9 = 13{,}5\ \text{mm}$ → volím 20 mm

$p_1 = 3{,}5 \cdot d_o = 3{,}5 \cdot 9 = 31{,}5\ \text{mm}$ → volím 40 mm

$p_2 = 3{,}0 \cdot d_o = 3{,}0 \cdot 9 = 27\ \text{mm}$ → volím 40 mm

- **Střih**

Podmínka:

$$F_{z,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

Únosnost vrutu pro jednu střihovou rovinu:

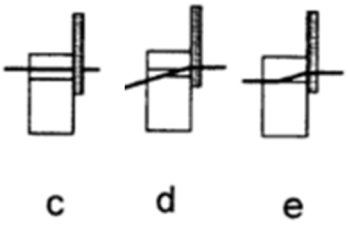
$d = 8\ \text{mm}$

$d_{ef} = 1{,}1 d_1 = 1{,}1 \cdot 5{,}3 = 5{,}83\ \text{mm}$

$t_p = 5\ \text{mm} \geq 0{,}5\ d_{ef} = 0{,}5 \cdot 5{,}83 = 2{,}915\ \text{mm}$ není tenká deska

$t_p = 5\ \text{mm} \leq 1{,}0\ d_{ef} = 5{,}83\ \text{mm}$ není tlustá deska

→ interpolace mezi limitními hodnotami únosností



$f_{h,k} = 0{,}082\,(1 - 0{,}01\,d)\,\rho_k = 0{,}082(1 - 0{,}01 \cdot 5{,}83) \cdot 380 = 29{,}343\ \text{MPa}$

$M_{y,Rk} = 26\,361\ \text{Nmm}$ deklarováno výrobcem

$t_1 = l_z - t_p = 54 - 5 = 49\ \text{mm}$

<u>Tenká deska jednostřižně namáhaná:</u>

$$F_{v,Rk,a} = 0{,}4\,f_{h,k} t_1 d = 0{,}4 \cdot 29{,}343 \cdot 44 \cdot 5{,}83 = 3{,}352\ \text{kN}$$

$$F_{v,Rk,b} = 1{,}15\sqrt{2\,M_{y,Rk}\,f_{h,k}\,d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 1{,}15\sqrt{2 \cdot 26\,361 \cdot 29{,}343 \cdot 5{,}83} + 0$$

$$F_{v,Rk,b} = 3{,}454\ \text{kN}$$

$$F_{v,Rk} = \min\begin{cases} F_{v,Rk,a} \\ F_{v,Rk,b} \end{cases} = \min\begin{cases} 3{,}352 \\ 3{,}454 \end{cases} = 3{,}352\ \text{kN}$$

<u>Tlustá deska jednostřižně namáhaná:</u>

$$F_{v,Rk,c} = f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1\right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,Rk,c} = 29{,}343 \cdot 49 \cdot 5{,}83 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 26\,361}{29{,}343 \cdot 5{,}83 \cdot 49^2}} - 1\right] + 0 = 4{,}210\ \text{kN}$$

$$F_{v,Rk,d} = 2{,}3\sqrt{M_{y,Rk}\,f_{h,k}\,d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 2{,}3\sqrt{26\,361 \cdot 29{,}343 \cdot 5{,}83} + 0$$

$$F_{v,Rk,d} = 4{,}884\ \text{kN}$$

$$F_{v,Rk,e} = f_{h,k} t_1 d = 29{,}343 \cdot 49 \cdot 5{,}83 = 8{,}382$$

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} F_{v,Rk,c} \\ F_{v,Rk,d} \\ F_{v,Rk,e} \end{cases} = \min \begin{cases} 4{,}210 \\ 4{,}884 \\ 8{,}382 \end{cases} = 4{,}210 \text{ kN}$$

lineární interpolace:

$$F_{v,1,Rk} = 3{,}352 + \frac{4{,}210 - 3{,}352}{5{,}83 - 2{,}915}(5{,}0 - 2{,}915) = \mathbf{3{,}966} \text{ kN}$$

$$F_{v,1,Rd} = k_{mod}\frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M2}} = 0{,}9\frac{3{,}966}{1{,}25} = 2{,}856 \text{ kN}$$

Navrhuji 6 vrutů:

$$F_{v,Rd} = n\, F_{v,1,Rd} = 6 \cdot 2{,}856 = 17{,}136 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$16{,}794 \text{ kN} \leq 17{,}136 \text{ kN}$$

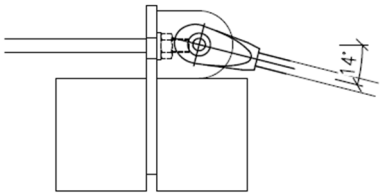
<u>VYHOVUJE</u>

- **Osově zatížené vruty**

Vruty jsou ve spoji zatíženy pouze tlakovou silou.

4.6. Přípoj táhla

4.6.1. Materiál



Plech: Ocel S355

$f_y = 355$ MPa

$f_u = 510$ MPa

Vrut: RAPI-TEC do tesařského kování

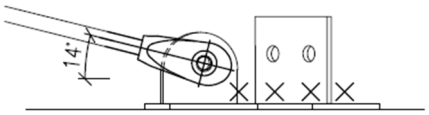
d = 8 mm

d_1 = 5,3 mm jmenovitý vnitřní průměr závitu

l_v = 60 mm

l_z = 54 mm délka závitu

d_m = 18 mm jmenovitý průměr hlavy



Tyče i koncovky táhla v místě napojení na sloup a vazník jsou navrženy ze systému Macalloy:

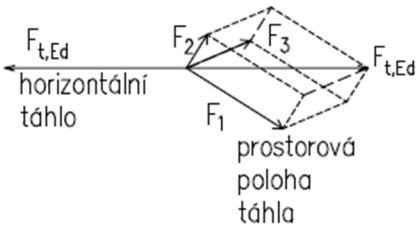
$f_y = 460$ MPa

$f_u = 610$ MPa

M12, d = 11 mm

Hodnoty pevnosti táhla Macalloy jsou výrazně vyšší než pro běžné horizontální tyče táhel mezi sloupy, proto i při nižším průměru tyče a rozkladu sil v místě krajního sloupu (viz níže) vyhoví.

4.6.2. Zatížení



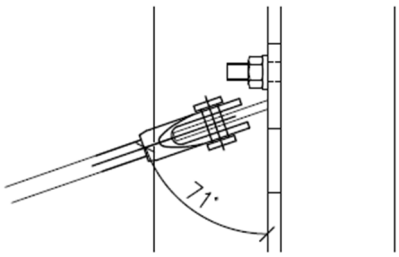
Rozklad sil v místě lomu táhel na pomezí krajního sloupu byl modelován pomocí AutoCAD 3D. Síly odpovídají stranám kvádru s tělesovou úhlopříčkou odpovídající velikosti normálové síly horizontálního táhla $F_{t,Ed}$.

Rozklad sil:
- F_1 síla zatěžující táhlo připojené k vazníku
- F_2 síla kolmo na rovinu plechu přivařenému k MKD desce sloupu
- F_3 síla v rovině plechu, kolmá k ose táhla

$F_1 = 4{,}095\ \text{kN}$
$F_2 = 1{,}410\ \text{kN}$
$F_3 = 1{,}079\ \text{kN}$

$$\sqrt{{F_1}^2+{F_2}^2+{F_3}^2} = \sqrt{4{,}095^2 + 1{,}410^2 + 1{,}079^2} = 4{,}463\ \text{kN} = F_{t,Ed}$$

4.6.3. Svar čepové a MKD desky

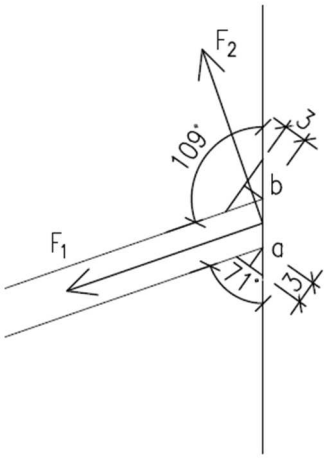


Účinná tloušťka svaru $a = 3\ \text{mm}$
Délka svaru $l = 60\ \text{mm}$
Účinná délka svaru $l_{eff} = l - 2a = 60 - 2 \cdot 3 = 54\ \text{mm}$

- **Svar a**

Podmínka:

$$\sqrt{{\sigma_\perp}^2 + 3({\tau_\perp}^2 + {\tau_\parallel}^2)} \le \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \wedge \sigma_\perp \le \frac{0{,}9\, f_u}{\gamma_{M2}}$$



Síla F_1:

$$\tau_\perp = \frac{F_1}{2\, a\, l_{eff}} \cos\frac{\alpha}{2} = \frac{4095}{2 \cdot 3 \cdot 54} \cdot \cos\frac{71}{2} = 10{,}290\ \text{MPa}$$

$$\sigma_\perp = \frac{F_1}{2\, a\, l_{eff}} \sin\frac{\alpha}{2} = \frac{4095}{2 \cdot 3 \cdot 54} \cdot \sin\frac{71}{2} = 7{,}340\ \text{MPa}$$

Síla F_2:

$$\tau_\perp = \frac{F_2 \cdot \cos 55}{a\, l_{eff}} = \frac{1410 \cdot \cos 55}{3 \cdot 54} = 4{,}992\ \text{MPa}$$

$$\sigma_\perp = \frac{F_2 \cdot \cos 35}{a\, l_{eff}} = \frac{1410 \cdot \cos 35}{3 \cdot 54} = 7{,}130\ \text{MPa}$$

Síla F_3:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_3}{2\,a\,l_{eff}} = \frac{1079}{2 \cdot 3 \cdot 54} = 3{,}330\ \text{MPa}$$

Velikost složek napětí ve svaru:

$$\sigma_{\perp} = 7{,}340 + 7{,}130 = 14{,}47\ \text{MPa}$$

$$\tau_{\perp} = 10{,}290 + 4{,}992 = 15{,}282\ \text{MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 3{,}330\ \text{MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{510}{0{,}9 \cdot 1{,}25} = 453{,}33\ \text{MPa}$$

$\beta_w = 0{,}9$ korelační součinitel pro ocel S355

Posouzení:

$$\sqrt{{\sigma_{\perp}}^2 + 3({\tau_{\perp}}^2 + {\tau_{\parallel}}^2)} = \sqrt{14{,}470^2 + 3 \cdot (15{,}282^2 + 3{,}330^2)} = 30{,}713\ \text{MPa}$$

$$30{,}713\ \text{MPa} \leq 453{,}33\ \text{MPa}$$

<u>VYHOVUJE</u>

$$\frac{0{,}9\,f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 510}{1{,}25} = 367{,}2\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 14{,}470 \leq \frac{0{,}9\,f_u}{\gamma_{M2}} = 367{,}2\ \text{MPa}$$

<u>VYHOVUJE</u>

- **Svar <u>b</u>**

Síla F_1:

$$\tau_{\perp} = \frac{F_1}{2\,a\,l_{eff}} \cos\frac{\alpha}{2} = \frac{4095}{2 \cdot 3 \cdot 54} \cdot \sin\frac{71}{2} = 7{,}340\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{F_1}{2\,a\,l_{eff}} \sin\frac{\alpha}{2} = \frac{4095}{2 \cdot 3 \cdot 54} \cdot \cos\frac{71}{2} = 10{,}290\ \text{MPa}$$

Síla F_2:

$$\tau_{\perp} = \frac{F_2 \cdot \cos 35}{a\,l_{eff}} = \frac{1410 \cdot \cos 35}{3 \cdot 54} = 7{,}130\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{F_2 \cdot \cos 55}{a\,l_{eff}} = \frac{1410 \cdot \cos 55}{3 \cdot 54} = 4{,}992\ \text{MPa}$$

Síla F_3:

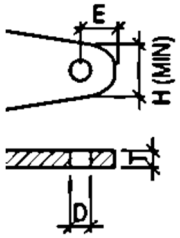
$$\tau_{\parallel} = \frac{F_3}{2\,a\,l_{eff}} = \frac{1079}{2 \cdot 3 \cdot 54} = 3{,}330\ \text{MPa}$$

Velikost složek napětí ve svaru:

$$\sigma_{\perp} = 10{,}290 + 4{,}992 = 15{,}282\ \text{MPa}$$

$$\tau_{\perp} = 7{,}340 + 7{,}130 = 14{,}47\ \text{MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 3{,}330\ \text{MPa}$$



Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_\perp{}^2 + 3(\tau_\perp{}^2 + \tau_\parallel{}^2)} = \sqrt{15{,}282^2 + 3 \cdot (14{,}47^2 + 3{,}330^2)} = 29{,}916\ \text{MPa}$$

$$29{,}916\ \text{MPa} \leq\ 453{,}33\ \text{MPa}$$

VYHOVUJE

$$\frac{0{,}9\ f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 510}{1{,}25} = 367{,}2\ \text{MPa}$$

$$\sigma_\perp = 15{,}282 \leq \frac{0{,}9\ f_u}{\gamma_{M2}} = 367{,}2\ \text{MPa}$$

VYHOVUJE

4.6.4. Plech

$t_p = 10\ \text{mm}$

$b = 2\ e_2 = 2 \cdot 25 = 50\ \text{mm}$

Požadavky výrobce na plech pro přípoj koncovkou Macalloy:

$D = 13\ \text{mm}$

$E = 22\ \text{mm}$ → volím $E = 30\ \text{mm}$

$H = 34\ \text{mm}$ → volím $H = 60\ \text{mm}$

- **Prostý tah**

Podmínka:

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

$N_{t,Rd} = \min\{N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}\} = \min\{\ 213\ ; 172{,}584\} = 172{,}584\ \text{kN}$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A\ f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{600 \cdot 355}{1{,}0} = 213{,}00\ \text{kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0{,}9\ A_{net}\ f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 470 \cdot 510}{1{,}25} = 172{,}584\ \text{kN}$$

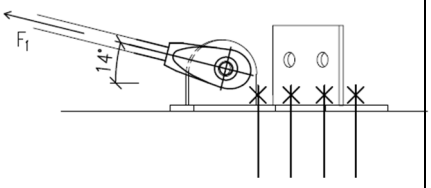
$A = b \cdot t = 60 \cdot 10 = 600\ \text{mm}^2$

$A_{net} = A - d_o t = 600 - 13 \cdot 10 = 470\ \text{mm}^2$

Posouzení:

$$\frac{4{,}095}{172{,}584} = 0{,}02 \leq 1{,}0$$

VYHOVUJE



4.6.5. Svar plechu a kování

Účinná tloušťka svaru $a = 3\ \text{mm}$

Délka svaru $l = 60\ \text{mm}$

Účinná délka svaru $l_{eff} = l - 2a = 60 - 2 \cdot 3 = 54\ \text{mm}$

Podmínka:

$$\sqrt{\sigma_\perp{}^2 + 3(\tau_\perp{}^2 + \tau_\parallel{}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \wedge \sigma_\perp \leq \frac{0{,}9\ f_u}{\gamma_{M2}}$$

Svar je namáhán pouze silou F_1 v rovině plechu:

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{F_1 \cdot \sin 14}{2\sqrt{2}\ a\ l_{eff}} = \frac{4095 \cdot \sin 14}{2\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 54} = 2{,}162\ \text{MPa}$$

$$\tau_\parallel = \frac{1 \cdot \cos 14}{2\ a\ l_{eff}} = \frac{4095 \cdot \cos 14}{2 \cdot 3 \cdot 54} = 12{,}263\ \text{MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{510}{0{,}9 \cdot 1{,}25} = 453{,}33\ \text{MPa}$$

$\beta_w = 0{,}9$ korelační součinitel pro ocel S355

Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_\perp{}^2 + 3(\tau_\perp{}^2 + \tau_\parallel{}^2)} = \sqrt{2{,}162^2 + 3 \cdot (2{,}162^2 + 12{,}263^2)} = 21{,}676\ \text{MPa}$$

$$21{,}676\ \text{MPa} \leq 453{,}33\ \text{MPa}$$

<u>VYHOVUJE</u>

$$\frac{0{,}9\ f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 510}{1{,}25} = 367{,}2\ \text{MPa}$$

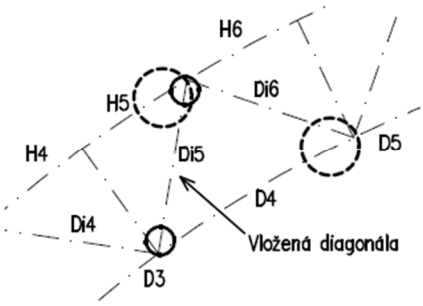
$$\sigma_\perp = 2{,}162 \leq \frac{0{,}9\ f_u}{\gamma_{M2}} = 367{,}2\ \text{MPa}$$

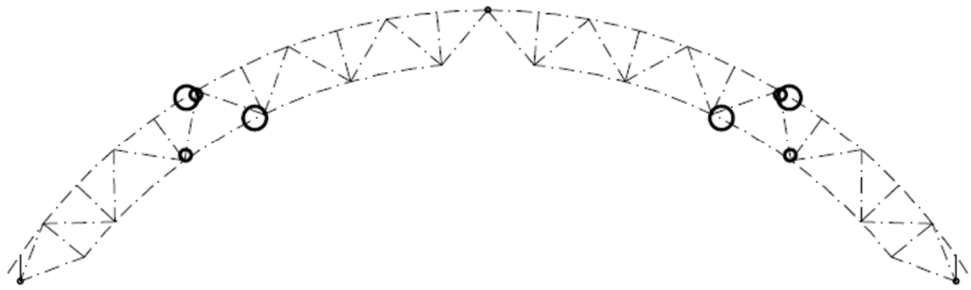
<u>VYHOVUJE</u>

$$\sigma_\perp = 11{,}683 \leq \frac{0{,}9\ f_u}{\gamma_{M2}} = 259{,}2\ \text{MPa}$$

<u>VYHOVUJE</u>

4.7. Montážní spoj vazníku





4.7.1. Materiál

MKD deska: Ocel S355

$f_y = 355\ \text{MPa}$

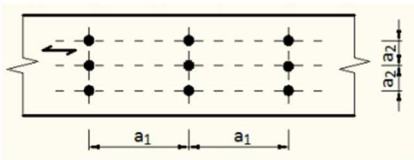
$f_u = 510\ \text{MPa}$

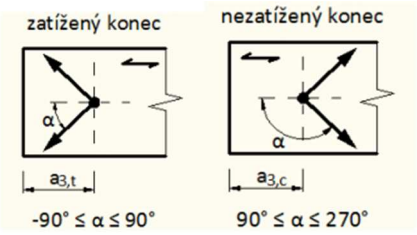
Kolíky: Ocel S235

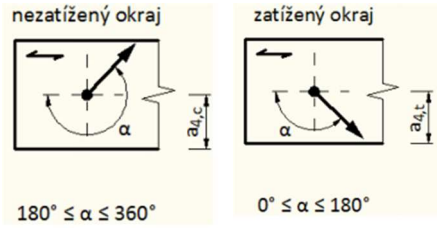
$d = 8\ \text{mm}$

$f_y = 235\ \text{MPa}$

$f_u = 360\ \text{MPa}$







4.7.2. Kolíky

Minimální vzdálenosti:

$a_1 = (3 + 2|\cos\alpha|)\ d = (3 + 2 \cdot \cos 0) \cdot 8 = 40\ \text{mm}$ → volím 50 mm

$a_2 = 3\ d = 3 \cdot 8 = 24\ \text{mm}$ → volím 25 mm

$a_{3,t} = \max(7\ d;\ 80) = \max(56; 80) = 80\ \text{mm}$

$a_{4,t} = \max[(2 + 2\ \sin\alpha)\ d;\ 3d] = \max[(2 + 2\ \sin 0)\ d; 24] = 24$

→ volím 25 mm

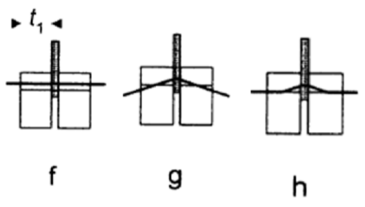
$a_{4,c} = 3\ d\ =\ 3 \cdot 8 = 24\ \text{mm}$ → volím 25 mm

- **Střih**

Podmínka:

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

Zatížení směrem k vláknům α = 0°



Únosnost kolíku pro jednu střihovou rovinu:

$f_{h,0,k} = 0{,}082\ (1 - 0{,}01\ d)\ \rho_k = 0{,}082\ (1 - 0{,}01 \cdot 8) \cdot 380 = 28{,}667\ \text{MPa}$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}\ \sin^2\alpha + \cos^2\alpha} = \frac{28{,}667}{1{,}47 \cdot \sin^2 0 + \cos^2 0} = 28{,}667\ \text{MPa}$$

$k_{90} = 1{,}35 + 0{,}015\ d = 1{,}35 + 0{,}015 \cdot 8 = 1{,}470$

$M_{y,Rk} = 0{,}3\ f_{u,b} d^{2,6} = 0{,}3 \cdot 360 \cdot 8^{2,6} = 24\ 069\ \text{Nmm}$

Ocelová deska libovolné tloušťky jako střední prvek dvoustřižného spoje:

$F_{v,Rk,f} = f_{h,1,k} t_1 d = 28{,}667 \cdot 100 \cdot 8 = 22{,}934\ \text{kN}$

$$F_{v,Rk,g} = f_{h,1,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1\right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

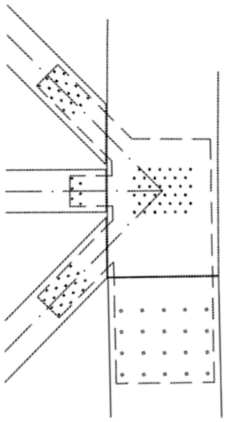
$$F_{v,Rk,g} = 28{,}667 \cdot 100 \cdot 8 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 24069}{28{,}667 \cdot 8 \cdot 100^2}} - 1 \right] + 0 = 9{,}838 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk,h} = 2{,}3 \sqrt{M_{y,Rk}\, f_{h,1,k}\, d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 2{,}3 \sqrt{24069 \cdot 28{,}667 \cdot 8} + 0$$

$F_{v,Rk,h}$ =5,404 kN

$$F_{v,Rk,1} = \min \begin{cases} F_{v,Rk,f} = 22{,}934 \text{ kN} \\ F_{v,Rk,g} = 9{,}838 \text{ kN} \\ F_{v,Rk,h} = 5{,}404 \text{ kN} \end{cases} = 3{,}938 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd,1} = k_{mod} \frac{F_{Rk,1}}{\gamma_M} = 0{,}9 \cdot \frac{5{,}404}{1{,}25} = \mathbf{3{,}891\ kN}$$



Únosnost spoje pro n kolíků v řadě a 2 roviny střihu:

<u>Dolní pás</u>

Počet kolíků = 20

$F_{v,Ed} = 85{,}944$ kN

Navržené vzdálenosti kolíků:

$a_1 = 50$ mm

$a_2 = 50$ mm

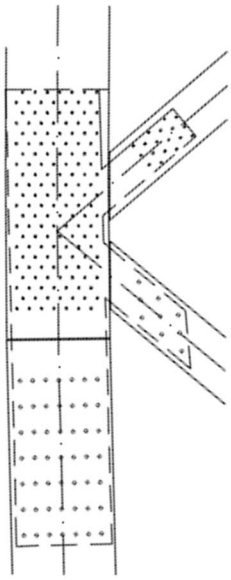
$a_{3,t} = 80$ mm

$a_{4,c} = 30$ mm

$$F_{Rd} = 5 \cdot 2 \cdot n_{ef} \cdot F_{v,Rd,1} = 5 \cdot 2 \cdot 2{,}9 \cdot 3{,}891 = 112{,}839 \text{ kN}$$

$n = 4$

$$n_{ef} = \min \begin{cases} n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \\ n \end{cases} = \min \begin{cases} 4^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{50}{13 \cdot 8}} \\ 4 \end{cases} = 2{,}9$$



Posouzení:

$$F_{v,Ed} = 85{,}944 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 112{,}839 \text{ kN}$$

<u>Horní pás</u>

Počet kolíků = 49

$F_{v,Ed} = -239{,}947$ kN

Navržené vzdálenosti kolíků:

$a_1 = 50$ mm

$a_2 = 25$ mm

$a_{3,t} = 80$ mm

$a_{4,c} = 25$ mm

$$F_{Rd} = 7 \cdot 2 \cdot n_{ef} \cdot F_{v,Rd,1} = 7 \cdot 2 \cdot 4{,}80 \cdot 3{,}891 = 261{,}475 \text{ kN}$$

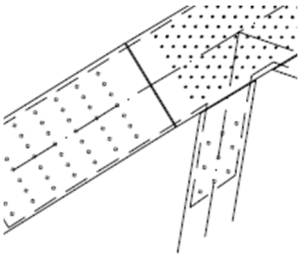
$n = 7$

$$n_{ef} = \min\begin{cases} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{cases} = \min\begin{cases} 7 \\ 7^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{50}{13 \cdot 8}} \end{cases} = 4{,}80$$

Posouzení:

$$F_{v,Ed} = 239{,}947\ \text{kN} \leq F_{v,Rd} = 261{,}475\ \text{kN}$$

VYHOVUJE



Diagonála

Počet kolíků = 9

$F_{v,Ed} = -48{,}081\ \text{kN}$

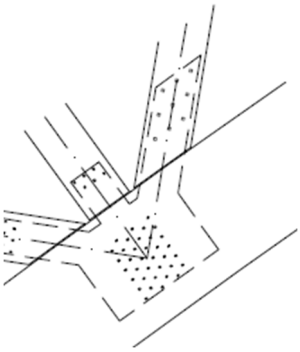
Navržené vzdálenosti kolíků:

$a_1 = 50\ \text{mm}$

$a_2 = 25\ \text{mm}$

$a_{3,t} = 80\ \text{mm}$

$a_{4,c} = 25\ \text{mm}$



$F_{Rd} = 3 \cdot 2 \cdot\ n_{ef} \cdot F_{v,Rd,1} = 3 \cdot 2 \cdot 2{,}24 \cdot 3{,}891 = 52{,}295\ \text{kN}$

$n = 3$

$$n_{ef} = \min\begin{cases} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{cases} = \min\begin{cases} 3 \\ 3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{50}{13 \cdot 8}} \end{cases} = 2{,}24$$

Posouzení:

$$F_{v,Ed} = 48{,}081\ \text{kN} \leq F_{v,Rd} = 52{,}295\ \text{kN}$$

VYHOVUJE

- **Otlačení**

Podmínka:

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

Běžné rozteče otvorů:

$d = 8\ \text{mm}$ → $d_o = 8\ \text{mm}$ (otvory bez vůle pro zamezení prokluzu)

$e_1 = 2{,}0 \cdot d_o = 2{,}0 \cdot 8 = 16\ \text{mm}$ → volím 20 mm

$e_2 = 1{,}5 \cdot d_o = 1{,}5 \cdot 8 = 12\ \text{mm}$ → volím 15 mm

$p_1 = 3{,}5 \cdot d_o = 3{,}5 \cdot 8 = 28\ \text{mm}$ → volím 50 mm

$p_2 = 3{,}0 \cdot d_o = 3{,}0 \cdot 8 = 24\ \text{mm}$ → volím 25 mm

$$F_{b,Rd} = \frac{k_b k_1 \alpha_b f_u dt}{\gamma_{M2}} = \frac{1{,}0 \cdot 2{,}5 \cdot 0{,}71 \cdot 510 \cdot 8 \cdot 10}{1{,}25} = 57{,}986\ \text{kN}$$

$k_b = 1{,}0$ přesné a obyčejné kruhové díry

$k_1 = 2{,}5$ pro $e_2 \geq 1{,}5\ d_0$

$$\alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{360}{510} = 0{,}71$$

$f_{ub} = 360\ \text{MPa}$ mez pevnosti kolíků

$f_u = 510\ \text{MPa}$ mez pevnosti základního materiálu

$\gamma_{M2} = 1{,}25$

Dolní pás

Posouzení: $F_{v,Ed} = 85{,}944\ \text{kN} \leq 20 \cdot F_{b,Rd} = 1159{,}720\ \text{kN}$

VYHOVUJE

Horní pás

Posouzení: $F_{v,Ed} = 239{,}947\ \text{kN} \leq 49 \cdot F_{b,Rd} = 2841{,}314\ \text{kN}$

VYHOVUJE

Diagonála

Posouzení: $F_{v,Ed} = 48{,}081\ \text{kN} \leq 9 \cdot F_{b,Rd} = 521{,}874\ \text{kN}$

VYHOVUJE

4.7.3. Styčníková deska

Deska MKD oslabená otvory pro kolíky.

$t_p = 10\ \text{mm}$

- **Prostý tah**

Podmínka:

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

Dolní pás

$N_{t,Rd} = \min\{N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}\} = \min\{816{,}5\ ; 697{,}680\} = 697{,}680\ \text{kN}$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A\ f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2300 \cdot 355}{1{,}0} = 816{,}5\ \text{kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0{,}9\ A_{net}\ f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 1900 \cdot 510}{1{,}25} = 697{,}680\ \text{kN}$$

$A = b \cdot t_p = 230 \cdot 10 = 2300\ \text{mm}^2$

$A_{net} = A - 5 \cdot d_o t_p = 2300 - 5 \cdot 8 \cdot 10 = 1900\ \text{mm}^2$

Posouzení:

$$\frac{85{,}944}{198{,}288} = 0{,}43 \leq 1{,}0$$

VYHOVUJE

Horní pás

$N_{t,Rd} = \min\{N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}\} = \min\{639\ ; 455{,}538\} = 455{,}328\ \text{kN}$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A\,f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1800 \cdot 355}{1{,}0} = 639\ \text{kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0{,}9\,A_{net}\,f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 1240 \cdot 510}{1{,}25} = 455{,}328\ \text{kN}$$

$$A = b \cdot t_p = 180 \cdot 10 = 1800\ \text{mm}^2$$

$$A_{net} = A - 7 \cdot d_o t_p = 1800 - 7 \cdot 8 \cdot 10 = 1240\ \text{mm}^2$$

Posouzení:

$$\frac{239{,}947}{455{,}328} = 0{,}53 \leq 1{,}0$$

VYHOVUJE

Diagonála:

$$N_{t,Rd} = \min\{N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}\} = \min\{284\,; 198{,}288\} = 198{,}288\ \text{kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A\,f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{800 \cdot 355}{1{,}0} = 284\ \text{kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0{,}9\,A_{net}\,f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 \cdot 540 \cdot 510}{1{,}25} = 198{,}288\ \text{kN}$$

$$A = b \cdot t_p = 80 \cdot 10 = 800\ \text{mm}^2$$

$$A_{net} = A - 2 \cdot d_o t_p = 800 - 2 \cdot 8 \cdot 10 = 640\ \text{mm}^2$$

Posouzení:

$$\frac{48{,}081}{198{,}288} = 0{,}24 \leq 1{,}0$$

VYHOVUJE

4.7.4. MKD deska

Únosnost hřebíku pro jednu střihovou rovinu: $F_{v,Rd} = 1{,}323\ \text{kN}$

Návrt počtu hřebíku pro MKD desky montážního spoje:

Prvek	N_{tah}	N_{tlak}	N_{max}	$n_{tot}=N_{max}/F_{v,Rd}$	$n_{tot}/2$	Návrh
D5	87,465	-47,692	87,465	66,11	33,06	36
H6	57,386	-289,292	-289,292	218,66	109,33	154
Di4	47,537	-10,837	47,537	35,93	17,97	18
Di6	41,043	-13,94	41,043	31,02	15,51	18
Di7	22,144	-30,241	-30,241	22,86	11,43	15
V3	1,774	-1,828	-1,828	1,38	0,69	6
V4	11,131	-11,858	-11,858	8,96	4,48	6

Pouze v místě horního pásu H6 se nachází více než 6 hřebíků v jedné řadě a je tedy nutná redukce:

Navrženo 2x 7 řad po 11 hřebících

$$n_{ef} = 6 + \frac{2}{5}\,(11 - 6)\ = 6 + \frac{2}{5}(11 - 6) = 8$$

Účinný počet hřebíků: $2 \cdot 7 \cdot 8 = 112 \geq 109{,}33$

VYHOVUJE

Uspořádání hřebíků viz detail montážního spoje, navrženo dle podmínek popsaných výše.

5. POUŽITÉ ZNAKY

5.1. Písmena velké latinské abecedy

A	průřezová plocha
A_i	plocha poloviny průřezu u členěných průřezů
A_s	plocha šroubu v místě závitu
A_{net}	plocha průřezu v místě oslabení otvorem
$B_{p,Rd}$	návrhová únosnost na protlačení
C_e	součinitel expozice
C_t	tepelný součinitel
$E_{0,05}$	5% kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny
E_{mean}	průměrná hodnota modulu pružnosti
$F_{ax,\alpha,Rk}$	charakteristická osová únosnost spoj. prostředku na vytažení
$F_{b,Rd}$	návrhová únosnost v otlačení
F_{Ed}	návrhová zatěžovací síla
F_s	stabilizující síla
$F_{t,Ed}$	návrhová tahová síla
$F_{t,Rd}$	návrhová únosnost v tahu
$F_{t,Rk}$	charakteristická únosnost v tahu
$F_{v,Ed}$	návrhová zatěžovací síla na jeden spojovací prostředek
$F_{v,Rd}$	návrhová únosnost pro jeden spojovací prostředek
$F_{v,Rk}$	charakteristická únosnost pro jeden spojovací prostředek
G_k	hlavní stálé zatížení
G_i	ostatní stálé zatížení
$I_v(z)$	intenzita turbulence
I_y	moment setrvačnosti průřezu k ose y
$I_{i,y}$	moment setrvačnosti části průřezu k ose y
I_z	moment setrvačnosti průřezu k ose z
$I_{i,z}$	moment setrvačnosti části průřezu k ose z
L_{cr}	vzpěrná délka prutu
$M_{p,Ed}$	přídavný ohybový moment
$M_{y,Ed}$	návrhový ohybový moment k ose y
M_{Rd}	návrhová únosnost v ohybu
$M_{x,Ed}$	návrhový ohybový moment k ose x
$M_{z,Ed}$	návrhový ohybový moment k ose z
$M_{y,Rk}$	charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku
MSÚ	mezní stav únosnosti
MSP	mezní stav použitelnosti
$N_{c,Rd}$	návrhová únosnost průřezu v tlaku
N_{Ed}	návrhová normálová síla
$N_{p,Ed}$	přídavná návrhová normálová síla
$N_{t,Rd}$	návrhová únosnost průřezu v tahu
V_{Ed}	návrhová posouvající síla
$V_{y,Ed}$	návrhová posouvající síla ve směru osy y

$V_{z,Ed}$	návrhová posouvající síla ve směru osy z
W_{el}	elastický průřezový modul
$W_{i,z}$	průřezový modul části průřezu k ose z
W_y	průřezový modul ose y
W_z	průřezový modul ose z

5.2. Písmena malé latinské abecedy

a	účinná tloušťka svaru
b	šířka průřezu
$c_{pe,10}$	součinitel vnějšího tlaku větru pro plochy větší než 10 m^2
c_{dir}	součinitel směru větru
$c_r(z)$	součinitel drsnosti terénu
$c_o(z)$	součinitel orografie
c_{season}	součinitel ročního období
$f_{h,0,k}$	charakteristická pevnost v otlačení ve směru zatížení α = 0°
$f_{h,\alpha,k}$	charakteristická pevnost v otlačení ve směru zatížení α
f_u	mez pevnosti základního materiálu
f_{ub}	mez pevnosti spojovacího prostředku
f_y	mez kluzu
h_{tot}	celková výška
h	výška průřezu
i_y	poloměr setrvačnosti k ose y
i_z	poloměr setrvačnosti k ose z
$i_{i,z}$	poloměr setrvačnosti části složeného průřezu k ose z
k_{def}	součinitel dotvarování
k_{mod}	modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti
k_I	součinitel turbulence
k_m	součinitel pro redistribuci napětí a vliv nehomogenit materiálu v průřezu
l	délka
l_{ef}	vzpěrná délka prutu
l_{eff}	účinná délka
	účinná délka svaru
n_{tot}	celkový počet spojovacích prostředků ve spoji
n	počet spojovacích prostředků
q_b	základní dynamický tlak větru
$q_p(z)$	maximální dynamický tlak větru
s_k	charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi
s	charakteristická hodnota zatížení sněhem na střeše
u_{fin}	hodnota konečné deformace
u_{inst}	hodnota okamžité deformace
v_b	základní rychlost větru
$v_{b,0}$	výchozí hodnota základní rychlosti větru
$v_m(z)$	střední rychlost větru
y_T	poloha těžiště na ose y

$y_{T,1}$	poloha těžiště části průřezu 1 na ose y
$y_{T,2}$	poloha těžiště části průřezu 2 na ose y
z	výška nad zemí
z_0	parametr drsnosti terénu
z_{min}	minimální výška

5.3. Písmena malé řecké abecedy

α	úhel mezi silou a směrem vláken
	úhel mezi směrem zatížením a zatíženým okrajem (nebo koncem)
	součinitel imperfekce
β_c	součinitel přímosti
β_w	korelační součinitel pro svařování oceli
γ	objemová tíha
γ_M	dílčí součinitel vlastností materiálu
γ_G	dílčí součinitel stálého zatížení
γ_Q	dílčí součinitel proměnného zatížení
λ	kritická štíhlost
λ_1	srovnávací štíhlost
λ'	poměrná štíhlost
λ_y	štíhlostní poměr odpovídající ohybu kolem osy y
λ_z	štíhlostní poměr odpovídající ohybu kolem osy z
$\lambda_{rel,y}$	poměrný štíhlostní poměr odpovídající ohybu kolem osy y
$\lambda_{rel,z}$	poměrný štíhlostní poměr odpovídající ohybu kolem osy z
ρ_k	charakteristická hustota
ρ_m	průměrná hustota
$\sigma_{c,0,d}$	návrhové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny
$\sigma_{m,crit}$	kritické ohybové napětí
$\sigma_{m,y,d}$	návrhové napětí v ohybu k hlavní ose y
$\sigma_{m,z,d}$	návrhové napětí v ohybu k hlavní ose z
$\sigma_{t,0,d}$	návrhové napětí v tahu rovnoběžně s vlákny
$\sigma_\perp$	návrhová hodnota napětí kolmo k účinnému průřezu svaru
σ_M	návrhová hodnota napětí od ohybu v účinném průřezu svaru
$\tau_\perp$	návrhová hodnota napětí kolmo k podélné ose účinného průřezu svaru
$\tau_\parallel$	návrhová hodnota napětí rovnoběžně s podélnou osou účinného průřezu svaru
τ_d	návrhové napětí ve smyku
χ	součinitel vzpěrnosti
ψ_0	součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení
ψ_2	součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem; Praha: Český normalizační institut, 2004

[2] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem; Praha: Český normalizační institut, 2005

[3] ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby; Praha: Český normalizační institut, 2007

[4] ČSN EN 386: Lepené lamelové dřevo - Požadavky na užitné vlastnosti a minimální výrobní požadavky

[5] PILGR, M. Kovové konstrukce. Podklady pro navrhování prvků ocelových konstrukcí [online]. Brno: 2018, 700 s. Dostupné na <www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/studijni-materialy.htm>

[6] Dřevěné konstrukce – Příklady výpočtu a řešení podle Eurokódu 5 ČSN EN 1995-1-1. Překlad příkladů z německých skript Holzbau I-II-III 2012, Univerzita Wismar, autor prof. Ralf-W. Boddenberg, překlad a odborná redakce Bohumil Koželouh. Vydala VOŠ a SPŠ Volyně, duben 2015

[7] KOŽELOUH, Bohumil, ed. Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004

[8] KOŽELOUH, Bohumil, Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5. Zlín: KODR, 1998

[9] SCHITTICH, Christian. Holz: Wood : best of Detail. München: Edition Detail, 2014

[10] REMEŠ, Josef. Stavební příručka: to nejdůležitější z norem, vyhlášek a zákonů. 2., aktualiz. vyd. Praha: Grada, 2014. Stavitel

[11] LORENZ, Karel. Navrhování nosných konstrukcí. Praha: ČKAIT, 2015

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ
INSTITUTE OF STEEL AND TIMBER STRUCTURES

ZASTŘEŠENÍ VÍCEÚČELOVÉHO SPORTOVNÍHO OBJEKTU
ROOF STRUCTURE OF MULTIPURPOSE SPORTS HALL

A - TECHNICKÁ ZPRÁVA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Leoš Málek
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Stanislav Buchta, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2019

OBSAH

1. Základní informace 3
1.1. Dispozice 3
1.2. Geometrie konstrukce zastřešení 4
2. Volba statického modelu 5
2.1. Vazník 5
2.2. Sloup 5
3. Střešní plášť 5
4. Opláštění čelní stěny 6
5. Materiály 6
5.1. GL24h 6
5.2. C22 6
5.3. C24 6
5.4. Ocel S235 6
5.5. Ocel S355 6
6. Konstrukce 7
6.1. Vazník 7
6.2. Sloup 7
6.3. Podélné ztužení 8
6.4. Příčné ztužení 8
6.5. Táhlo 9
7. Kotvení 9
7.1. Vazník 9
7.2. Sloup 9
8. Montáž 10
8.1. Vazník 10
8.2. Sloup 10
9. Ochrana konstrukce 10
10. Výkaz materiálu 11
11. Seznam použité literatury 12

1. Základní informace

Práce je zaměřena na návrh nosné konstrukce víceúčelové sportovní haly ve městě Blansko. Kromě nosné funkce plní konstrukce i funkci estetickou, kdy jsou všechny konstrukční prvky pohledově přiznané. Záměrem je maximální prefabrikace konstrukčních částí ve výrobě a minimalizace času stráveného v místě stavby.

1.1. Dispozice

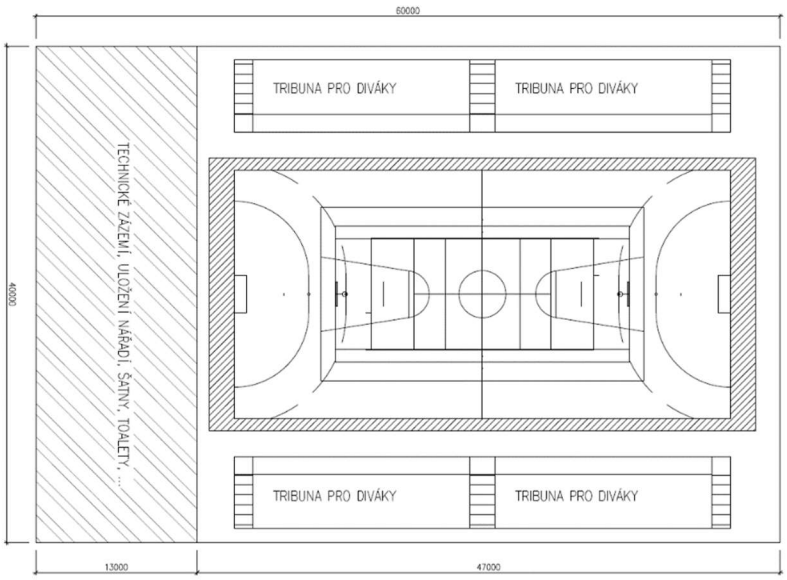
Šířkové uspořádání konstrukce bylo zvoleno s ohledem na minimální rozměry hracích ploch a okrajových pásem jednotlivých sportů. Stejně důležité bylo dodržení výškových požadavků pro regionální i národní soutěžní utkání. Důležitá je vnitřní pohoda prostředí jak pro samotné hráče, tak i pro diváky. Hala disponuje nad hrací plochou dostatečnou výškou volného prostoru, který se směrem k tribunám snižuje. Tento efekt způsobuje pro diváka pocit většího začlenění do děje na hrací ploše a zároveň se návštěvník cítí útulněji a bezpečně, pohledem zaujat nejen hrou, ale i krásou dřevěné konstrukce.

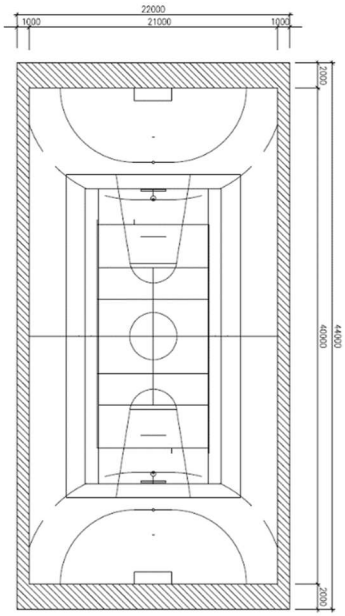
Minimální rozměry hracích ploch jsou uvedeny v následující tabulce:

Sport / Rozměry hřiště		Badminton	Basketbal	Halový fotbal	Halová házená	Halový hokej	Volejbal
Šířka [m]		6,1	15	20	20	20	9
Délka [m]		13,4	28	40	40	40	18
Výška [m]		9 (7)*	7	4	7	5,5	12,5 (7)*
Zóna bez překážek	Delší str.	1,5	1	0,5	1	0,5	5
	Kratší str.	2	1	2	2	2	8

* pro národní soutěž stačí 7 m

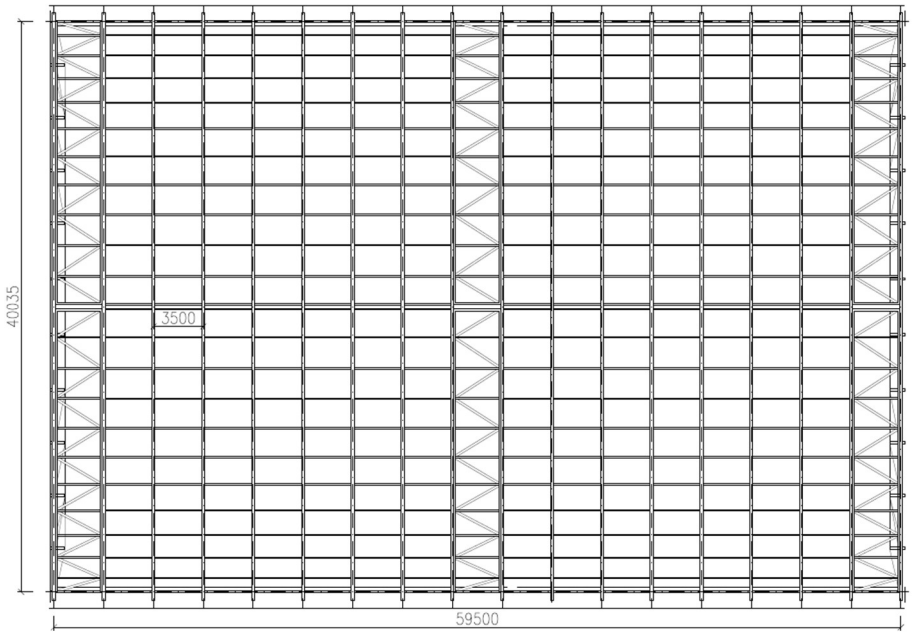
Zvolená dispozice víceúčelové sportovní haly:

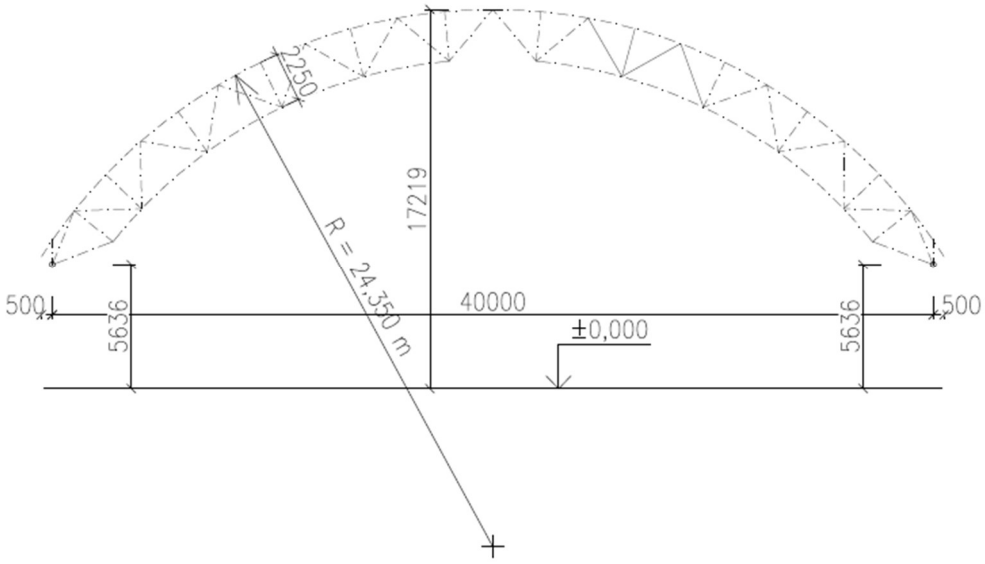




1.2. Geometrie konstrukce zastřešení

Osová vzdálenost podpor vazníků činí 40,035 m při osové vzdálenosti vazníku v 3,5 m. Celková vzdálenost čelních vazníků 59,500 m. Poloměr zakřivení osy horního pásu vazníku 24,350 m, poloměr zakřivení osy dolního pásu 22,150 m. Výška vrcholu v ose horního pásu vztažená k úrovni 0,000 je 17,219 m. Po osazení střešních panelů činí výška ve vrcholu oblouku 17,560 m.



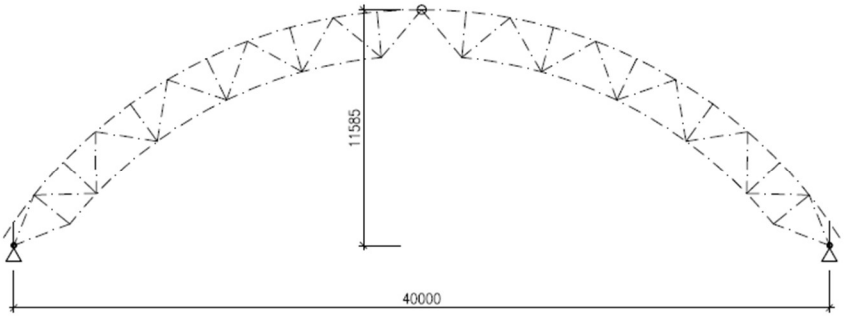


2. Volba statického modelu

2.1.Vazník

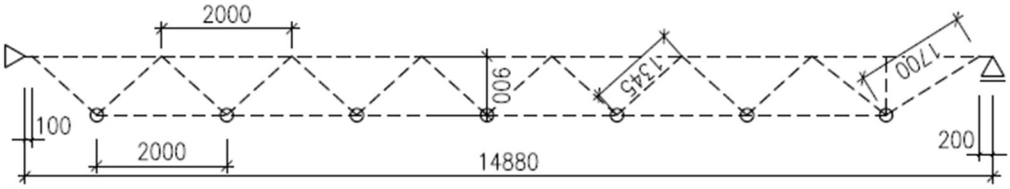
Pro maximální působení konstrukce klenbovým účinkem a tedy namáhání dřeva tlakem rovnoběžně s vlákny, kde dosahuje nejvyšších hodnot únosnosti, byl zvolen trojkloubový příhradový oblouk.

,



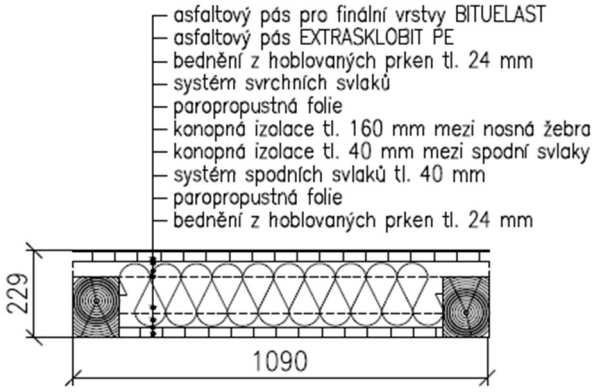
2.2. Sloup

Sloup je modelován jako prostý příhradový přímopasý nosník s pevným kloubem v úrovni základové patky a s posuvnou podporou umožňující posun ve směru globální osy z v místě připojení k vazníku.



3. Střešní plášť

Střešní plášť je tvořen prefabrikovanými panely TESKO dle níže uvedené skladby. Panely jsou přivezeny na stavbu a přímo osazeny na horní pás vazníků. Připevnění panelů pomocí dlouhých vrutů RAPI-TEC či speciálního kování tvaru dlouhého L, které se po uložení krajního panelu v místě perferované hrany ohne do tvaru písmene Z. K nově vzniklé části kování je pak připojen další panel.



4. Opláštění čelní stěny

Čelní stěna bude tvořena systémem izolačního trojskla INTERM, osazeného do rastru paždíků s osovou vzdáleností 2,000 m. Izolační trojsklo bude dosahovat až k paždíkům v úrovni dolního pásu vazníků. Výše bude již opláštění provedeno svislými panely TESKO, případně plošným bedněním.

5. Materiály

5.1. GL24h

Lepené lamelové dřevo třídy GL24 h tvoří všechny konstrukční prvky vazníků, sloupů a prvků segmentů příčného ztužidla.

5.2. C22

Bednění, svlaky a opláštění čelních stěn v místech bez izolačního trojskla nemá primárně staticky únosnou funkci a proto je třída C22 pro tyto prvky dostačující.

5.3. C24

Konstrukční řezivo třídy C24 je použito pro prvky podélného ztužení, rozpěr a nosných žeber střešních panelů.

5.4. Ocel S235

Pro navržené prvky kování byla zvolena nejčastěji ocel třídy S235. Ze stejného materiálu jsou prvky táhel zajišťující stabilizaci dolních pásů sloupů a elementy kotvení sloupů.

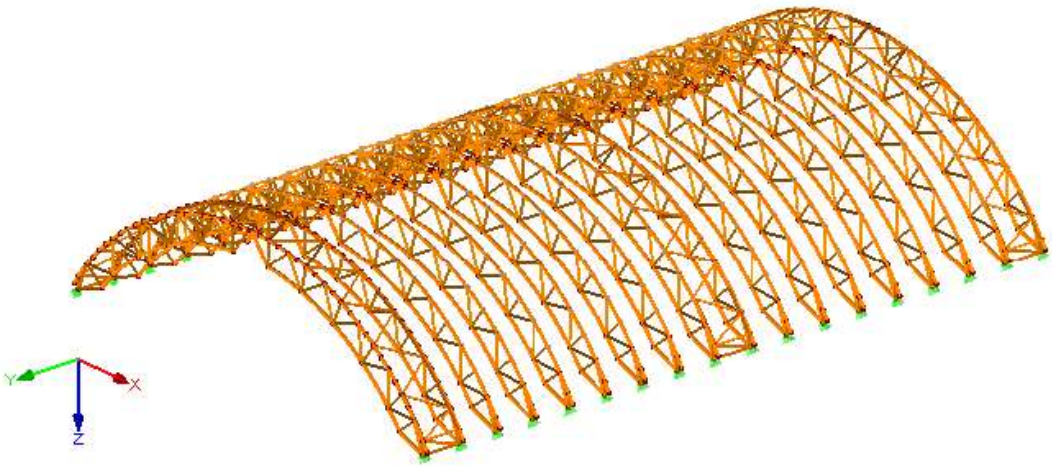
5.5. Ocel S355

Prvky vazníků jsou ve styčnících spojeny vkládanými styčníkovými deskami MKD jakosti S355. Ocel S 355 také tvoří části montážních spojů a čepových spojů ve vrcholu a uložení vazníků.

6. Konstrukce

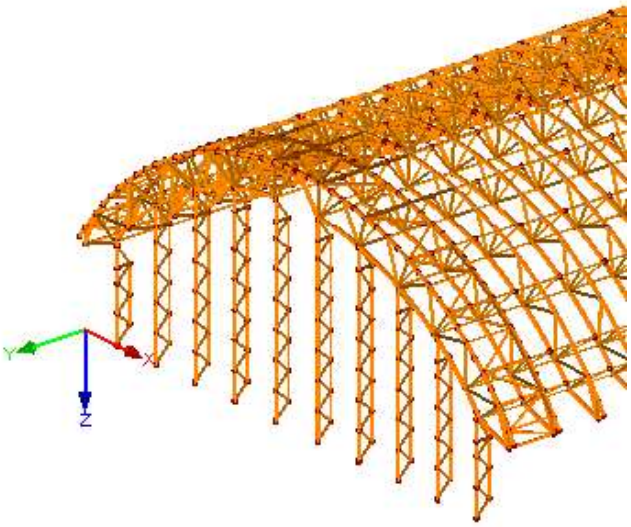
6.1.Vazník

Všechny prvky vazníků jsou tvořeny členěným průřezem s vloženou styčníkovou MKD deskou. Horní pás průřezu 2x 100 x 200 mm, dolní pás 2x 100 x 260 mm; diagonála u podpory 2x 100 x 260 mm, ostatní diagonály spolu s vertikálami a koncovými vertikálami 2x 100 x 100 mm.



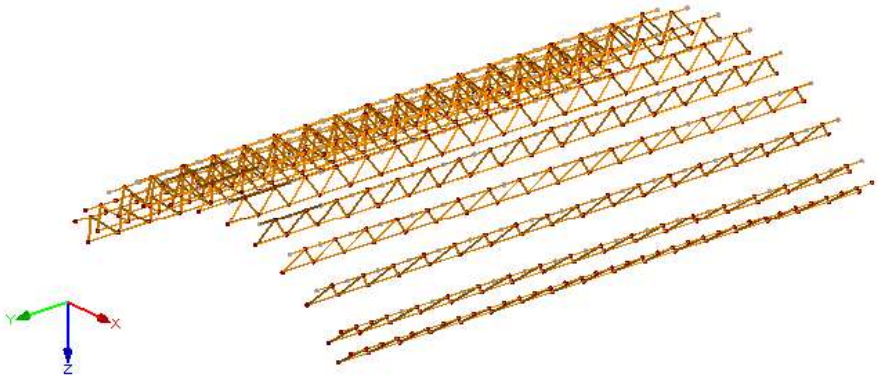
6.2. Sloup

Pásy a diagonály sloupů jsou tvořeny členěným průřezem s vloženou styčníkovou MKD deskou. Horní pás průřezu 2x 80 x 160 mm, dolní pás 2x 80 x 100 mm; diagonály 2x 80 x 80 mm.



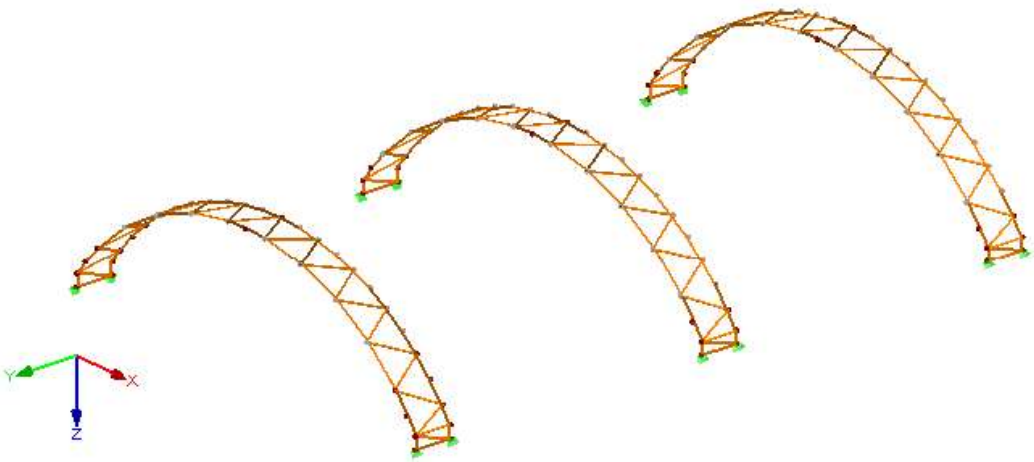
6.3. Podélné ztužení

Tvořeno segmenty vkládanými mezi vertikály vazníku. V místě příčného ztužení jsou segmenty snížené pro vhodné konstrukční uspořádání a napojení ztužení konstrukce. Prvky jsou spojeny pomocí ocelové desky vložené do vyfrézovaných drážek v řezivu a probité kolíky průměru $d = 8$ mm. Horní pás průřezu 100 x 140 mm, dolní pás 100 x 140 mm; diagonály 100 x 100 mm.



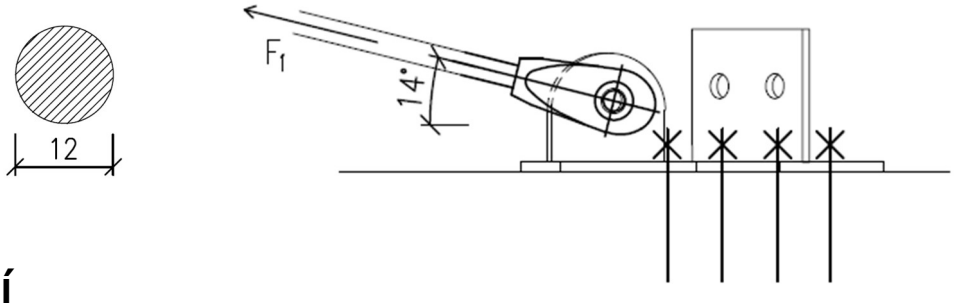
6.4. Příčné ztužení

Příčné ztužení se skládá ze segmentů připojených k vazníkům v úrovni horních pasů, které jsou tak využity jako horní a dolní pásy příhradových pásů příčného ztužení. Horní i dolní pás průřezu 120 x 120 mm; diagonály 160 x 120 mm. Vertikály jsou průřezu 120 x 120 mm. Dva sousední segmenty jsou k sobě přiloženy na sraz, připojeny k vazníkům a vzájemně propojeny ocelovou páskou a hřebíky.



6.5. Táhlo

Ocelové táhlo v úrovni dolních pásů sloupů je ukotveno do železobetonového rámu, od výškové úrovně uložení vazníků vzhůru pak do styčníků připojení vertikály k dolnímu pásu vazníku. Táhlo přenáší sílu do segmentu podélného ztužení, kterým je síla přenesena do příčného ztužení a do podpor.
Táhlo průměru d = 12 mm, protaženo ve styčníku skrze přesah MKD desky, opatřeno podložkou a maticí.



7. Kotvení

7.1. Vazník

Vazník bude kotven do železobetonové rámové konstrukce 4 mechanickými kotvami HST3-R M24 společnosti HILTI s využitím plnícího/seismického setu pro vyplnění prstencových mezer. Na kotevní desku tloušťky 20 mm budou přivařeny dvě čepové desky tl. 16 mm po celém obvodu koutovým svarem účinné tloušťky 6 mm. K MKD desce podporového styčníku bude přivařena čelní deska tl. 30 mm s čepovou deskou tl. 30. Otvor čepových desek průměru 63 mm osazen čepem průměru 60 mm, ocel S355.

7.2. Sloup

Sloup bude kotven do základové betonové patky 2 chemickými kotvami HIT-V (5.8) M24 společnosti HILTI do lepící hmoty HIT-HY 200-A. Na kotevní desku tloušťky 10 mm bude přivařena truba TR 80x4,0 po celém obvodu koutovým svarem účinné tloušťky 3 mm. K MKD desce podporového styčníku bude přivařena čelní deska tl. 20 mm s již přivařenou trubkou a kotevní deskou.

Rozměry kotevních desek a minimální vzdálenosti krajních kotev od okraje betonu lze nalézt ve výkresu detailů i protokolech z programu Hilti Profis Anchor, které jsou součástí přílohy. Minimální pevnostní třída betonu pro oba typy kotvení je C20/25.

8. Montáž

8.1. Vazník

1) Konstrukce železobetonového rámu.
2) Do betonu s požadovanou únosností chemickými kotvami připevněny kotevní desky s již navařenýmu čepovými deskami. Pod kotevní desky umístěny distanční podložky.
3) Spojení jednotlivých částí vazníku. Polovina vazníku ukotvena čepovým spojem v místě kotvení A9, A10.
4) Poloviny vazníků vzájemně spojeny segmenty příčného ztužidla, poté zvedány jako ztužující pole.
5) Opření vrcholového čepu na montážní plošinu v požadované výšce.
6) Kroky 3) - 4) aplikovány z druhé strany.
7) Čepový spoj ve vrcholu
8) Vztyčení dalšího vazníku
9) Spojení vazníku podélnými ztužidly ke ztužujícímu poli.
10) Vztyčování dalších vazníků až po krajní ztužující pole.
11) Vztyčení krajního ztužujícího pole.
12) Celý postup se opakuje druhým směrem.
13) Zaměření výškové polohy vrcholů vazníků
14) Podlití pro vyrovnání výškových rozdílů.
15) Opětovné zaměření.
16) Osazení panelů střešního pláště.

8.2. Sloup

Sloup bude na staveniště dopraven s kotevní deskou již přivařenou k čelní desce pomocí trubky. Pomocí jeřábu bude sloup zvednut a osazen na betonovou patku s předvrtanými otvory. Následně bude instalována chemická kotva. Je nutné zvážit klimatické vlivy pro stanovení doby tvrdnutí chemické kotvy.

9. Ochrana konstrukce

Dřevěné prvky konstrukce je nutné opatřit bezbarvým nátěrem pro ochranu proti dřevokaznému hmyzu. Prvky kování budou povrchově chráněny žárovým pozinkováním.

10. Výkaz materiálu

Část	Prvek	Průřez			Plocha	Délka	V	ρ	ks	Objem	Váha
		n	h [mm]	b [mm]	[m²]	[m]	[m³]	[kg·m⁻³]		[m³]	[kg]
Panel	Nosné žebro	1	120	160	0,019	3,500	0,067	350	1496	100,5	35186
Vazník	Horní pás	2	200	100	0,040	48,586	1,943	380	18	35,0	13293
	Dolní pás	2	260	100	0,052	47,444	2,467	380	18	44,4	16875
	Diagonála	2	260	100	0,052	2,648	0,138	380	36	5,0	1884
	Diagonála	2	100	100	0,020	3,062	0,061	380	324	19,8	7540
	Vertikála	2	100	100	0,020	2,250	0,045	380	216	9,7	3694
	Koncová vertikála	2	100	100	0,020	1,123	0,022	380	36	0,8	307
Příčné ztužení	Horní a dolní pás	1	120	120	0,014	1,123	0,016	380	24	0,4	147
		1	120	120	0,014	1,161	0,017	380	24	0,4	152
		1	120	120	0,014	2,181	0,031	380	24	0,8	286
		1	120	120	0,014	4,355	0,063	380	96	6,0	2288
		1	120	120	0,014	2,180	0,031	380	24	0,8	286
	Diagonála	1	120	160	0,019	3,406	0,065	380	6	0,4	149
		1	120	160	0,019	3,874	0,074	380	6	0,4	170
		1	120	160	0,019	4,124	0,079	380	60	4,8	1805
	Vertikála	2	120	120	0,029	3,260	0,094	380	120	11,3	4281
Podélné ztužení	Horní pás	1	140	100	0,014	3,260	0,046	350	204	9,3	3259
	Dolní pás	1	140	100	0,014	3,260	0,046	350	204	9,3	3259
	Diagonála	1	100	100	0,010	2,742	0,027	350	408	11,2	3916
	Rozpěra	1	140	100	0,014	3,260	0,046	350	204	9,3	3259
Sloup	Horní pás	2	160	80	0,026	7,028	0,180	380	4	0,7	273
		2	160	80	0,026	10,543	0,270	380	4	1,1	410
		2	160	80	0,026	12,790	0,327	380	4	1,3	498
		2	160	80	0,026	14,250	0,365	380	4	1,5	554
		2	160	80	0,026	14,881	0,381	380	4	1,5	579
	Dolní pás	2	100	80	0,016	6,828	0,109	380	4	0,4	166
		2	100	80	0,016	10,828	0,173	380	4	0,7	263
		2	100	80	0,016	12,828	0,205	380	4	0,8	312
		2	100	80	0,016	14,388	0,230	380	4	0,9	350
		2	100	80	0,016	14,968	0,239	380	4	1,0	364
	Diagonála	2	80	80	0,013	1,414	0,018	380	184	3,3	1265
	Vertikála	2	80	80	0,013	0,900	0,012	380	20	0,2	88
								C24		139,7	48878
								GL24h		153,4	58281
								Celkem		293,0	107159

11. Seznam použité literatury

[1] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem; Praha: Český normalizační institut, 2004

[2] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem; Praha: Český normalizační institut, 2005

[3] ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby; Praha: Český normalizační institut, 2007

[4] ČSN EN 386: Lepené lamelové dřevo - Požadavky na užitné vlastnosti a minimální výrobní požadavky

[5] PILGR, M. Kovové konstrukce. Podklady pro navrhování prvků ocelových konstrukcí [online]. Brno: 2018, 700 s. Dostupné na <www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/studijni-materialy.htm>

[6] Dřevěné konstrukce – Příklady výpočtu a řešení podle Eurokódu 5 ČSN EN 1995-1-1. Překlad příkladů z německých skript Holzbau I-II-III 2012, Univerzita Wismar, autor prof. Ralf-W. Boddenberg, překlad a odborná redakce Bohumil Koželouh. Vydala VOŠ a SPŠ Volyně, duben 2015

[7] KOŽELOUH, Bohumil, ed. Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004

[8] KOŽELOUH, Bohumil, Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5. Zlín: KODR, 1998

[9] SCHITTICH, Christian. Holz: Wood : best of Detail. München: Edition Detail, 2014

[10] REMEŠ, Josef. Stavební příručka: to nejdůležitější z norem, vyhlášek a zákonů. 2., aktualiz. vyd. Praha: Grada, 2014. Stavitel

[11] LORENZ, Karel. Navrhování nosných konstrukcí. Praha: ČKAIT, 2015