

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí

Optimalizace nosného systému železobetonové haly

Optimalization of the structural system of a reinforced
concrete storage hall

Bakalářská práce

Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb
Vedoucí práce: Ing. Radek Štefan, Ph.D.

Valeriia Kazmina

Praha, 2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Kazmina</u>	Jméno: <u>Valeriia</u>	Osobní číslo: <u>484678</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra betonových a zděných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor/specializace: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Optimalizace nosného systému železobetonové haly</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Optimization of the structural system of a reinforced concrete storage hall</u>	
Pokyny pro vypracování: - rešerše literatury, - statický návrh nosných prvků (vazník, průvlak, sloup), - vytvoření algoritmu pro optimalizaci návrhu nosných prvků, - implementace algoritmu vytvořením výpočetního kódu, - návrh nosných prvků pomocí výpočetního kódu a interpretace výsledků, - shrnutí neekonomičtějšího návrhu z hlediska materiálů.	
Seznam doporučené literatury: ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI, 2006. PROCHÁZKA, Jaroslav a kol. Navrhování betonových konstrukcí 1. 2., upr. vyd. Praha: ČBS Servis, 2006. ISBN 80-903807-1-9. KOHOUTKOVÁ, Alena, Jaroslav PROCHÁZKA a Jitka VAŠKOVÁ. Navrhování železobetonových konstrukcí: Příklady a postupy. Praha: ČVUT, 2014. ISBN 978-80-01-05587-8.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Radek ŠTEFAN, Ph.D., FEng.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>21.2.2022</u>	Termín odevzdání BP v IS KOS: <u>15.5.2022</u>

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

21.02.2022

Datum převzetí zadání

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 15. května 2022

Podpis

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu této bakalářské práce za trpělivost, ochotu a čas, který mi věnoval. Děkuji také kolegům z práce za odborné rady a psychologickou podporu.

V Praze dne 15. května 2022

Valeriia Kazmina

Abstrakt

Bakalářská práce obsahuje statický návrh, posouzení a optimalizace nosných prvků skladovací prefabrikované haly. V první části je proveden statický návrh a posouzení vazníku, průvlastu a sloupu. U vazníku a průvlastu nejdříve probíhá ruční návrh průřezových rozměrů a jejich ověření. Po stanovení vnitřních sil je navržena výztuž, která je následně posouzena. Předmětem bakalářské práce je i návrh ozubu pro uložení vazníku. U sloupu jsou průřezové rozměry nejprve odhadnuty a následně ověřeny. U sloupu je dále ověřena štíhlost, stanovena geometrická imperfekce a imperfekce od účinku momentu druhého řádu. Výztuž sloupu je navržena pomocí dostředného tlaku a konstrukčních zásad. Průřez sloupu je ručně posouzen pomocí interakčního diagramu na účinky kombinace normálové síly a momentu včetně účinků druhého řádu. Průřez sloupu je dále posouzen pomocí grafu Moment – křivost. U každého nosného prvku jsou navrženy manipulační úchyty pro transport. Pro všechny nosné prvky je vypočítán objem betonu, hmotnost oceli a cena použitého betonu a oceli. Následně je stanovena celková cena z hlediska materiálů použitých na nosné konstrukce. Ve druhé části práce je popsána optimalizace nosného systému haly. Optimalizace byla provedena pomocí programu vytvořeného autorkou práce. Výstupem z programu jsou grafy, které popisují vývoj rozměrů, hmotností a cen jednotlivých prvků a celé konstrukce v závislosti na rozteči mezi sloupy. Z výstupů je nalezena optimální kombinace délek a průřezových rozměrů vazníků a průvlastů v závislosti z hlediska ceny konstrukce. Na konci práce jsou přiloženy výkresy výztuže vazníku včetně ozubu, průvlastu a sloupu pro variantu navrženou ručně a pro neoptimálnější variantu stanovenou pomocí programu.

Klíčová slova: železobetonová prefabrikovaná hala, vazník, průvlast, sloup, výztuž, moment druhého řádu, ozub, manipulační úchyty, optimalizace.

Abstract

The bachelor thesis contains structural design, assessment and optimization of load bearing elements of a precast storage hall. In the first part, a structural design and assessment of the truss, beam and column is performed. For trusses and beams, the cross-sectional dimensions are designed and checked by hand. After determining the internal forces, the reinforcement is designed, which is then assessed. The subject of the bachelor thesis is also the design of a dapped-end for placing a truss. For the column, the cross-sectional dimensions are first estimated and then verified. A slenderness of the column is verified, the geometric imperfection and the imperfection from the effect of second order moment are determined. The reinforcement of column is designed by using axial compression and construction principles. The cross-section of the column is manually assessed by using an interaction diagram for the effects of a combination of normal force and moment, including second order effects. The cross-section of the column is further assessed using a Moment – curvature graph. Transport anchors are designed for each element. For all load bearing elements, the volume of concrete, the weight of the steel and the price of the concrete and steel used are calculated. Subsequently, the total price is determined in terms of the materials used on the structure. The second part of the thesis describes the optimization of the load bearing system of the hall. The optimization was calculated by using a software created by the author of the work. The outputs of the software are graphs describing the development of dimensions, weight and price of individual elements and the entire structure depending on the spacing between the columns. The optimal combination of lengths and cross-sectional dimensions of trusses and beams could be found from the outputs, depending on the price of the structure. At the very end of the paper, drawings of the truss reinforcement are attached, including the dapped-end, the beam and the column for the variant designed manually and for the most optimal variant determined by the software.

Key words: precast reinforced concrete hall, truss, beam, column, reinforcement, second order moment, dapped-end, transport anchors, optimization .

Obsah

Úvod	1
1 Statický návrh nosných konstrukcí haly	3
1.1 Popis objektu	3
1.1.1 Popis objektu	3
1.1.2 Základní návrhové údaje	4
1.1.3 Použité materiály	5
1.2 Přehled zatížení	5
1.2.1 Stálé zatížení	5
1.2.2 Proměnné zatížení	6
1.3 Návrh a posouzení střešní desky	6
1.3.1 Typ desky	6
1.3.2 Plošné zatížení desky	6
1.3.3 Únosnost panelu	7
1.4 Návrh a posouzení vazníku	7
1.4.1 Tloušťka krycí vrstvy výztuže	8
1.4.2 Návrh dle empirických vzorců	8
1.4.3 Ověření rozměrů z hlediska průhybu	9
1.4.4 Zatížení	10
1.4.5 Maximální moment v poli	11
1.4.6 Maximální posouvající síla vazníku	11
1.4.7 Geometrie vazníku	12
1.4.8 Návrh podélné výztuže vazníku	13
1.4.9 Posouzení podélné výztuže vazníku	14
1.4.10 Ověření tlačené diagonály	15
1.4.11 Návrh a posouzení smykové výztuže vazníku	16
1.4.12 Návrh manipulačních úchytnů vazníku	17
1.4.13 Pomocné výpočty k výkresu výztuže vazníku	18
1.5 Návrh a posouzení průvlastku	19
1.5.1 Návrh dle empirických vzorců	20
1.5.2 Tloušťka krycí vrstvy výztuže	21
1.5.3 Ověření z hlediska průhybu	21
1.5.4 Zatížení	22
1.5.5 Maximální moment v poli:	23
1.5.6 Maximální posouvající síla průvlastku	23
1.5.7 Geometrie průřezu průvlastku	24
1.5.8 Návrh podélné výztuže průvlastku	25
1.5.9 Posouzení podélné výztuže průvlastku	26
1.5.10 Ověření tlačené diagonály	28

1.5.11	Návrh a posouzení smykové výztuži průvlaku	28
1.5.12	Návrh manipulačních úchytů průvlaku	30
1.5.13	Pomocné výpočty k výkresu výztuže průvlaku	31
1.6	Návrh a posouzení sloupu	31
1.6.1	Tloušťka krycí vrstvy výztuže	32
1.6.2	Odhad rozměrů	32
1.6.3	Zatížení	33
1.6.4	Ověření rozměrů	34
1.6.5	Ověření štíhlosti sloupu	34
1.6.6	Geometrické imperfekce sloupu	35
1.6.7	Návrh podélné výztuže sloupu	37
1.6.8	Ověření konstrukčních zásad	38
1.6.9	Návrh příčné výztuže sloupu	38
1.6.10	Výpočet momentu druhého řádu	39
1.6.11	Posouzení průřezu sloupu pomocí bodového interakčního diagramu	40
1.6.12	Posouzení pomocí grafu „Moment – křivost“ pro navržený průřez	49
1.6.13	Návrh manipulačních úchytů sloupu	51
1.6.14	Pomocné výpočty k výkresu výztuže sloupu	52
1.7	Návrh uložení vazníku	53
1.7.1	Návrh uložení ozubu	53
1.7.2	Návrh výztuže ozubu	55
1.8	Cena nosné konstrukce	60
1.8.1	Stanovení hmotnosti použitých materiálů ve všech vaznicích konstrukce	60
1.8.2	Stanovení hmotnosti použitých materiálů ve všech průvlacích konstrukce	61
1.8.3	Stanovení hmotnosti použitých materiálů ve všech sloupech konstrukce	61
1.8.4	Stanovení celkové ceny použitých materiálů	63
2	Program pro optimalizaci nosné konstrukce haly	65
2.1	Motivace	65
2.2	Popis algoritmu	65
2.3	Výsledky a diskuze	65
2.3.1	Vnitřní síly	66
2.3.2	Objem betonu	68
2.3.3	Hmotnost oceli	71
2.3.4	Cena	74
2.4	Závěr optimalizace	75
2.4.1	Porovnání s ručním výpočtem	76
2.5	Výkresová dokumentace	76
	Závěr	77
	Reference	79
	A Zadání	82

B	Technické listy	84
B.1	Střešní panely	84
C	Manipulační úchyty	88
D	Ceníky materiálů	98
E	Další výstupy z programu	101
E.1	Výsledky optimalizace vazníku	101
E.2	Výsledky optimalizace průvlaku	104
E.3	Výsledky optimalizace sloupu	107
F	Výkresy	111

Popis použitých symbolů

A_c	plocha betonu
$A_{s,max}$	maximální plocha výztuže
$A_{s,min}$	minimální plocha výztuže
$A_{s,prov}$	skutečná plocha výztuže
$A_{s,req}$	požadovaná plocha výztuže
A_{si}	průřezová plocha výztuže i
A_{sw}	průřezová plocha třmínku
E_s	návrhová hodnota modulu pružnosti výztuže
E_{cm}	průměrná hodnota modulu pružnosti betonu
F_c	síla v tlačeném betonu
F_i	síla
$F_{c,v}$	síla ve vrstvě betonu
F_{si}	síla ve výztuži i
K_φ	součinitel účinku dotvarování
K_r	opravný součinitel závisící na normálové síle
M_{0Ed}	návrhový moment prvního řádu
M_2	moment druhého řádu
M_{Ed}	ohybový moment
M_{Rd0}	normálová únosnost průřezu pro bod 0 (rovnoměrné stlačení průřezu po celé jeho výšce)
M_{Rdi}	momentová únosnost průřezu pro bod i
M_{Rd}	moment únosnosti
N_{Ed}	působící síla
N_{Rd0}	normálová únosnost průřezu pro bod 0 (rovnoměrné stlačení průřezu)
N_{Rdi}	normálová únosnost průřezu pro bod i
N_{Rd}	normálová únosnost průřezu
$V_{Ed,max}$	maximální posouvající síla
$V_{Rd,max}$	únosnost tlačené diagonály
V_{ci}	objem betonu v prvku i
V_c	objem betonu
α_h	redukční součinitel výšky podlaží
α_m	redukční součinitel počtu prvků
α_i	bezpečnostní součinitel
\varnothing_s	průměr výztuže výztuže
\varnothing_t	průměr třmínků
γ_C	součinitel spolehlivosti železobetonu
γ_G	dílčí součinitel pro stálé zatížení

γ_Q	dílčí součinitel pro proměnné zatížení
λ	součinitel pro obdélníkové rozdělení napětí
ω	mechanický stupeň vyztužení
$\rho_{sw,max}$	maximální stupeň vyztužení (třmínky)
$\rho_{sw,min}$	minimální stupeň vyztužení (třmínky)
ρ_{sw}	stupeň vyztužení (třmínky)
ρ_s	stupeň vyztužení
σ_c	napětí v tlačeném betonu
σ_{si}	napětí ve výztuži i
σ_s	napětí ve výztuži
θ_0	základní hodnota vychýlení
θ_i	úhel vychýlení od svislice
θ	úhel sklonu trhlíny
$\varepsilon_{c,max}$	maximální poměrné přetvoření betonu
ε_{c3}	poměrné přetvoření betonu při dosažení maximální pevnosti
$\varepsilon_{cu,max}$	maximální poměrné přetvoření betonu
ε_{cui}	poměrné přetvoření betonu při napětí i
ε_{cu}	poměrné přetvoření betonu
ε_{si}	poměrné přetvoření výztuže i
ε_{sy}	poměrné přetvoření výztuže za mezi kluzu
ε_s	poměrné přetvoření výztuže
ε_{ud}	návrhová hodnota mezního přetvoření výztuže
$\varphi_{(\infty,t_0)}$	konečný součinitel dotvarování
φ_{ef}	účinný součinitel dotvarování
a_l	délka rozšíření obálky momentů
b_{eff}	spolupůsobící šířka
b	šířka průřezu
c	tloušťka krycí vrstvy
d_i	vzdálenost výztuže od vláken
d	účinná výška
e_0	minimální výstřednost
e_i	výstřednost
f_{Rd}	celková únosnost se zohledněním vlastní tíhy
f_{bd}	návrhová hodnota napětí v soudržnosti
f_{cd}	návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku
f_{ck}	charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku
f_{cm}	průměrná hodnota pevnosti betonu v tlaku
$f_{ctk0,05}$	5 % kvantil návrhové pevnosti betonu
f_d	celkové návrhové zatížení
f_k	celkové charakteristické zatížení
f_{ud}	návrhová hodnota napětí ve výztuži na mezi pevnosti
f_{uk}	charakteristická hodnota napětí ve výztuži na mezi pevnosti
f_{yd}	návrhová hodnota napětí ve výztuži na mezi kluzu
f_{yk}	charakteristická hodnota napětí ve výztuži na mezi kluzu
g_d	stálé návrhové zatížení
g_k	stálé charakteristické zatížení
h	výška průřezu

$l_{b,d}$	návrhová kotevní délka
$l_{b,min}$	minimální kotevní délka
$l_{b,req}$	základní kotevní délka
m_{si}	hmotnost oceli v prvku i
m_s	hmotnost oceli
n	poměrná normálová síla
q_d	proměnné návrhové zatížení
q_k	proměnné charakteristické zatížení
s_c	světlá rozteč prutů
s_i	rozteč třmínků
s_{req}	požadovaná rozteč
s	osová rozteč prutů
$x_{bal,1}$	balanční vzdálenost neutrální osy
x_{no}	vzdálenost neutrální osy od horních vláken
x	výška tlačené oblasti
z_i	rameno vnitřních sil v průřezu v místě i
z	rameno vnitřních sil v průřezu

Úvod

V rámci bakalářské práce se budu věnovat statickému návrhu, posouzení a optimalizaci nosné konstrukce skladovací prefabrikované haly. Nosnými prvky konstrukce jsou vazníky, průvlaky a sloupy. Nejdříve bude popsána konstrukce a budou stanoveny základní návrhové údaje objektu a veškeré zatížení působící na konstrukci. Následně bude proveden ruční návrh rozměrů vazníku a ověření navržených rozměrů na průhyb. Po ověření rozměrů se stanoví průběh vnitřních sil, na jehož základě se navrhne nosná výztuž vazníku. Dále proběhne ověření a posouzení navržené výztuže. U vazníku bude řešeno i uložení, které bude zajištěno ozuby. Následně bude proveden ruční návrh rozměrů průvlaku a ověření navržených rozměrů na průhyb. Po ověření rozměrů se stanoví průběh vnitřních sil, na jehož základě se navrhne nosná výztuž průvlaku. Dále proběhne ověření a posouzení navržené výztuže. Následně bude proveden odhad rozměrů sloupu a na základě tohoto odhadu se stanoví zatížení a ověří se navržené rozměry. Po ověření rozměrů bude ověřena štíhlost sloupu. Následně se navrhne výztuž sloupu. Poté se ručně stanoví geometrická imperfekce a imperfekce od účinků momentu druhého řádu. Výpočet momentu druhého řádu se pak ověří programem. Celkový moment působící na sloup se posoudí ručně pomocí bodového interakčního diagramu a pomocí programu na křivce Moment – křivost. Jelikož veškeré nosné prvky jsou prefabrikované, bude proveden i návrh manipulačních úchytů u každého prvku. Pro možnost porovnání s následnou optimalizací bude stanovena hmotnost a cena spotřebovaného materiálu ručně navržené konstrukce.

Druhá část bakalářské práce bude věnována optimalizaci nosného systému haly. Optimalizace bude udělána v programu vytvořeném autorkou práce. Program navrhne a posoudí konstrukci postupem popsaným a použitým v rámci předchozího ručního výpočtu. Výstupem programu budou grafy, ze kterých bude možné najít nejoptimálnější kombinace délek a průřezových rozměrů nosných prvků z hlediska ceny konstrukce.

V poslední části práce budou narýsovány výkresy výztuže ručně navrženého vazníku včetně výkresu ozubu, průvlaku a sloupu. Dále budou narýsovány výkresy výztuže optimalizovaného vazníku, průvlaku a sloupu.

Kapitola 1

Statický návrh nosných konstrukcí haly

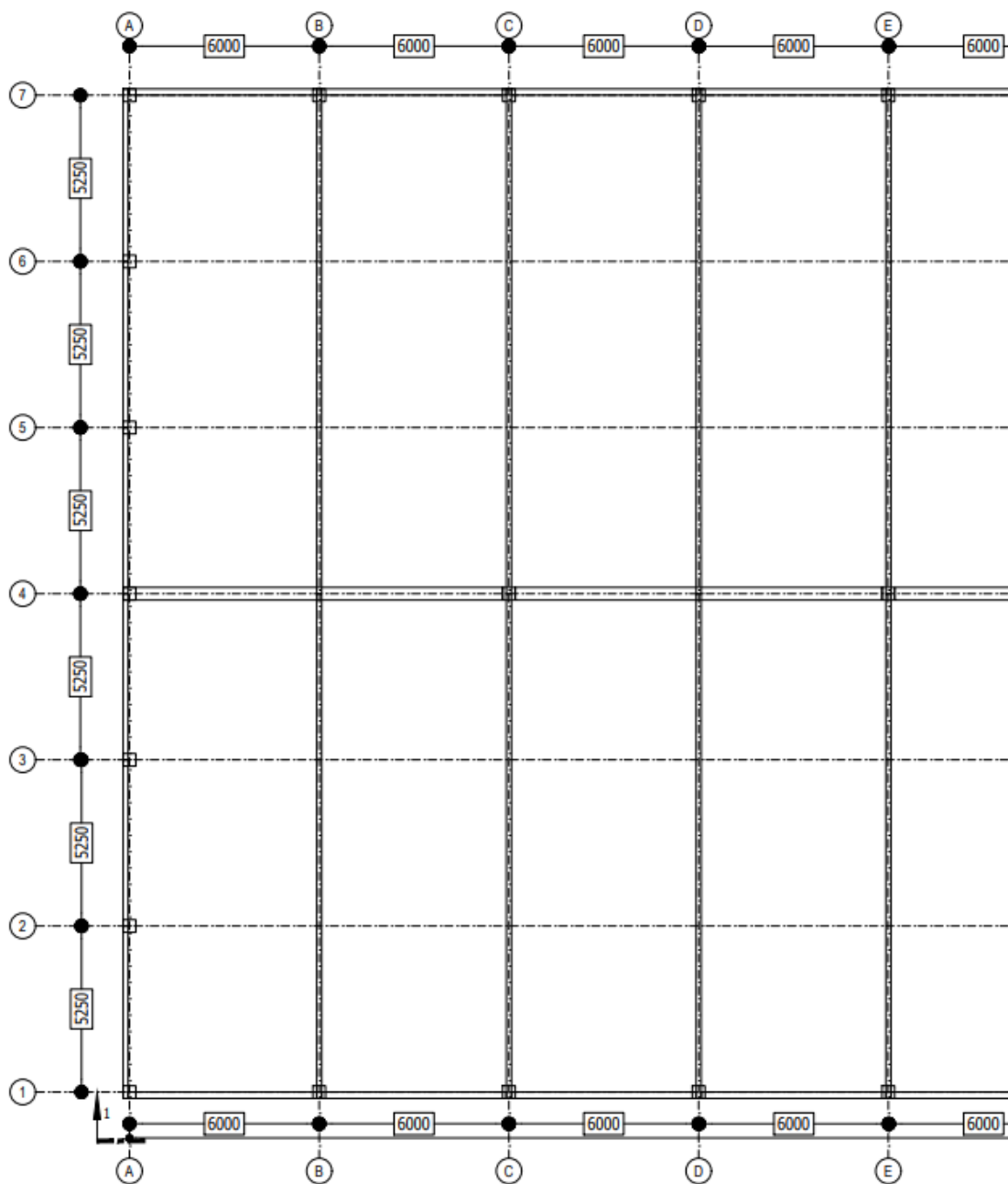
1.1 Popis objektu

1.1.1 Popis objektu

Řešeným objektem je nová hala v Králově Dvoře u Berouna. Hala je obdélníkového půdorysu o maximálních rozměrech 120 m × 31,5 m. Objekt je navržen jako prefabrikovaný sloupový skelet s průvlaky a vazníky. Hlavní nosnou funkci plní sloupy v osových vzdálenostech 6,0 m a 5,25 m po obvodu a 12 m × 15,75 m uvnitř. Střešní konstrukce je řešena pomocí sendvičových panelů Kingspan KS1000 X – DEK. Ztužení tvořeno formou stěnových panelů Kingspan KS1000/1150 FR a ocelovými táhly mezi sloupy. Objekt je založen hlubinným způsobem na velkopřůměrových pilotách.

Hala slouží k pronajmu skladových a výrobních prostorů.

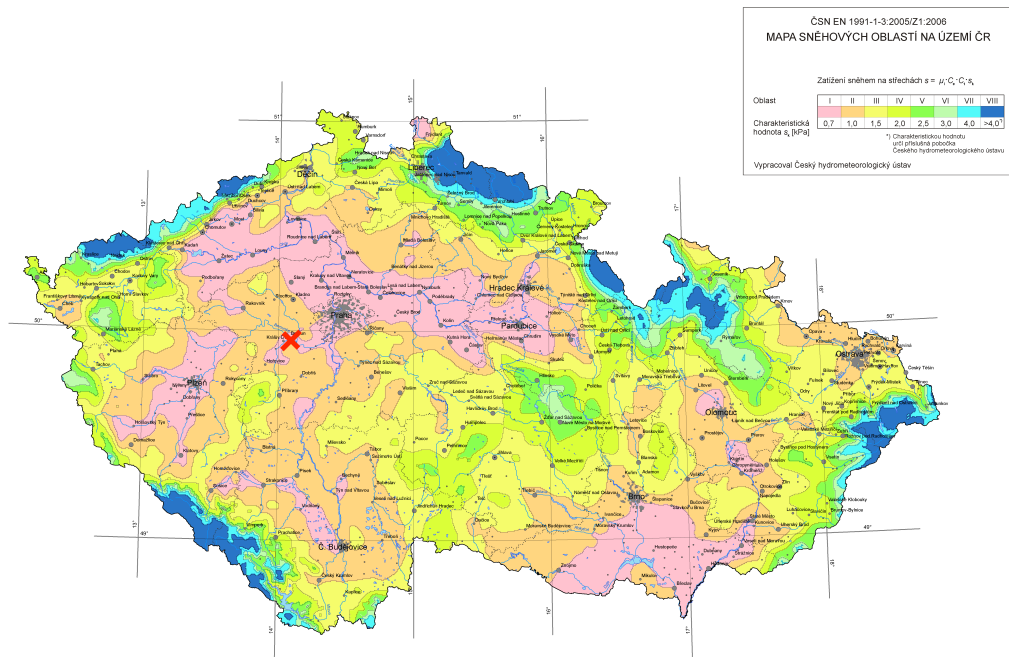
Výřez konstrukčního schématu je zobrazen na Obr. 1.1. Celkový výkres konstrukčního schématu je uveden v příloze – viz Příloha A.



Obr. 1.1: Půdorys

1.1.2 Základní návrhové údaje

Konstrukční třída:	S4 – návrhová životnost 50 let
Stupeň vlivu prostředí:	XC2 – základové konstrukce XC1 – ostatní nosné konstrukce
Užitná kategorie:	H – nepochozí střechy
Sněhová oblast:	I



Obr. 1.2: Sněhová oblast s vyznačením (převzato z ČSN EN 1991-1-3 [1])

Větrná oblast: II

1.1.3 Použité materiály

Beton

Nosné konstrukce: C30/37 XC2 – Cl 0,2 – D_{max} 16 – S4

Ocel

Betonářská výztuž: B500 B

1.2 Přehled zatížení

Zatížení na jednotlivé konstrukce jsou uvedena ve statickém výpočtu. Charakteristické hodnoty zatížení byly násobeny dílčími součiniteli pro získání návrhových hodnot zatížení. Pro stálá zatížení je dílčí součinitel $\gamma_G = 1,35$ a pro proměnná zatížení $\gamma_Q = 1,5$.

1.2.1 Stálé zatížení

Vlastní tíha nosné konstrukce

Vlastní tíha železobetonových konstrukcí je uvažována s hodnotou objemové hmotnosti 2500 kg/m^3 . Vlastní tíhy ostatních konstrukcí a výrobků byly převzaty z katalogů a technických listů výrobců.

Střešní plášť

Střešní plášť je tvořen sendvičovými panely KS1000 X-DEK typ XM s povrchovými plechy na obou stranách izolačního jádra. Hydroizolační PVC folie se v tomto případě kotví mechanicky k hornímu plechu tloušťky 0,7 mm (aplikace při montáži). Další údaje jsou uvedeny v technických listech - viz Příloha B.1.

Obvodový plášť

Obvodový plášť tvoří plechové fasádní panely s výplní z minerální vlny Kingspan s tloušťkou tepelné izolace 150 mm. Panely budou kotveny na nosné sloupy.

1.2.2 Proměnné zatížení

Kategorie

Kategorie E1 ... Plochy, kde může dojít k hromadění zboží, včetně přístupových ploch, plochy pro skladování včetně skladů knih a dalších dokumentů.

Kategorie H ... Střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav.

Klimatické zatížení

Zatížení sněhem ... I. Sněhová oblast
Základní tíha sněhu $S_k = 0,70 \text{ kN/m}^2$

Zatížení větrem ... II. Větrová oblast
Základní rychlost větru $V_{b,0} = 25,00 \text{ m/s}$

Kombinace zatížení

Kombinace zatížení jsou uvažovány v souladu ČSN EN 1990 ed. 2 [11, čl. 6.4] včetně odpovídajících redukčních součinitelů.

1.3 Návrh a posouzení střešní desky

1.3.1 Typ desky

Střešní deska objektu bude provedena ze sendvičových panelů Kingspan KS1000 X – DEK XM / 0.9 mm / 100 mm – viz Příloha B.1.

1.3.2 Plošné zatížení desky

Pozn.: Vlastní tíha panelu je uvažována nulová, protože vlastní tíha panelu je již zohledněna v jeho únosnosti – viz Příloha B.2.

Stálé zatížení	g_k [kN/m ²]	γ_G	g_d [kN/m ²]
Vlastní tíha panelu	0	1,35	0

Tab. 1.1: Stálé zatížení desky (plošné)

Proměnné zatížení	q_k [kN/m ²]	γ_Q	q_d [kN/m ²]
Užitné (kategorie H)	0,75	1,5	1,13
Sníh	$0,7 \cdot 0,8 = 0,56$	1,5	0,84
Celkem	1,31		1,97

Tab. 1.2: Proměnné zatížení desky (plošné)

Zatížení	f_k [kN/m ²]	f_d [kN/m ²]
Celkem	1,31	1,97

Tab. 1.3: Celkové zatížení desky (plošné)

1.3.3 Únosnost panelu

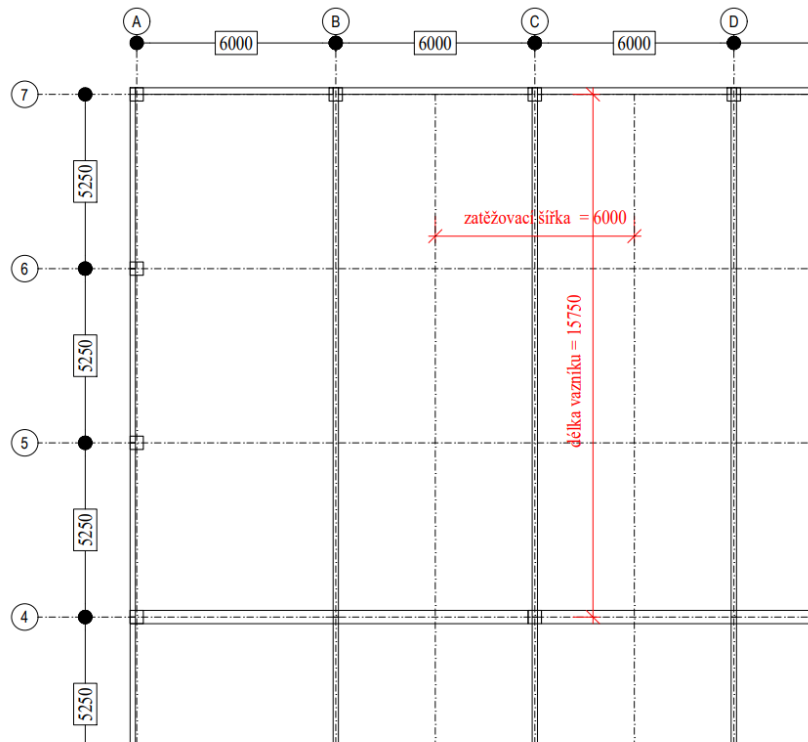
Celkové plošné zatížení bez vlastní tíhy: $f_d = 1,97$ kN/m². Celková maximální zatížitelnost bez vlastní tíhy: $f_{Rd} = 1,99$ kN/m² (viz Příloha. B.2)

$$1,97 < 1,99 \quad (1.3.1)$$

→ VYHOVUJE

1.4 Návrh a posouzení vazníku

Provedeme empirický návrh rozměrů ŽB vazníku, který je prostě uložen na ŽB sloup a ŽB průvlak. Délka vazníku je: $L_v = 15,75$ m. Zatěžovací šířka vazníku je: $Z_v = 6$ m.



Obr. 1.3: Délka vazníku + zatěžovací šířka

1.4.1 Tloušťka krycí vrstvy výztuže

Tloušťka krycí vrstvy výztuže vazníku je navržena pomocí postupu popsaného v ČSN EN 1992 – 1 – 1 [2, čl. 4.4].

Vstupní parametry:

Předpokládaná výztuž:	$\varnothing_s = 18 \text{ mm}$ (odhad)
Stupeň vlivu prostředí:	XC1
Třída konstrukce:	S4
Životnost:	50 let

Minimální krycí vrstva:

$$c_{min} = \max (c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) \quad (1.4.1)$$

$c_{min,b} = \varnothing_s = 18 \text{ mm}$	minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti
$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$	minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí
$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$	přídavná bezpečnostní složka
$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$	redukce při použití nerezové oceli
$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$	redukce při použití přídavné ochrany

Návrhová odchyłka:

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

Nominální krycí vrstva:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 18 + 10 = 28 \text{ mm} \quad (1.4.2)$$

Navržená krycí vrstva výztuže:

$$c = 30 \text{ mm} > c_{nom} = 28 \text{ mm}$$

1.4.2 Návrh dle empirických vzorců

Výška vazníku se navrhne dle empirického vztahu 1.4.3.

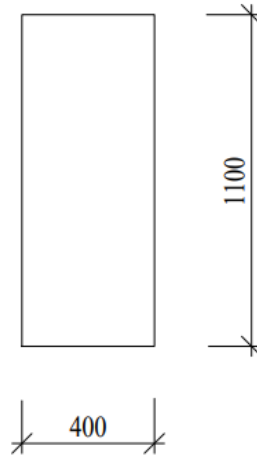
$$h_v = \left(\frac{1}{15} \right) \cdot L_v \quad (1.4.3a)$$

$$h_v = \left(\frac{1}{15} \right) \cdot 15750 = 1050 \rightarrow 1100 \text{ mm} \quad (1.4.3b)$$

Šířka vazníku se navrhne dle empirického vztahu 1.4.4.

$$b_v = \left(\frac{1}{3}\right) \cdot h \quad (1.4.4a)$$

$$b_v = \left(\frac{1}{3}\right) \cdot 1100 = 400 \text{ mm} \quad (1.4.4b)$$



Obr. 1.4: Průřez vazníku

1.4.3 Ověření rozměrů z hlediska průhybu

Vazník ověřím z hlediska průhybu pomocí podmínky ohybové štíhlosti 1.4.5.

Pro splnění podmínky musí platit nerovnice:

$$\frac{L_v}{d} \leq \lambda_d \quad (1.4.5)$$

kde

$$\lambda_d = K_{C1} \cdot K_{C2} \cdot K_{C3} \cdot \lambda_{d,tab} \quad (1.4.6a)$$

kde K_{C1} – součinitel tvaru průřezu; obdélník

$$K_{C1} = 1$$

K_{C2} – součinitel závislý na rozpětí

$$K_{C2} = \min\left(\frac{7}{L_v}, 1\right) = \min\left(\frac{7}{15,75}, 1\right) = \min(0,44; 1) = 0,44$$

K_{C3} – součinitel napětí v tahové výztuži (běžný odhad)

$$K_{C3} = K_{C3} = 1,2$$

$\lambda_{d,tab}$ – tabulková hodnota vymežující ohybové štíhlosti

(C 30/37, $\rho = 0,5\%$, prostý nosník)

$$\lambda_{d,tab} = 20,5$$

$$\lambda_d = 1 \cdot 0,44 \cdot 1,2 \cdot 20,5 = 10,8 \quad (1.4.6b)$$

Určím minimální účinnou výšku průřezu vazníku d , vyjádřením z podmínky ohybové štíhlosti 1.4.5.

$$d \geq \frac{L_v}{\lambda_d} = \frac{15750}{10,8}$$

$$d \geq 1460 \text{ mm.}$$

Stanovím minimální potřebnou výšku vazníku pro splnění podmínky ohybové štíhlosti: Výpočet c_{nom} viz vztah 1.4.2 na str. 8.

$$h \geq d + \frac{\varnothing}{2} + c_{nom} = 1460 + \frac{18}{2} + 28 \quad (1.4.7a)$$

$$h \geq 1497 \text{ mm.} \quad (1.4.7b)$$

Navržená výška vazníku (1100 mm) nesplňuje výše uvedenou podmínku ohybové štíhlosti. Prvek je nutné přímo posoudit na průhyb. [10]

1.4.4 Zatížení

Stálé, proměnné a celkové liniové zatížení vazníku je vypočítáno v Tab. 1.4 až 1.6. Schéma zatížení je zobrazeno na Obr. 1.5.

Hmotnost střešního panelu je $17,4 \text{ kg/m}^2$ – viz Příloha B.1.

Stálé zatížení	g_k [kN/m]	γ_G	g_d [kN/m]
Vlastní tíha vazníku	$25 \cdot 1,1 \cdot 0,4 = 11$	1,35	14,85
Střešní panely	$0,174 \cdot 6 = 1,044$	1,35	1,41
Celkem	12		16,26

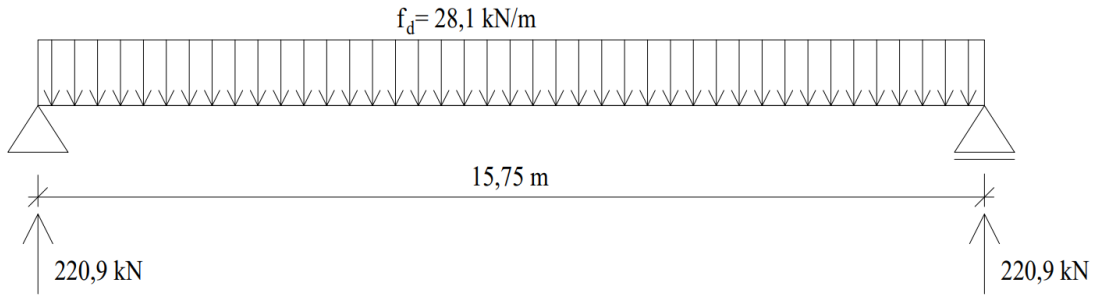
Tab. 1.4: Stálé zatížení vazníku (liniové)

Proměnné zatížení	q_k [kN/m]	γ_Q	q_d [kN/m]
Užitné střecha	$0,75 \cdot 6 = 4,5$	1,5	6,75
Sníh	$0,7 \cdot 0,8 \cdot 6 = 3,36$	1,5	5,04
Celkem	7,86		11,79

Tab. 1.5: Proměnné zatížení vazníku (liniové)

Zatížení	f_k [kN/m]	f_d [kN/m]
Celkem	19,9	28,1

Tab. 1.6: Celkové zatížení vazníku (liniové)



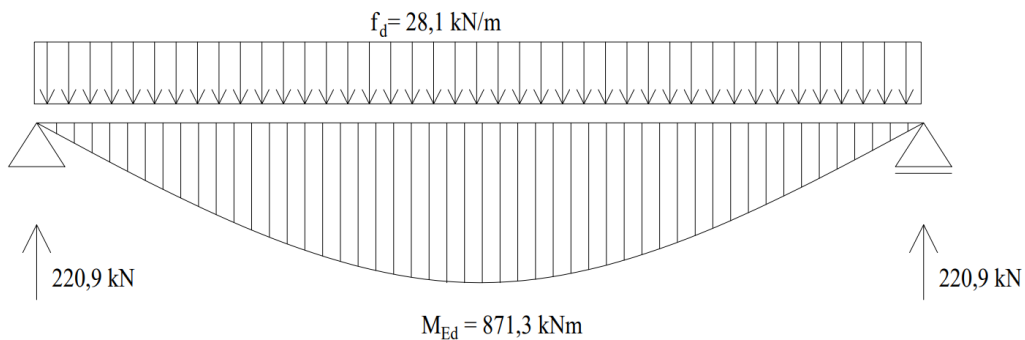
Obr. 1.5: Schéma zatížení a reakcí na vazníku

1.4.5 Maximální moment v poli

Pro prostě uložený vazník maximální moment v poli se stanoví dle vztahu 1.4.8. Průběh momentu je zobrazen na Obr. 1.6.

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} f_d L_v^2 \quad (1.4.8a)$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot 28,1 \cdot 15,75^2 = 871,3 \text{ kNm} \quad (1.4.8b)$$



Obr. 1.6: Průběh momentu na vazníku

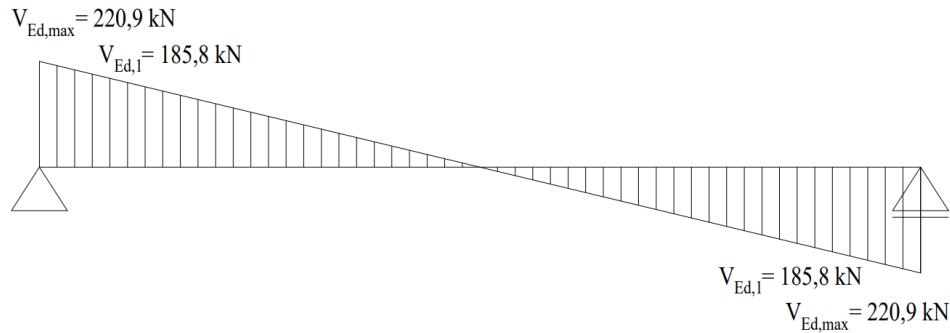
1.4.6 Maximální posouvající síla vazníku

Maximální posouvající síla v teoretické podpoře, jejíž šířku odhadneme jako $b = 500 \text{ mm}$ je $V_{Ed,max} = 220,9 \text{ kN}$ – viz Obr. 1.7.

Maximální posouvající síla pro návrh třmínek se stanoví dle 1.4.9. Průběh posouvající síly je zohledněn na Obr. 1.7

$$V_{Ed,1} = \frac{\frac{L}{2} - \frac{b}{2} - d}{\frac{L}{2}} \cdot V_{Ed,max} \quad (1.4.9a)$$

$$V_{Ed,1} = \frac{\frac{15,75}{2} - \frac{0,5}{2} - 1,053}{\frac{15,75}{2}} \cdot 220,9 = 184,3 \text{ kN} \quad (1.4.9b)$$



Obr. 1.7: Průběh posouvající síly na vazníku

1.4.7 Geometrie vazníku

Šířka průřezu:

$$b = 400 \text{ mm}$$

Výška průřezu:

$$h = 1100 \text{ mm}$$

Průměr výztuže:

$$\varnothing_s = 18 \text{ mm}$$

Průměr třmínků:

$$\varnothing_t = 8 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu:

$$d = h - c_{nom} - \varnothing_t - \frac{\varnothing_s}{2} \quad (1.4.10a)$$

$$d = 1100 - 30 - 8 - \frac{18}{2} = 1053 \text{ mm} \quad (1.4.10b)$$

Vzdálenost nulových momentů na vazníku (prostý nosník):

$$L_0 = L_v = 15750 \text{ mm} \quad (1.4.11)$$

1.4.8 Návrh podélné výztuže vazníku

Požadovaná plocha podélné výztuže vazníku

Dle vztahu 1.4.12 a výše spočtených parametrů stanovím minimální požadovanou plochu hlavní nosné (spodní) výztuže.

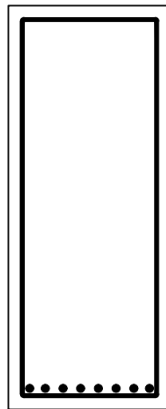
$$A_{s,req} = \left(\frac{b_v d f_{cd}}{f_{yd}} \right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_{Ed}}{f_{cd} b_v d^2}} \right) \quad (1.4.12a)$$

$$A_{s,req} = \left(\frac{400 \cdot 1053 \cdot 20}{435} \right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 871,3 \cdot 10^6}{20 \cdot 400 \cdot 1053^2}} \right) \quad (1.4.12b)$$

$$A_{s,req} = 2006,1 \text{ mm}^2 \quad (1.4.12c)$$

Navržená výztuž:

NÁVRH: $8 \times \varnothing 18 \text{ mm}$ ($A_{s,prov} = 2035,75 \text{ mm}^2$)



Obr. 1.8: Navržená výztuž vazníku

Skutečná plocha podélné výztuže vazníku

Dle vztahu 1.5.11 stanovím skutečnou plochu navržené výztuže vazníku.

$$A_{s,prov} = n \left(\frac{\pi \varnothing_s^2}{4} \right) \quad (1.4.13a)$$

$$A_{s,prov} = 8 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 18^2}{4} \right) = 2035,75 \text{ mm}^2 \quad (1.4.13b)$$

Ověření požadované plochy:

$$A_{s,prov} = 2035,75 \text{ mm}^2 > 1910,2 \text{ mm}^2 = A_{s,req}$$

→ Skutečná plocha navržené výztuže je větší než požadovaná, tudíž je návrh bezpečný.

1.4.9 Posouzení podélné výztuže vazníku

Ověření konstrukčních zásad – rozteč

Navržená výztuž musí splňovat konstrukční zásady rozmístění prutů.
Určím světlou rozteč prutů:

$$s_c = \frac{b - 2c - 2\varphi_t - n\varphi_s}{n - 1} \quad (1.4.14a)$$

$$s_c = \frac{400 - 2 \cdot 30 - 2 \cdot 8 - 8 \cdot 18}{8 - 1} = 25,7 \text{ mm} \quad (1.4.14b)$$

Navržená výztuž musí splňovat podmínku minimální světlé rozteče:

$$s_c \geq \max(20 \text{ mm}; 1, 2\varphi_s; D_{\max} + 5 \text{ mm}) \quad (1.4.15a)$$

$$s_c \geq \max(20 \text{ mm}; 1, 2 \cdot 18; 16 + 5) = 21,6 \text{ mm} \quad (1.4.15b)$$

$$s_c = 25,7 \text{ mm} > 21,6 \text{ mm} \quad (1.4.15c)$$

→ Navržená výztuž splňuje podmínku minimální světlé rozteče.

Určím osovou rozteč navržených prutů:

$$s = s_c + \varphi_s \quad (1.4.16a)$$

$$s = 25,7 + 18 = 43,7 \text{ mm} \quad (1.4.16b)$$

Navržená výztuž musí splňovat podmínku maximální osové rozteče:

$$s \leq \min(2h; 250 \text{ mm}) \quad (1.4.17a)$$

$$s \leq \min(2 \cdot 1100; 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm} \quad (1.4.17b)$$

$$s = 43,7 \text{ mm} < 250 \text{ mm} \quad (1.4.17c)$$

→ Navržená výztuž splňuje podmínku maximální osové rozteči.

Ověření konstrukčních zásad – plocha

Navržená plocha výztuže musí splňovat konstrukční zásady. Musí platit:

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov} \leq A_{s,max} \quad (1.4.18a)$$

$$0,0013bd \leq A_{s,prov} \leq 0,04bh \quad (1.4.18b)$$

$$0,0013 \cdot 400 \cdot 1053 \leq 2035,75 \text{ mm}^2 \leq 0,04 \cdot 400 \cdot 1100 \quad (1.4.18c)$$

$$547,56 \text{ mm}^2 < 2035,75 \text{ mm}^2 < 17600 \text{ mm}^2 \quad (1.4.18d)$$

→ Návrh plochy výztuže vyhovuje.

Posouzení průřezu

Výšku tlačené oblasti x určím pomocí vztahu:

$$x = \frac{A_{s,prov} f_{yd}}{0,8b f_{cd}} \quad (1.4.19a)$$

$$x = \frac{2035,75 \cdot 435}{0,8 \cdot 400 \cdot 20} = 138,36 \text{ mm} \quad (1.4.19b)$$

Rameno vnitřních sil z :

$$z = d - 0,4x \quad (1.4.20a)$$

$$z = 1053 - 0,4 \cdot 138,36 = 997,66 \text{ mm} \quad (1.4.20b)$$

Výpočet momentu únosnosti M_{Rd} :

$$M_{Rd} = A_{s,prov} f_{yd} z \quad (1.4.21a)$$

$$M_{Rd} = 2035,75 \cdot 435 \cdot 10^{-6} \cdot 997,66 = 883,15 \text{ kNm} \quad (1.4.21b)$$

Posouzení momentové únosnosti:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad (1.4.22a)$$

$$M_{Ed} = 871,35 \text{ kNm} < 883,15 \text{ kNm} = M_{Rd} \quad (1.4.22b)$$

→ Momentová únosnost vyhovuje.

Kontrola stupně využití:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \cdot 100 \% \quad (1.4.23a)$$

$$\frac{871,35}{883,15} \cdot 100 \% = 98,7 \% \quad (1.4.23b)$$

Navržená výztuž splňuje podmínku momentové únosnosti i konstrukční zásady, tudíž návrh je bezpečný. Stupeň využití je 98,7 %, tudíž je návrh i ekonomický.

1.4.10 Ověření tlačené diagonály

Únosnost tlačené diagonály v místě největší posouvající síly stanovím pomocí vztahu:

$$V_{Rd,max} = \nu f_{cd} b z \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} \quad (1.4.24a)$$

kde

ν je redukční součinitel pevnosti betonu

$$\nu = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left(1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528$$

f_{cd} je návrhová pevnost betonu

b je šířka průřezu

z je rameno vnitřních sil v průřezu nad podporou

θ je úhel sklonu diagonály (zvolím $\cot \theta = 1,5$)

$$V_{Rd,max} = 0,528 \cdot 20 \cdot 400 \cdot 997,66 \cdot \frac{1,5}{1 + 1,5^2} \cdot 10^{-3} = 1944,97 \text{ kN} \quad (1.4.24b)$$

Posouzení:

$$V_{Ed,max} \leq V_{Rd,max} \quad (1.4.25)$$

$$V_{Ed,max} = 220,9 \text{ kN} < 1994,97 \text{ kN} = V_{Rd,max}$$

→ Podmínka únosnosti tlačené diagonály je splněna, tudíž rozměry průřezu vyhovují.

1.4.11 Návrh a posouzení smykové výztuže vazníku

Průřezová plocha třmínku:

$$A_{sw} = n \frac{\pi \varnothing_t^2}{4} \quad (1.4.26a)$$

kde n je střížnost třmínku (zvolíme třmínky dvoustřížné, $n = 2$)

$$A_{sw} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 100,5 \text{ mm}^2 \quad (1.4.26b)$$

Rameno vnitřních sil v průřezu nad podporou:

Stanoveno při posouzení průřezu vazníku na straně 15 (viz vztah 1.4.20).

$$z = 997,66 \text{ mm}$$

Požadovaná rozteč třmínků ve vazníku:

Volíme $\cot\theta = 1,5$

$$s_{req} = \frac{A_{sw} f_{yd}}{V_{Ed,1}} z \cot\theta \quad (1.4.27a)$$

$$s_{req} = \frac{100,5 \cdot 435 \cdot 10^{-3}}{184,3} \cdot 997,66 \cdot 1,5 = 352,11 \text{ mm} \quad (1.4.27b)$$

Návrh rozteči:

$$s = 280 \text{ mm} < 352,11 \text{ mm} = s_{req}$$

Navržená smyková výztuž:

Třmínek dvoustřížný $\varnothing 8$ po 280 mm

Ověření konstrukčních zásad navržených třmínků

Maximální vzdálenost třmínků:

$$s \leq \min(0,75d; 400 \text{ mm}) \quad (1.4.28a)$$

kde $d = 1053 \text{ mm}$ (stanoveno na str. 12, vztah 1.4.10)

$$s \leq \min(0,75 \cdot 1053; 400 \text{ mm}) = 400 \text{ mm} \quad (1.4.28b)$$

$$s = 280 \text{ mm} < 400 \text{ mm} \quad (1.4.28c)$$

→ Podmínka maximální vzdálenosti smykové výztuže splněna.

Stupeň vyztužení:

$$\rho_{sw,min} \leq \rho_{sw} \leq \rho_{sw,max} \quad (1.4.29a)$$

$$\frac{0,08\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \leq \frac{A_{sw}}{b \cdot s} \leq \frac{0,3 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) f_{cd}}{f_{yd}} \quad (1.4.29b)$$

$$\frac{0,08\sqrt{20}}{435} \leq \frac{100,5}{400 \cdot 280} \leq \frac{0,3 \left(1 - \frac{20}{250}\right) \cdot 30}{500} \quad (1.4.29c)$$

$$8,7 \cdot 10^{-4} < 8,97 \cdot 10^{-4} < 1 \cdot 10^{-2} \quad (1.4.29d)$$

→ Podmínka stupně vyztužení smykové výztuže je splněna.

Únosnost třmínků:

$$V_{Rd} = A_{sw} f_{yd} \times \frac{z \cot \theta}{s} \quad (1.4.30a)$$

$$V_{Rd} = 100,5 \cdot 435 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{997,66 \cdot 1,5}{280} = 233,72 \text{ kN} \quad (1.4.30b)$$

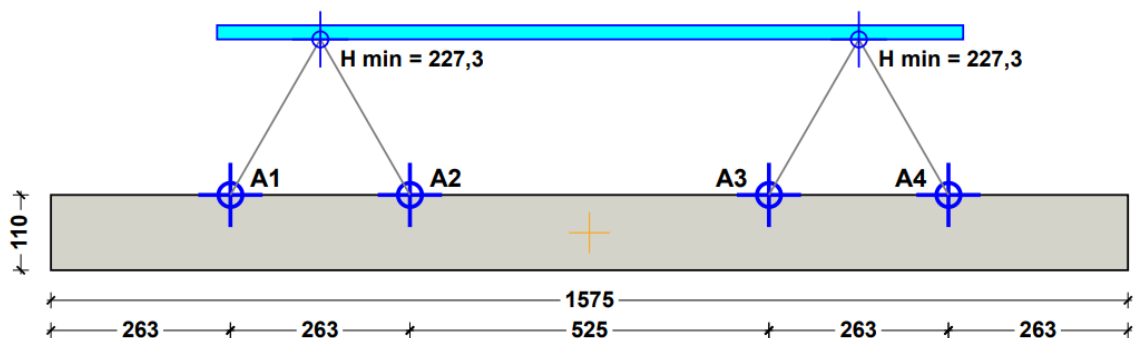
$$V_{Rd} = 233,72 \text{ kN} > 185,8 \text{ kN} = V_{Ed,1} \quad (1.4.30c)$$

→ Podmínka smykové únosnosti je splněna.

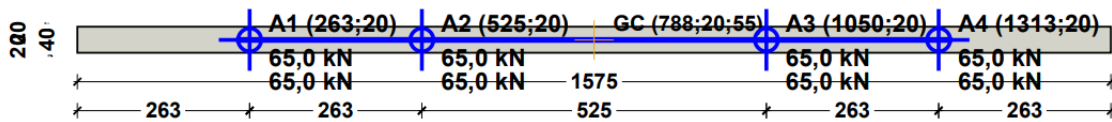
Navržené třmínky splňují podmínku smykové únosnosti i konstrukční zásady, tudíž návrh je bezpečný.

1.4.12 Návrh manipulačních úchytů vazníku

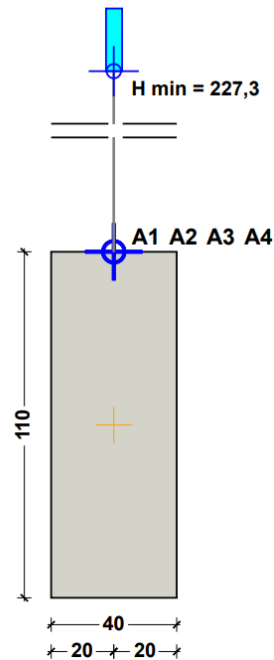
Pro přepravu vazníku je nutné navrhnout manipulační úchyty. K návrhu je použit program HALFEN TPA [5], z jehož výstupu vyplývá, že k transportu prvku je potřeba 4× kotva DEHA s kulovou hlavou a okem 6000-7,5-0540 (podrobněji viz Příloha C.1), a jejich rozmístění je na obrázcích dole (kótováno v cm). Přepravní úchyty se zabetonují zároveň s vynechávkou. Po betonáži se vynechávka odstraní a lze zavěšovat břemena ve všech směrech. Spojka s univerzální hlavou se během několika vteřin zasune do kotvy prefabrikátu a je možné prefabrikát zvedat a přepravovat.



Obr. 1.9: Rozmístění kotev – pohled zepředu (převzato z programu HALFEN TPA [5])



Obr. 1.10: Rozmístění kotev – pohled shora (převzato z programu HALFEN TPA [5])



Obr. 1.11: Rozmístění kotev – pohled z boku (převzato z programu HALFEN TPA [5])

1.4.13 Pomocné výpočty k výkresu výztuže vazníku

Rozšíření obálky

Při stanovení protažení výztuže je nutné vycházet z obálky momentů, křivky které je potřeba posunout ve vodorovném směru o délku a_l (viz výpočet 1.4.31, kde $z = 997,66$ mm a $\cot\theta = 1,5$).

$$a_l = 0,5 \cdot z \cdot \cot\theta = 0,5 \cdot 997,66 \cdot 1,5 = 748,3 \text{ mm} \quad (1.4.31)$$

Minimální kotevní délka pro hlavní nosnou výztuž

Každý prut od konce základní délky musí být zakotven minimální kotevní délkou $l_{b,min}$ (viz výpočet 1.4.34, kde $\varnothing_s = 18$ mm a $l_{b,req}$ se vypočte dle 1.4.33).

Pro výpočet základní kotevní délky je nutné znát návrhové napětí f_{bd} pro pruty s velkou soudržností, a to se určí ze vztahu 1.4.32, kde $f_{ctk0,05} = 2$ MPa a $\gamma_C = 1,5$.

$$f_{bd} = \frac{2,25 \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_C} = \frac{2,25 \cdot 2}{1,5} = 3 \text{ MPa} \quad (1.4.32)$$

$$l_{b,req} = \frac{\varnothing_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{18}{4} \cdot \frac{435}{3} = 652,5 \text{ mm} \quad (1.4.33)$$

$$l_{b,min} = \max(0, 3 \cdot l_{b,req}; 10\varnothing_s; 100) = \max(0, 3 \cdot 652, 5; 10 \cdot 18; 100) \quad (1.4.34a)$$

$$l_{b,min} = \max(195, 8 \text{ mm}; 180 \text{ mm}; 100 \text{ mm}) = 195, 8 \text{ mm} \quad (1.4.34b)$$

Návrhová kotevní délka pro hlavní nosnou výztuž

Každý prut od místa plného využití musí být zakotven návrhovou kotevní délkou $l_{b,d}$ pro stanovení které bezpečně zvolím $\alpha_i = 1$.

$$l_{b,d} = \max(\alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4\alpha_5l_{b,req}; l_{b,min}) \quad (1.4.35a)$$

$$l_{b,d} = \max(1 \cdot 652, 5; 195, 8) = 652, 5 \text{ mm} \quad (1.4.35b)$$

Minimální kotevní délka pro konstrukční výztuž

Každý prut od konce základní délky musí být zakotven minimální kotevní délkou $l_{b,min}$ (viz výpočet 1.4.37, kde $\varnothing_s = 12 \text{ mm}$ a $l_{b,req}$ se vypočte dle 1.4.36).

Pro výpočet základní kotevní délky je nutné znát návrhové napětí f_{bd} pro pruty s velkou soudržností, a to bylo určeno ze vztahu 1.4.32.

$$l_{b,req} = \frac{\varnothing_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{12}{4} \cdot \frac{435}{3} = 435 \text{ mm} \quad (1.4.36)$$

$$l_{b,min} = \max(0, 3 \cdot l_{b,req}; 10\varnothing_s; 100) = \max(0, 3 \cdot 435; 10 \cdot 12; 100) \quad (1.4.37a)$$

$$l_{b,min} = \max(130, 5 \text{ mm}; 120 \text{ mm}; 100 \text{ mm}) = 130, 5 \text{ mm} \quad (1.4.37b)$$

Návrhová kotevní délka pro konstrukční výztuž

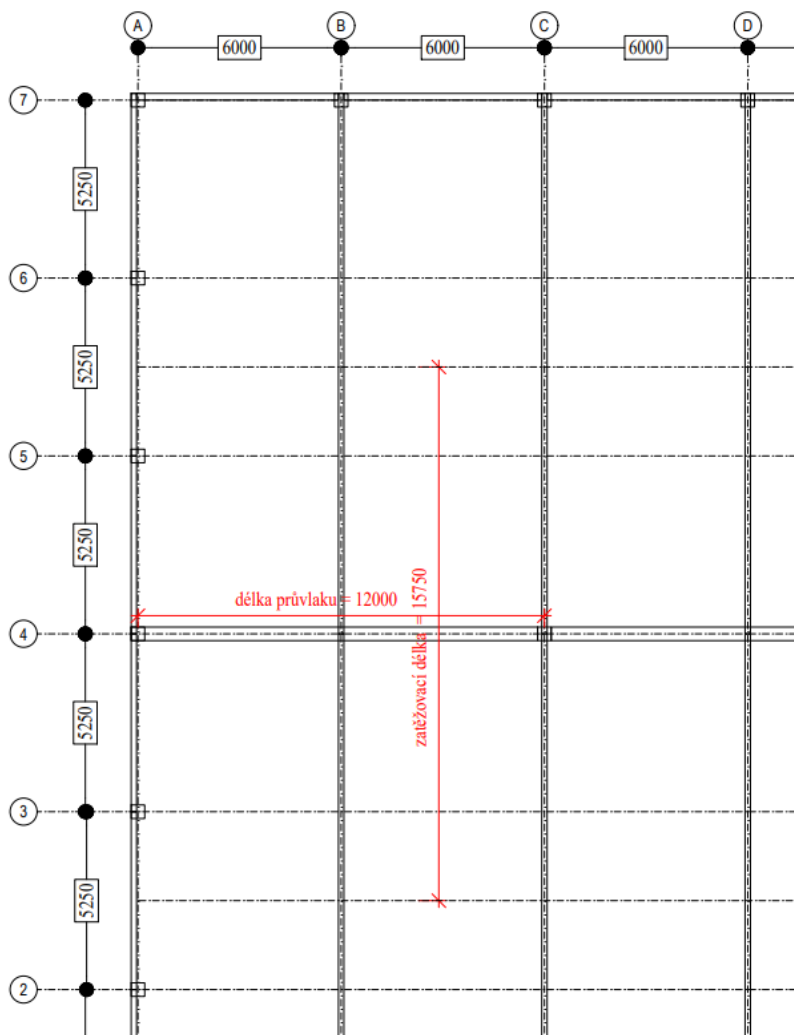
Každý prut od místa plného využití musí být zakotven návrhovou kotevní délkou $l_{b,d}$ pro stanovení které bezpečně zvolím $\alpha_i = 1$.

$$l_{b,d} = \max(\alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4\alpha_5l_{b,req}; l_{b,min}) \quad (1.4.38a)$$

$$l_{b,d} = \max(1 \cdot 435; 130, 5) = 435 \text{ mm} \quad (1.4.38b)$$

1.5 Návrh a posouzení průvlaku

Provedeme empirický návrh rozměrů ŽB průvlaku, který je prostě uložen na ŽB sloupy. Délka průvlaku je: $L_p = 12 \text{ m}$. Průvlak je bodově zatížen vazníky a liniově zatížen vlastní tíhou.



Obr. 1.12: Délka průvlaku

1.5.1 Návrh dle empirických vzorců

Výška průvlaku se navrhne dle empirického vztahu 1.5.1.

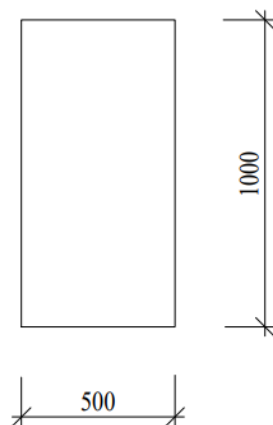
$$h_p = \left(\frac{1}{12}\right) \cdot L_p \quad (1.5.1a)$$

$$h_p = \left(\frac{1}{12}\right) \cdot 1200 = 1000 \text{ mm} \quad (1.5.1b)$$

Šířka průvlaku se navrhne dle empirického vztahu 1.5.2.

$$b_p = \left(\frac{2}{3}\right) \cdot h \quad (1.5.2a)$$

$$b_p = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot 1000 = 500 \text{ mm} \quad (1.5.2b)$$



Obr. 1.13: Průřez průvlaku

1.5.2 Tloušťka krycí vrstvy výztuže

U průvlaku uvazovány stejné vstupní parametry (třída betonu, předpokládaná výztuž, stupeň vlivu prostředí), jako u vazníku, tím pádem krytí je stejné, viz vztah 1.4.1 na str. 8.

Uvažované krytí:

$$c = 30 \text{ mm}$$

1.5.3 Ověření z hlediska průhybu

Průvlak ověřím z hlediska průhybu pomocí podmínky ohybové štíhlosti 1.5.3.

Pro splnění podmínky musí platit nerovnice:

$$\frac{L_p}{d} \leq \lambda_d \quad (1.5.3)$$

kde

$$\lambda_d = K_{C1} \cdot K_{C2} \cdot K_{C3} \cdot \lambda_{d,tab} \quad (1.5.4a)$$

kde K_{C1} – součinitel tvaru průřezu; obdélník

$$K_{C1} = 1$$

K_{C2} – součinitel závislý na rozpětí

$$K_{C2} = \min\left(\frac{7}{L_p}, 1\right) = \min\left(\frac{7}{12}, 1\right) = \min(0,58; 1) = 0,58$$

K_{C3} – součinitel napětí v tahové výztuži (běžný odhad)

$$K_{C3} = K_{C3} = 1,2$$

$\lambda_{d,tab}$ – tabulková hodnota vymežující ohybové štíhlosti

(C 30/37, $\rho = 0,5\%$, prostý nosník)

$$\lambda_{d,tab} = 20,5$$

$$\lambda_d = 1 \cdot 0,58 \cdot 1,2 \cdot 20,5 = 14,3 \quad (1.5.4b)$$

Určím minimální účinnou výšku průřezu průvlaku d , vyjádřením z podmínky ohybové štíhlosti 1.5.3.

$$d \geq \frac{L_p}{\lambda_d} = \frac{12000}{14,3}$$

$$d \geq 840 \text{ mm.}$$

Stanovím minimální potřebnou výšku průvlaku pro splnění podmínky ohybové štíhlosti: Výpočet c_{nom} viz vztah 1.4.2 na str. 8.

$$h \geq d + \frac{\varnothing}{2} + c_{nom} = 840 + \frac{18}{2} + 28 \quad (1.5.5a)$$

$$h \geq 877 \text{ mm.} \quad (1.5.5b)$$

Navržená výška vazníku (1000 mm) splňuje výše uvedenou podmínku ohybové štíhlosti. Prvek není nutné přímo posuzovat na průhyb.

1.5.4 Zatížení

Stálé, proměnné a celkové liniové a bodové zatížení průvlaku je vypočítáno v Tab. 1.7 až 1.9. Schéma zatížení je zobrazeno na Obr. 1.23.

Stálé zatížení	g_k [kN]	γ_G	g_d [kN]
Stálé zatížení od vazníku	$12 \cdot 15,75 = 189$	1,35	255,2
Celkem	189		255,2

Tab. 1.7: Stálé zatížení od vazníku (bodové)

Proměnné zatížení	q_k [kN]	γ_Q	q_d [kN]
Proměnné zatížení od vazníku	$7,9 \cdot 15,75 = 124,4$	1,5	186,6
Celkem	124,4		186,6

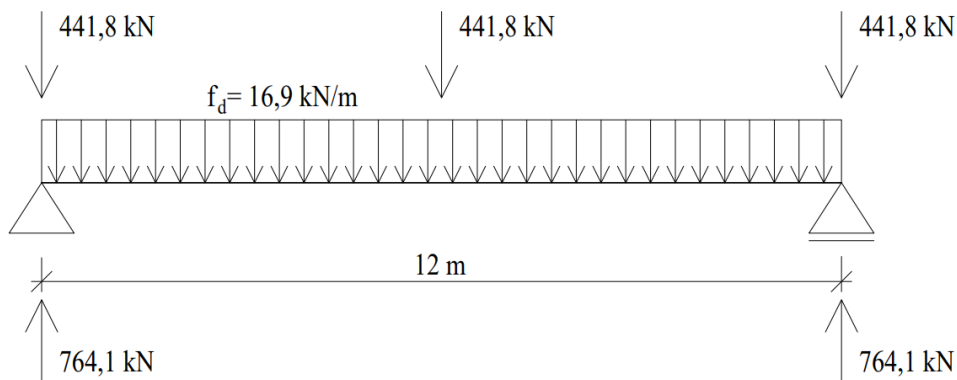
Tab. 1.8: Proměnné zatížení od vazníku (bodové)

Zatížení	f_k [kN]	f_d [kN]
Celkem	313,4	441,8

Tab. 1.9: Celkové zatížení od vazníku (bodové)

Stálé zatížení	g_k [kN/m]	γ_G	g_d [kN/m]
Vlastní tíha průvlaku	$25 \cdot 1 \cdot 0,5 = 12,5$	1,35	16,9

Tab. 1.10: Zatížení od vlastní tíhy (liniové)



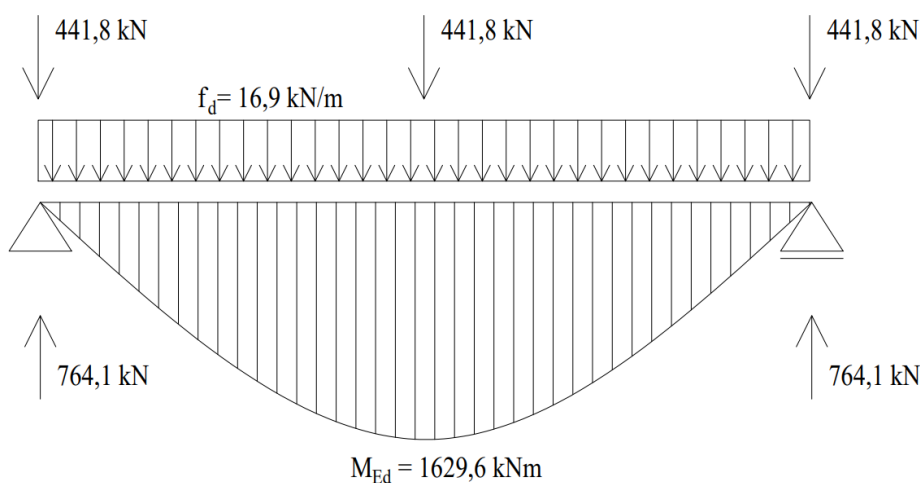
Obr. 1.14: Schéma zatížení a reakcí na průvlaku

1.5.5 Maximální moment v poli:

Pro prostě uložený průvlak maximální moment od zatížení v poli je vypočítán níže dle 1.5.6. Průběh momentu je zohledněn na Obr. 1.15.

$$M_{Ed} = (R - F) \cdot \frac{L_p}{2} - \frac{1}{8} f_d L_p^2 \quad (1.5.6a)$$

$$M_{Ed} = (764,1 - 441,8) \cdot \frac{12}{2} - \frac{1}{8} \cdot 16,9 \cdot 12^2 = 1629,6 \text{ kNm} \quad (1.5.6b)$$



Obr. 1.15: Průběh momentu na průvlaku

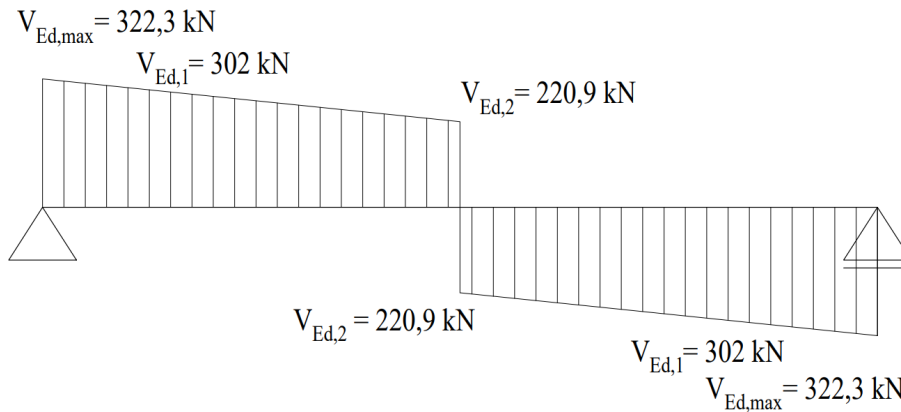
1.5.6 Maximální posouvající síla průvlaku

Maximální posouvající síla v teoretické podpoře, jejíž šířku odhadneme jako $b = 500 \text{ mm}$, je $V_{Ed,max} = 322,3 \text{ kN}$ – viz Obr. 1.16.

Maximální posouvající síla pro návrh třmínků se stanoví dle 1.5.7. Průběh posouvající síly na průvlaku je zohledněn na Obr. 1.16

$$V_{Ed,1} = \frac{F}{2} + \frac{\frac{L}{2} - \frac{b}{2} - d}{\frac{L}{2}} \cdot \left(V_{Ed,max} - \frac{F}{2} \right) \quad (1.5.7a)$$

$$V_{Ed,1} = \frac{441,8}{2} + \frac{\frac{12}{2} - \frac{0,5}{2} - 0,953}{\frac{12}{2}} \cdot \left(322,3 - \frac{441,8}{2} \right) = 302 \text{ kN} \quad (1.5.7b)$$



Obr. 1.16: Průběh posouvající síly na průvlaku

1.5.7 Geometrie průřezu průvlaku

Šířka průřezu:

$$b = 500 \text{ mm}$$

Výška průřezu:

$$h = 1000 \text{ mm}$$

Průměr výztuže:

$$\varnothing_s = 18 \text{ mm}$$

Průměr třmínků:

$$\varnothing_t = 8 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu:

Vzhledem k velkému zatížení je předpokládána spodní výztuž ve třech řadách. Vypočtená účinná výška je k těžišti veškeré výztuže (tj. k těžišti druhé vrstvy). Při výpočtu je uvažována světlá rozteč vrstev výztuže 30 mm.

$$d = h - c_{nom} - \varnothing_t - \varnothing_s - 30 - \frac{\varnothing_s}{2} \quad (1.5.8a)$$

$$d = 1000 - 30 - 8 - 18 - 30 - \frac{18}{2} = 905 \text{ mm} \quad (1.5.8b)$$

Vzdálenost nulových momentu na průvlaku:

$$L_0 = L_p = 12000 \text{ mm} \quad (1.5.9)$$

1.5.8 Návrh podélné výztuže průvlaku

Požadovaná plocha podélné výztuže průvlaku

Dle vztahu 1.5.10 a výše spočtených parametrů stanovím minimální požadovanou plochu hlavní nosné (spodní) výztuže.

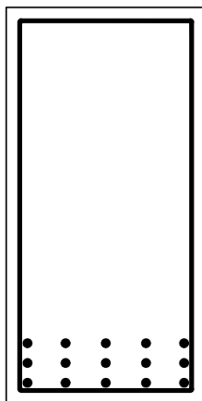
$$A_{s,req} = \left(\frac{b_p d f_{cd}}{f_{yd}} \right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_{Ed}}{f_{cd} b_p d^2}} \right) \quad (1.5.10a)$$

$$A_{s,req} = \left(\frac{500 \cdot 905 \cdot 20}{435} \right) \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1629,6 \cdot 10^6}{20 \cdot 500 \cdot 905^2}} \right) \quad (1.5.10b)$$

$$A_{s,req} = 4661,74 \text{ mm}^2 \quad (1.5.10c)$$

Navržená výztuž:

NÁVRH: 15 × ∅ 20 mm ($A_{s,prov} = 4712,4 \text{ mm}^2$)



Obr. 1.17: Navržená výztuž průvlaku

Skutečná plocha podélné výztuže průvlaku

Dle vztahu 1.5.11 stanovím skutečnou plochu navržené výztuže průvlaku.

$$A_{s,prov} = n \left(\frac{\pi \varnothing_s^2}{4} \right) \quad (1.5.11a)$$

$$A_{s,prov} = 15 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 20^2}{4} \right) = 4712,4 \text{ mm}^2 \quad (1.5.11b)$$

Ověření požadované plochy:

$$A_{s,prov} = 4712,4 \text{ mm}^2 > 4661,74 \text{ mm}^2 = A_{s,req}$$

→ Skutečná plocha navržené výztuže je větší než požadovaná, tudíž je návrh bezpečný.

1.5.9 Posouzení podélné výztuže průvlaku

Ověření konstrukčních zásad – rozteč

Navržená výztuž musí splňovat konstrukční zásady rozmístění prutů.

Určím světlou rozteč prutů v jedné řadě:

$$s_c = \frac{b - 2c - 2\varnothing_t - \frac{n}{3}\varnothing_s}{\frac{n}{3} - 1} \quad (1.5.12a)$$

$$s_c = \frac{500 - 2 \cdot 30 - 2 \cdot 8 - \frac{15}{3} \cdot 20}{\frac{15}{3} - 1} = 81 \text{ mm} \quad (1.5.12b)$$

Navržená výztuž musí splňovat podmínku minimální světlé rozteče:

$$s_c \geq \max(20 \text{ mm}; 1,2\varnothing_s; D_{max} + 5 \text{ mm}) \quad (1.5.13a)$$

$$s_c \geq \max(20 \text{ mm}; 1,2 \cdot 20; 16 + 5) = 24 \text{ mm} \quad (1.5.13b)$$

$$s_c = 81 \text{ mm} > 24 \text{ mm} \quad (1.5.13c)$$

→ Navržená výztuž splňuje podmínku minimální světlé rozteče.

Určím osovou rozteč navržených prutů:

$$s = s_c + \varnothing_s \quad (1.5.14a)$$

$$s = 81 + 20 = 101 \text{ mm} \quad (1.5.14b)$$

Navržená výztuž musí splňovat podmínku maximální osové rozteče:

$$s \leq \min(2h; 250 \text{ mm}) \quad (1.5.15a)$$

$$s \leq \min(2 \cdot 1000; 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm} \quad (1.5.15b)$$

$$s = 101 \text{ mm} < 250 \text{ mm} \quad (1.5.15c)$$

→ Navržená výztuž splňuje podmínku maximální osové rozteči.

Přepočít účinné výšky průřezu:

Dle vztahu 1.5.8 na straně 24 přepočtu účinnou výšku průvlaku vzhledem k navrženému průměru výztuže.

$$d = 1000 - 30 - 8 - 20 - 30 - \frac{20}{2} = 902 \text{ mm} \quad (1.5.16)$$

Ověření konstrukčních zásad – plocha

Navržená plocha výztuže musí splňovat konstrukční zásady. Musí platit:

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov} \leq A_{s,max} \quad (1.5.17a)$$

$$0,0013bd \leq A_{s,prov} \leq 0,04bh \quad (1.5.17b)$$

$$0,0013 \cdot 500 \cdot 902 \leq 4712,4 \text{ mm}^2 \leq 0,04 \cdot 500 \cdot 1000 \quad (1.5.17c)$$

$$586,3 \text{ mm}^2 < 4712,4 \text{ mm}^2 < 20000 \text{ mm}^2 \quad (1.5.17d)$$

→ Návrh plochy výztuže vyhovuje.

Posouzení průřezu

Výšku tlačené oblasti x určím pomocí vztahu:

$$x = \frac{A_{s,prov} f_{yd}}{0,8b f_{cd}} \quad (1.5.18a)$$

$$x = \frac{4712,4 \cdot 435}{0,8 \cdot 500 \cdot 20} = 256,24 \text{ mm} \quad (1.5.18b)$$

Rameno vnitřních sil z :

$$z = d - 0,4x \quad (1.5.19a)$$

$$z = 902 - 0,4 \cdot 256,24 = 799,5 \text{ mm} \quad (1.5.19b)$$

Výpočet momentu únosnosti M_{Rd} :

$$M_{Rd} = A_{s,prov} f_{yd} z \quad (1.5.20a)$$

$$M_{Rd} = 4712,4 \cdot 435 \cdot 10^{-6} \cdot 799,5 = 1638,9 \text{ kNm} \quad (1.5.20b)$$

Posouzení momentové únosnosti:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad (1.5.21a)$$

$$M_{Ed} = 1629,6 \text{ kNm} < 1638,9 \text{ kNm} = M_{Rd} \quad (1.5.21b)$$

→ Momentová únosnost vyhovuje.

Kontrola stupně využití:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \cdot 100 \% \quad (1.5.22a)$$

$$\frac{1629,6}{1638,9} \cdot 100 \% = 99,4 \% \quad (1.5.22b)$$

Navržená výztuž splňuje podmínku momentové únosnosti i konstrukční zásady, tudíž návrh je bezpečný. Stupeň využití je 99,4 %, tudíž je návrh i ekonomický.

1.5.10 Ověření tlačené diagonály

Únosnost tlačené diagonály v místě největší posouvající síly stanovím pomocí vztahu:

$$V_{Rd,max} = \nu f_{cd} b z \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} \quad (1.5.23a)$$

kde

ν je redukční součinitel pevnosti betonu

$$\nu = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

f_{cd} je návrhová pevnost betonu

b je šířka průřezu

z je rameno vnitřních sil v průřezu nad podporou

θ je úhel sklonu diagonály (zvolím $\cot \theta = 1,5$)

$$V_{Rd,max} = 0,528 \cdot 20 \cdot 500 \cdot 799,5 \cdot \frac{1,5}{1 + 1,5^2} \cdot 10^{-3} = 1948,3 \text{ kN} \quad (1.5.23b)$$

Posouzení:

$$V_{Ed,max} \leq V_{Rd,max} \quad (1.5.24)$$

$$V_{Ed,max} = 322,3 \text{ kN} < 1948,3 \text{ kN} = V_{Rd,max}$$

→ Podmínka únosnosti tlačené diagonály je splněna, tudíž rozměry průřezu vyhovují.

1.5.11 Návrh a posouzení smykové výztuži průvlaku

Průřezová plocha třmínku:

$$A_{sw} = n \frac{\pi \varnothing_t^2}{4} \quad (1.5.25a)$$

kde n je střížnost třmínku (zvolíme třmínky dvoustřížné, $n = 2$)

$$A_{sw} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 100,5 \text{ mm}^2 \quad (1.5.25b)$$

Rameno vnitřních sil v průřezu nad podporou:

Stanoveno při posouzení průřezu vazníku na straně 27 (viz vztah 1.5.19).

$$z = 799,5 \text{ mm}$$

Požadovaná rozteč třmínků ve vazníku:

Volíme $\cot \theta = 1,5$

$$s_{req} = \frac{A_{sw} f_{yd}}{V_{Ed,1}} z \cot \theta \quad (1.5.26a)$$

$$s_{req} = \frac{100,5 \cdot 435 \cdot 10^{-3}}{302} \cdot 799,5 \cdot 1,5 = 173,6 \text{ mm} \quad (1.5.26b)$$

Návrh rozteči:

$$s = 170 \text{ mm} < 173,6 \text{ mm} = s_{req}$$

Navržená smyková výztuž:
 Třmínek dvoustřížný $\varnothing 8$ po 170 mm
Ověření konstrukčních zásad navržených třmíneků

Maximální vzdálenost třmíneků:

$$s \leq \min(0,75d; 400 \text{ mm}) \quad (1.5.27a)$$

kde $d = 902 \text{ mm}$ (stanoveno na str. 26, vztah 1.5.16)

$$s \leq \min(0,75 \cdot 902; 400 \text{ mm}) = 400 \text{ mm} \quad (1.5.27b)$$

$$s = 170 \text{ mm} < 400 \text{ mm} \quad (1.5.27c)$$

→ Podmínka maximální vzdálenosti smykové výztuže splněna.

Stupeň vyztužení:

$$\rho_{sw,min} \leq \rho_{sw} \leq \rho_{sw,max} \quad (1.5.28a)$$

$$\frac{0,08\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \leq \frac{A_{sw}}{b \cdot s} \leq \frac{0,3 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) f_{cd}}{f_{yd}} \quad (1.5.28b)$$

$$\frac{0,08\sqrt{20}}{435} \leq \frac{100,5}{500 \cdot 170} \leq \frac{0,3 \left(1 - \frac{20}{250}\right) \cdot 30}{500} \quad (1.5.28c)$$

$$8,7 \cdot 10^{-4} < 1,2 \cdot 10^{-3} < 1 \cdot 10^{-2} \quad (1.5.28d)$$

→ Podmínka stupně vyztužení smykové výztuže je splněna.

Únosnost třmíneků:

$$V_{Rd} = A_{sw} f_{yd} \times \frac{z \cot \theta}{s} \quad (1.5.29a)$$

$$V_{Rd} = 100,5 \cdot 435 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{799,5 \cdot 1,5}{170} = 308,4 \text{ kN} \quad (1.5.29b)$$

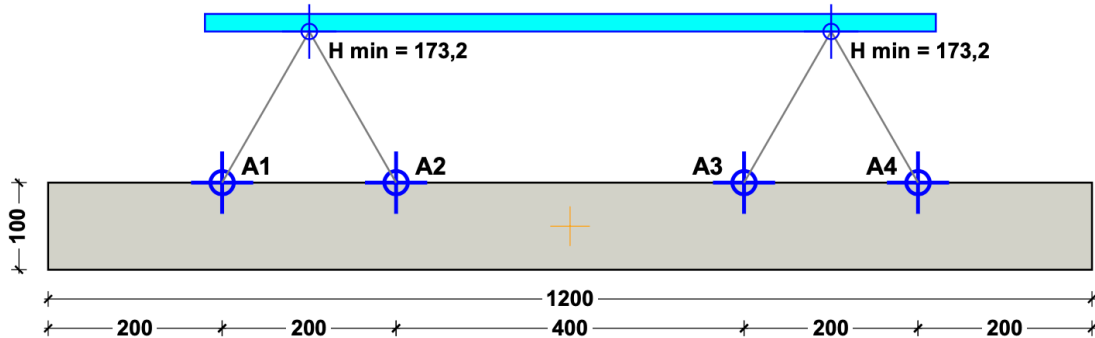
$$V_{Rd} = 308,4 \text{ kN} > 303,7 \text{ kN} = V_{Ed,1} \quad (1.5.29c)$$

→ Podmínka smykové únosnosti je splněna.

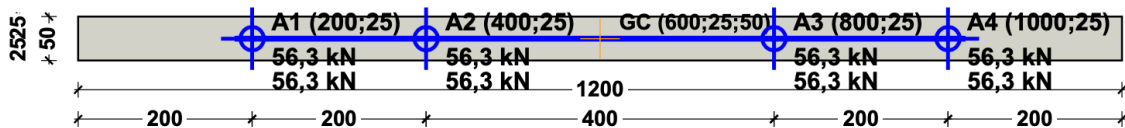
Navržené třmínky splňují podmínku smykové únosnosti i konstrukční zásady, tudíž návrh je bezpečný.

1.5.12 Návrh manipulačních úchytů průvlaku

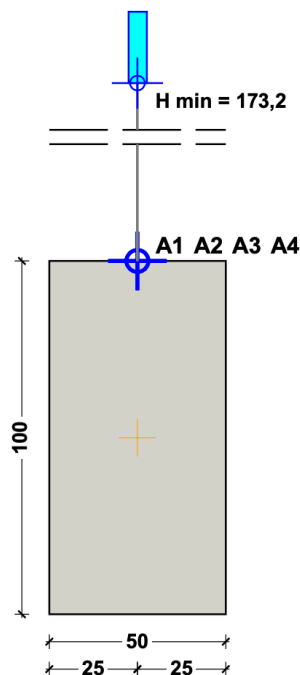
Pro přepravu průvlaku je nutné navrhnout manipulační úchyty. K návrhu je použit program HALFEN TPA [5], z jehož výstupu vyplývá, že k transportu prvku je potřeba 4× kotva DEHA s kulovou hlavou a okem 6000-7,5-0300 (podrobněji viz Příloha C.2), a jejich rozmístění je na obrázcích dole (kótováno v cm). Přepravní úchyty se zabetonují zároveň s vynechávkou. Po betonáži se vynechávka odstraní a lze zavěšovat břemena ve všech směrech. Spojka s univerzální hlavou se během několika vteřin zasune do kotvy prefabrikátu a je možné prefabrikát zvedat a přepravovat.



Obr. 1.18: Rozmístění kotev – pohled zepředu (převzato z programu HALFEN TPA [5])



Obr. 1.19: Rozmístění kotev – pohled shora (převzato z programu HALFEN TPA [5])



Obr. 1.20: Rozmístění kotev – pohled z boku (převzato z programu HALFEN TPA [5])

1.5.13 Pomocné výpočty k výkresu výztuže průvlaku

Rozšíření obálky

Při stanovení protažení výztuže je nutné vycházet z obálky momentů, křivky které je potřeba posunout ve vodorovném směru o délku a_l (viz výpočet 1.5.30, kde $z = 799,5$ mm a $\cot\theta = 1,5$).

$$a_l = 0,5 \cdot z \cdot \cot\theta = 0,5 \cdot 799,5 \cdot 1,5 = 599,6 \text{ mm} \quad (1.5.30)$$

Minimální kotevní délka

Každý prut od konce základní délky musí být zakotven minimální kotevní délkou $l_{b,min}$ (viz výpočet 1.5.33, kde $\varnothing_s = 20$ mm a $l_{b,req}$ se vypočte dle 1.5.32).

Pro výpočet základní kotevní délky je nutné znát návrhové napětí f_{bd} pro pruty s velkou soudržnosti, a to se určí ze vztahu 1.5.31, kde $f_{ctk0,05} = 2$ MPa a $\gamma_C = 1,5$.

$$f_{bd} = \frac{2,25 \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_C} = \frac{2,25 \cdot 2}{1,5} = 3 \text{ MPa} \quad (1.5.31)$$

$$l_{b,req} = \frac{\varnothing_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{20}{4} \cdot \frac{435}{3} = 725 \text{ mm} \quad (1.5.32)$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,req}; 10\varnothing_s; 100) = \max(0,3 \cdot 725; 10 \cdot 20; 100) \quad (1.5.33a)$$

$$l_{b,min} = \max(217,5 \text{ mm}; 200 \text{ mm}; 100 \text{ mm}) = 217,5 \text{ mm} \quad (1.5.33b)$$

Návrhová kotevní délka

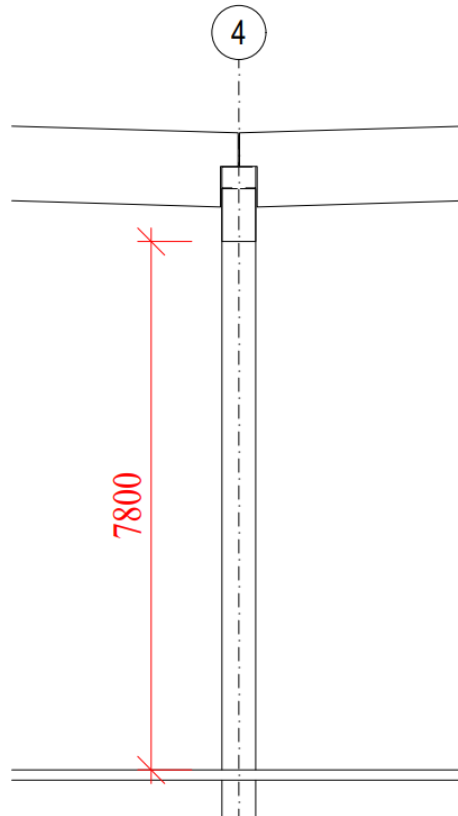
Každý prut od místa plného využití musí být zakotven návrhovou kotevní délkou $l_{b,d}$ pro stanovení které bezpečně zvolím $\alpha_i = 1$.

$$l_{b,d} = \max(\alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4\alpha_5l_{b,req}; l_{b,min}) \quad (1.5.34a)$$

$$l_{b,d} = \max(1 \cdot 725; 217,5) = 725 \text{ mm} \quad (1.5.34b)$$

1.6 Návrh a posouzení sloupu

Provedeme návrh rozměrů ŽB sloupu, na který je prostě uložen ŽB průvlak. Délka sloupu je $L_s = 7,8$ m – viz Obr. 1.21.



Obr. 1.21: Délka sloupu

1.6.1 Tloušťka krycí vrstvy výztuže

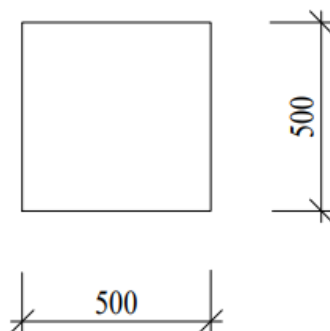
U sloupu uvazovány stejné vstupní parametry (třída betonu, předpokládaná výztuž, stupeň vlivu prostředí), jako u vazníku, tím pádem krytí je stejné, viz vztah 1.4.1 na straně 8.

Uvažované krytí:

$$c = 30 \text{ mm}$$

1.6.2 Odhad rozměrů

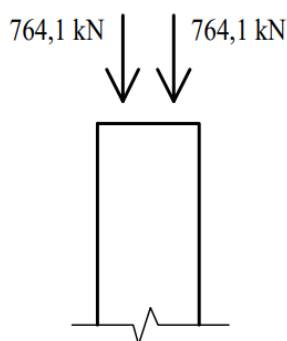
Rozměry odhadnu jako 500 mm × 500 mm – viz Obr. 1.22



Obr. 1.22: Průřez sloupu

1.6.3 Zatížení

Na Obr.1.23 jsou znázorněny síly, působící na sloup z průvlaků.



Obr. 1.23: Síla od průvlaků na sloup

Zatížení od vlastní tíhy a osových síl z průvlaků je znázorněno v Tab. 1.11.

Zatížení	g_k [kN]	γ_G	g_d [kN]
Vlastní tíha sloupu	25	1,35	65,8
	$\cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 7,8 =$		
	48,75		
Osová síla z průvlaků			$2 \cdot 764,1 = 1528,2$
Celkem			1594

Tab. 1.11: Zatížení sloupu

Zatížení v patě sloupu $N_{Ed} = 1594$ kN .

1.6.4 Ověření rozměrů

Provedu ověření průřezových rozměrů sloupu z podmínky únosnosti v dostředném tlaku [4], kde normálová únosnost průřezu N_{Rd} musí být větší, než působící síla N_{Ed} (viz vztah 1.6.1).

$$N_{Rd} \geq N_{Ed} \quad (1.6.1)$$

kde normálová únosnost průřezu N_{Rd} po odvození se určí dle vztahu 1.6.2.

$$N_{Rd} = 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd} + A_{si} \cdot \sigma_s \quad (1.6.2)$$

Budu uvažovat, že sloup má stupeň vyztužení ρ_s 2 %, tudíž průřezová plocha výztuže A_{si} se stanoví dle vztahu 1.6.3.

$$A_{si} = 0,02A_c \quad (1.6.3)$$

Úpravou rovnice dostanu podmínku pro průřezovou plochu a dopočítám je (viz 1.6.4).

$$A_c \geq \frac{N_{Ed}}{0,8 \cdot f_{cd} + \sigma_s \cdot A_{si}} \quad (1.6.4a)$$

$$A_c \geq \frac{1594 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 20 + 400 \cdot 0,02} \quad (1.6.4b)$$

$$A_c \geq 66416 \text{ mm}^2 \quad (1.6.4c)$$

Strana b čtvercového sloupu se stanoví dle 1.6.5.

$$b \geq \sqrt{A_c} \quad (1.6.5a)$$

$$b \geq \sqrt{66416} \quad (1.6.5b)$$

$$b \geq 258 \text{ mm} \quad (1.6.5c)$$

Z toho vyplývá, že navržené rozměry průřezu ($b = 500 \text{ mm}$) splňují minimální hodnotu ($b \geq 258 \text{ mm}$).

→ NÁVRH VYHOVUJE

1.6.5 Ověření štíhlosti sloupu

Je nutné ověřit, zda je sloup masivní, a bude tedy možné zanedbat účinky druhého řádu. Pokud limitní štíhlost λ_{lim} vyjde menší než hodnota štíhlosti sloupu λ , bude možné zanedbat účinky druhého řádu.

Doporučená hodnota λ_{lim} se stanoví pomocí vztahu, popsáno v ČSN EN 1992-1-1 [2, čl. 5.8.3.1], [3]

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} \geq \lambda = \frac{l_0}{i} \quad (1.6.6a)$$

kde:

A – vliv dotvarování betonu, bezpečně lze uvažovat $A = 0,7$

B – vliv stupně vyztužení podélnou výztuží, bezpečně lze uvažovat $B = 1,1$

C – vliv poměru koncových ohybových momentů, $C = 1,7 - r_m$, momenty jsou vyvozeny převážně imperfekcemi – $C = 0,7$ (nejpřísnější možnost)

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1594 \cdot 10^3}{500^2 \cdot 20} = 0,32 \quad (1.6.6b)$$

l_0 – vzpěrná délka sloupu, pro kloub--kloub $l_0 = 1 \cdot l = 1 \cdot 7,8 = 7,8$ m

i – poloměr setrvačnosti;

$$i = \sqrt{\frac{l}{A_c}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot b^4}{A_c}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot 500^4}{500 \cdot 500}} = 144,3 \text{ mm} \quad (1.6.6c)$$

Štíhlost sloupu λ

$$\lambda = \frac{7800}{144,3} = 54,1 \quad (1.6.6d)$$

Limitní štíhlost sloupu λ_{lim}

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,32}} = 19,1 \quad (1.6.6e)$$

Ověření:

$$\lambda_{lim} = 19,1 \leq 54,1 = \lambda$$

→ Sloup je štíhlý a proto je nutné zohlednit momenty 2. řádu – viz Kap.1.6.10

1.6.6 Geometrické imperfekce sloupu

Dle ČSN EN 1992-1-1 [2, čl. 4.4] je nutné uvažovat nepříznivé účinky možných odchylek v geometrii konstrukce a v poloze zatížení.

Stanovím všechny nutné parametry pro výpočet výstřednosti.

Základní hodnota vychýlení

$$\theta_0 = \frac{1}{200}$$

Redukční součinitel výšky podlaží

$$\text{Výška sloupu } H = 7,8 \text{ m} \quad (1.6.7a)$$

$$\alpha_h = \min \left(\max \left(\frac{2}{3}; \frac{2}{\sqrt{H}} \right); 1 \right) \quad (1.6.7b)$$

$$\alpha_h = \min \left(\max \left(\frac{2}{3}; \frac{2}{\sqrt{7,8}} \right); 1 \right) = 0,716 \quad (1.6.7c)$$

Redukční součinitel počtu prvků

$$\text{Počet sloupů } m = 11 \quad (1.6.8a)$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m} \right)} \quad (1.6.8b)$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{11} \right)} = 0,738 \quad (1.6.8c)$$

Úhel vychýlení od vvislice θ_i se rovná:

$$\theta_i = \theta_0 \alpha_h \alpha_m \quad (1.6.9a)$$

$$\theta_i = \frac{1}{200} \cdot 0,716 \cdot 0,738 = 2,64 \cdot 10^{-3} \quad (1.6.9b)$$

Vzpěrná délka sloupu

Dle výpočtu v 1.6.5, $l_o = 7800 \text{ mm}$

Výstřednost

Výstřednost e_i od geometrické imperfekce určím pomocí vztahu 1.6.10

$$e_i = \max \left(\theta_i \frac{l_o}{2}; \frac{l_o}{400} \right) \quad (1.6.10a)$$

$$e_i = \max \left(2,64 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{7800}{2}; \frac{7800}{400} \right) \quad (1.6.10b)$$

$$e_i = \max (10; 20) = 20 \text{ mm} \quad (1.6.10c)$$

Minimální výstřednost síly

$$\text{Výška průřezu } h = 500 \text{ mm (viz 1.6.2).} \quad (1.6.11a)$$

$$e_0 = \max \left(\frac{h}{30}; 20 \right) \quad (1.6.11b)$$

$$e_0 = \max \left(\frac{500}{30}; 20 \right) = \max (16,67; 20) = 20 \text{ mm} \quad (1.6.11c)$$

Ohybový moment prvního řádu

Výstřednost od geometrické imperfekce $e_i = 20$ mm rovná se minimální výstřednost $e_0 = 20$ mm, a proto ji použijí při výpočtu ohybového momentu prvního řádu.

$$M_{0Ed} = e_i N_{Ed} = 0,02 \cdot 1594 = 31,9 \text{ kNm} \quad (1.6.12)$$

1.6.7 Návrh podélné výztuže sloupu

Při návrhu vycházíme z předpokladu, že na průřez sloupu působí pouze dostředná normálová síla.

$$N_{Ed} \leq 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd} + A_{s,req} \cdot \sigma_s \quad (1.6.13a)$$

Úpravou rovnice dostanu podmínku pro výpočet minimální potřebné průřezové plochy výztuže sloupu.

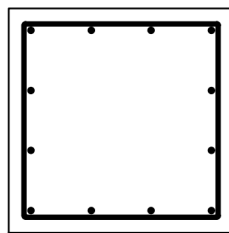
$$A_{s,req} \geq \frac{N_{Ed} - 0,8 \cdot A_c f_{cd}}{\sigma_s} \quad (1.6.13b)$$

$$A_{s,req} \geq \frac{1594 - 0,8 \cdot 500 \cdot 500 \cdot 20 \cdot 10^3}{400 \cdot 10^3} = -9999,99 \text{ mm}^2 \quad (1.6.13c)$$

Minimální průřezová plocha se rovná zápornému číslu, to znamená, že není nutná nosná výztuž, a proto navrhnu pouze konstrukční výztuž.

Navržená konstrukční výztuž:

NÁVRH: $12 \times \varnothing 12 \text{ mm}$ ($A_{s,prov} = 1357,2 \text{ mm}^2$)



Obr. 1.24: Navržená výztuž sloupu

Skutečná plocha výztuže sloupu

Dle 1.6.14 stanovím skutečnou plochu navržené výztuže sloupu.

$$A_{s,prov} = n \left(\frac{\pi \varnothing_s^2}{4} \right) \quad (1.6.14)$$

$$A_{s,prov} = 12 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 12^2}{4} \right) = 1357,2 \text{ mm}^2$$

1.6.8 Ověření konstrukčních zásad

Navržená výztuž musí splňovat podmínky pro minimální a maximální plochu výztuže.

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov} \leq A_{s,max} \quad (1.6.15a)$$

$$\max\left(0, 1 \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}; 0,002bh\right) \leq A_{s,prov} \leq 0,04bh \quad (1.6.15b)$$

$$\max\left(0, 1 \cdot \frac{1594}{435 \cdot 10^3}; 0,002 \cdot 500^2\right) \leq 1357,2 \text{ mm}^2 \leq 0,04 \cdot 500^2 \quad (1.6.15c)$$

$$500 \text{ mm}^2 < 1357,2 \text{ mm}^2 < 10000 \text{ mm}^2 \quad (1.6.15d)$$

→ Navržená konstrukční výztuž splňuje podmínky minimální a maximální plochy výztuže.

1.6.9 Návrh příčné výztuže sloupu

Proti vybočení podélné výztuže je nutné navrhnout příčné třmínky. Návrh provedeme pro střední oblast a pro oblast stykování podélné výztuže.

Průměr třmínek zvolím $\varnothing_t = 8 \text{ mm}$, tím pádem je to více než čtvrtina průměru podélné výztuže, platí následující vztah:

$$\varnothing_t \geq \frac{\varnothing_s}{4}. \quad (1.6.16)$$

Rozteč s_1 třmínek ve střední oblasti sloupu musí splňovat vztah 1.6.17.

$$s_1 \leq \min(15\varnothing_s; b; h; 300 \text{ mm}) \quad (1.6.17a)$$

$$s_1 \leq \min(15 \cdot 12; 300; 300; 300) \quad (1.6.17b)$$

$$s_1 \leq \min(180; 300; 300; 300) \quad (1.6.17c)$$

$$s_1 \leq 180 \text{ mm} \quad (1.6.17d)$$

Navržená příčná výztuž ve střední oblasti sloupu:

Třmínek dvoustřížný $\varnothing 8$ po 180 mm

Rozteč s_2 třmínek v oblasti stykování podélné výztuže sloupu musí splňovat vztah 1.6.18.

$$s_2 = 0,6s_1 \quad (1.6.18a)$$

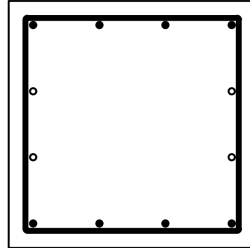
$$s_2 = 0,6 \cdot 180 = 100 \text{ mm} \quad (1.6.18b)$$

Navržená příčná výztuž v oblasti stykování podélné výztuže sloupu:

Třmínek dvoustřížný $\varnothing 8$ po 100 mm

1.6.10 Výpočet momentu druhého řádu

Z bezpečnostních důvodů střední pruty zanedbávám a počítám jen s krajními (viz Obr. 1.25). Uvažovaná dolní výztuž je tedy: $4 \times \varnothing 12 \text{ mm}$ ($A_{s1} = 452,4 \text{ mm}^2$). Uvažovaná horní výztuž je tedy: $4 \times \varnothing 12 \text{ mm}$ ($A_{s2} = 452,4 \text{ mm}^2$). Celková plocha výztuže je tedy: $A_{si} = 904,8 \text{ mm}^2$



Obr. 1.25: Průřez sloupu s navrženou výztuží (uvažovaná výztuž je označena plnými pruty)

Stanovení momentu druhého řádu

Pro výpočet momentu druhého řádu M_2 nejprve musíme stanovit všechny potřebné hodnoty.

Opravný součinitel K_r závisející na normálové síle:

$$\omega = \frac{A_{si} \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{904,8 \cdot 435}{500^2 \cdot 20} = 0,08; \quad (1.6.19)$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,08 = 1,08; \quad (1.6.20)$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1594 \cdot 10^3}{500^2 \cdot 20} = 0,32; \quad (1.6.21)$$

n_{bal} je hodnota n při maximální momentové únosnosti; dle ČSN EN 1992-1-1 [2, čl. 5.8] lze použít hodnotu 0,4.

$$K_r = \min \left(1; \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} \right) = \min \left(1; \frac{1,08 - 0,32}{1,08 - 0,4} \right) \quad (1.6.22a)$$

$$K_r = \min (1; 1,1) = 1 \quad (1.6.22b)$$

Účinek dotvarování K_φ :

K výpočtu je potřebná hodnota $\varphi_{(\infty, t_0)}$, která byla stanovena pomocí programu MSPrůhyb [12] a rovná se 2,49.

Moment prvního řádu od kvazistálé kombinace je neznámý, a proto budu uvažovat, že jejich poměr roven 0,6, štíhlost sloupu λ byla vypočtena v 1.6.6d.

$$\varphi_{ef} = \varphi_{(\infty, t_0)} \cdot 0,6 = 2,49 \cdot 0,6 = 1,49 \quad (1.6.23)$$

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{54,1}{150} = 0,14 \quad (1.6.24)$$

$$K_{\varphi} = \max(1; 1 + \beta \cdot \varphi_{ef}) = \max(1; 1 + 0,14 \cdot 1,49) \quad (1.6.25a)$$

$$K_{\varphi} = \max(1; 1,2) = 1,2 \quad (1.6.25b)$$

Křivost:

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{sy}}{0,45 \cdot d} = \frac{0,002175}{0,45 \cdot 0,46} = 0,01 \text{ m}^{-1} \quad (1.6.26)$$

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_{\varphi} \cdot \frac{1}{r_0} = 1 \cdot 1,2 \cdot 0,01 = 0,012 \text{ m}^{-1} \quad (1.6.27)$$

K výpočtu výstřednosti druhého řádu e_2 je nutné znát součinitel c , závislý na rozdělení křivosti a pokud je moment prvního řádu konstantní, dle ČSN EN 1992 – 1 – 1 [2, čl. 5.3] se má uvažovat nižší hodnota, která se rovná 8.

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c} = 0,012 \cdot \frac{7,8^2}{8} = 0,09 \text{ m} \quad (1.6.28)$$

Moment druhého řádu M_2 :

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 1594 \cdot 0,09 = 143,5 \text{ kNm} \quad (1.6.29)$$

Celková výstřednost síly

$$e_{tot} = \max(e_i + e_2; e_0) = \max(20 + 90; 20) = 110 \text{ mm} \quad (1.6.30)$$

Celkový ohybový moment M_{Ed} působící na sloup:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 63,8 + 143,5 = 207,3 \text{ kNm} \quad (1.6.31)$$

1.6.11 Posouzení průřezu sloupu pomocí bodového interakčního diagramu

Průřez sloupu je nutné posoudit pomocí bodového interakčního diagramu. Nejprve nutné najít body 0 až 5, a pomocí nich sestavit křivku interakčního diagramu. Následně do grafu nutné vynést bod znázorňující vnitřní síly, a tím posoudit navržený sloup.

Předpoklady výpočtu

Při výpočtu napětí v betonu je uvažováno rovnoměrné rozdělení napětí v tlačeném betonu a nulové napětí v taženém betonu.

Při výpočtu napětí ve výztuži je uvažován pracovní diagram betonářské oceli s vodorovnou větví bez omezení poměrného přetvoření.

Součinitel pro obdélníkové rozdělení napětí:

$$\text{pro } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} :$$

$$\lambda = 0,8$$

Dle 1.25 počítám jen s krajními pruty. Uvažovaná dolní výztuž je tedy: $4 \times \varnothing 12 \text{ mm}$ ($A_{s1} = 452,4 \text{ mm}^2$). Uvažovaná horní výztuž je tedy: $4 \times \varnothing 12 \text{ mm}$ ($A_{s2} = 452,4 \text{ mm}^2$).

Vzdálenost výztuže d_i do bližších vláken se rovná:

$$d_1 = d_2 = c + \varnothing_t + \frac{\varnothing_s}{2} \quad (1.6.32a)$$

$$d_1 = d_2 = 30 + 8 + \frac{12}{2} = 44 \text{ mm} \quad (1.6.32b)$$

Vzdálenosti výztuží od těžiště:

$$z_1 = \frac{h}{2} - d_1 \quad (1.6.33a)$$

$$z_1 = \frac{500}{2} - 44 = 206 \text{ mm} \quad (1.6.33b)$$

$$z_2 = d_2 - \frac{h}{2} \quad (1.6.33c)$$

$$z_2 = 44 - \frac{500}{2} = -206 \text{ mm} \quad (1.6.33d)$$

Bod 0 – Dostředný tlak

Při dostředném tlaku uvažujeme rovnoměrné poměrné přetvoření průřezu:

$$\varepsilon_{c3} = \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{si} = -0,002. \quad (1.6.34)$$

Napětí v betonu při rovnoměrném poměrném přetvoření průřezu $\varepsilon_{c3} = -0,002$ je

$$\sigma_c = -f_{cd}. \quad (1.6.35)$$

Napětí ve výztuži při rovnoměrném poměrném přetvoření průřezu $\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{s2} = -0,002$ je

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = -\min(|-\varepsilon_{si}|E_s; f_{yd}) = -0,002 \cdot 200000 = -400 \text{ MPa}. \quad (1.6.36)$$

Normálová únosnost:

$$N_{Rd0} = bh\sigma_c + A_{s1}\sigma_{s1} + A_{s2}\sigma_{s2} \quad (1.6.37a)$$

$$N_{Rd0} = 0,5 \cdot 0,5 \cdot (-200000) + 904,78 \cdot 10^{-6} \cdot (-400000) \quad (1.6.37b)$$

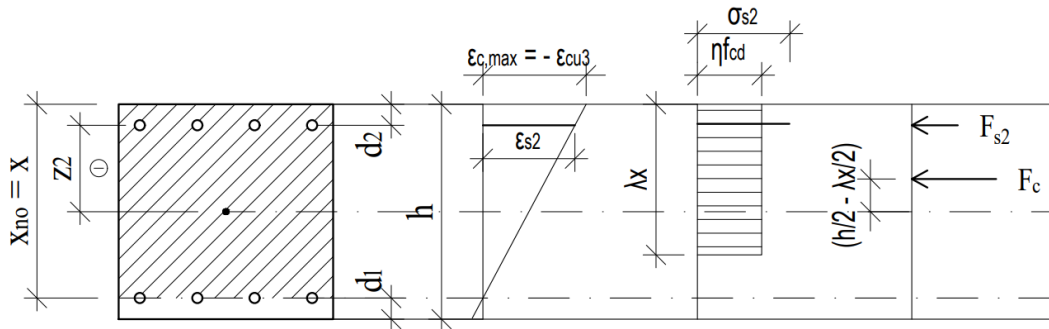
$$N_{Rd0} = -5361,9 \text{ kN} \quad (1.6.37c)$$

Momentová únosnost:

Vzhledem k tomu, že průřez je symetrický, momentová únosnost v dostředném tlaku je nulová.

$$M_{Rd0} = 0 \quad (1.6.38)$$

Bod 1 - Převážně tlačенý průřez, neutrální osa prochází těžištěm dolní výztuže



Obr. 1.26: Namáhání průřezu v bodě 1

Na mezi únosnosti průřezu dojde k porušení průřezu drcením tlačného betonu. Maximální přetvoření betonu v krajních vláknech je rovno:

$$\varepsilon_{cu3} = -0,0035. \quad (1.6.39)$$

Výška tlačené oblasti je rovna vzdálenosti dolní výztuže od horních tlačných vláken, viz vztah 1.6.40.

$$x = h - d_1 \quad (1.6.40a)$$

$$x = 500 - 44 = 456 \text{ mm} \quad (1.6.40b)$$

Přetvoření dolní výztuže na mezi únosnosti průřezu je rovno 0.

$$\varepsilon_{s1} = 0 \quad (1.6.41a)$$

Přetvoření horní výztuže na mezi únosnosti průřezu viz 1.6.41b

$$\varepsilon_{s2} = \frac{(h - d_1) - d_2}{(h - d_1)} (-\varepsilon_{cu3}) \quad (1.6.41b)$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{(500 - 44) - 44}{(500 - 44)} \cdot (-0,0035) = -0,00316 \quad (1.6.41c)$$

Napětí v dolní výztuži na mezi únosnosti průřezu se rovno 0.

$$\sigma_{s1} = 0 \quad (1.6.42)$$

Napětí v horní výztuži na mezi únosnosti:

$$\sigma_{s2} = -\min(|-\varepsilon_{s2}|E_s; f_{yd}) \quad (1.6.43a)$$

$$\sigma_{s2} = -\min(0,00316 \cdot 200000; 435) \quad (1.6.43b)$$

$$\sigma_{s2} = -\min(632; 435) = -435 \text{ MPa} \quad (1.6.43c)$$

Normálová únosnost průřezu:

$$N_{Rd1} = b(\lambda x)\sigma_c + A_{s2}\sigma_{s2} \quad (1.6.44a)$$

$$N_{Rd1} = 0,5 \cdot (0,8 \cdot 0,456) \cdot (-20000) + 452,4 \cdot 10^{-6} \cdot (-435000) \quad (1.6.44b)$$

$$N_{Rd1} = -3844,8 \text{ kN} \quad (1.6.44c)$$

Momentová únosnost průřezu:

$$M_{Rd1} = b(\lambda x)\sigma_c \left(\frac{\lambda x}{2} - \frac{h}{2} \right) + A_{s2}\sigma_{s2}z_2 \quad (1.6.45a)$$

$$M_{Rd1} = 0,5 \cdot (0,8 \cdot 0,456) \cdot (-20000) \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 0,456}{2} - \frac{0,5}{2} \right) + 452,4 \cdot 10^{-6} \cdot (-435000) \cdot (-0,206) \quad (1.6.45b)$$

$$M_{Rd1} = 287,14 \text{ kNm} \quad (1.6.45c)$$

Bod 2 - Částečně tlačенý průřez, tažená výztuž na mezi kluzu

Přetvoření dolní tažené výztuže na mezi kluzu se počítá dle vztahu 1.6.46.

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,00217 \quad (1.6.46)$$

Z podobnosti trojúhelníků lze získat vztah pro výpočet výšky tlačené oblasti viz 1.6.47

$$x = x_{bal,1} = (h - d_1) \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{sy}} \quad (1.6.47a)$$

$$x = x_{bal,1} = (500 - 44) \cdot \frac{0,0035}{(0,0035 + 0,00217)} = 281,5 \text{ mm} \quad (1.6.47b)$$

Přetvoření horní tlačené výztuže se počítá dle vztahu 1.6.48.

$$\varepsilon_{s2} = \frac{x_{bal,1} - d_2}{x_{bal,1}} (-\varepsilon_{cu3}) \quad (1.6.48a)$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{281,5 - 44}{281,5} \cdot (-0,0035) = -0,00295 \quad (1.6.48b)$$

Napětí v dolní výztuži na mezi kluzu:

$$\sigma_{s1} = f_{yd} = 435 \text{ MPa} \quad (1.6.49)$$

Napětí v horní výztuži:

$$\sigma_{s2} = -\min(|\varepsilon_{s2}|E_s; f_{yd}) \quad (1.6.50a)$$

$$\sigma_{s2} = -\min(0,00295 \cdot 200000; 435) \quad (1.6.50b)$$

$$\sigma_{s2} = -\min(590; 435) = -435 \text{ MPa} \quad (1.6.50c)$$

Normálová únosnost průřezu:

$$N_{Rd2} = b(\lambda x_{bal,1})\sigma_c + A_{s1}\sigma_{s1} + A_{s2}\sigma_{s2} \quad (1.6.51a)$$

$$N_{Rd2} = 0,5 \cdot (0,8 \cdot 0,2815) \cdot (-20000) \quad (1.6.51b)$$

$$+ 452,4 \cdot 10^{-6} \cdot (435000)$$

$$+ 452,4 \cdot 10^{-6} \cdot (-435000)$$

$$N_{Rd2} = -2251,8 \text{ kN} \quad (1.6.51c)$$

Momentová únosnost průřezu:

$$M_{Rd2} = b(\lambda x_{bal,1})\sigma_c \left(\frac{\lambda x_{bal,1}}{2} - \frac{h}{2} \right) + A_{s1}\sigma_{s1}z_1 + A_{s2}\sigma_{s2}z_2 \quad (1.6.52a)$$

$$M_{Rd2} = 0,5 \cdot (0,8 \cdot 0,2815) \cdot (-20000) \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 0,2815}{2} - \frac{0,5}{2} \right) \quad (1.6.52b)$$

$$+ 452,4 \cdot 10^{-6} \cdot (435000) \cdot 0,206$$

$$+ 452,4 \cdot 10^{-6} \cdot (-435000) \cdot (-0,206)$$

$$M_{Rd2} = 390,5 \text{ kNm} \quad (1.6.52c)$$

Bod 3 - Prostě ohybaný průřez

V případě namáhání prostým ohybem je normálová síla v průřezu rovna nule a platí vztah:

$$\sum F_i = F_c + F_{s1} + F_{s2} = 0 \quad (1.6.53a)$$

$$\text{kde: } F_c = b(\lambda x)\sigma_c \quad (1.6.53b)$$

$$F_{s1} = A_{s1}\sigma_{s1} \quad (1.6.53c)$$

$$F_{s2} = A_{s2}\sigma_{s2} \quad (1.6.53d)$$

Dolní výztuž uvažujeme za mezí kluzu, takže pro poměrné přetvoření dolní výztuže platí:

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{sy} = 0,002175. \quad (1.6.54)$$

Pro poměrné přetvoření horní výztuže platí:

$$\varepsilon_{s2} = \frac{x - d_2}{x}(-\varepsilon_{cu3}). \quad (1.6.55)$$

Dolní výztuž uvažujeme za mezí kluzu, takže pro napětí v dolní výztuži platí:

$$\sigma_{s1} = f_{yd} = 435 \text{ MPa}. \quad (1.6.56)$$

Pro napětí v horní výztuži platí:

$$\sigma_{s2} = \text{sgn}(\varepsilon_{s2}) \min(|-\varepsilon_{s2}|E_s; f_{yd}). \quad (1.6.57)$$

Z rovnic 1.6.53 až 1.6.57 lze sestavit kvadratickou rovnici pro výpočet výšky tlačené oblasti:

$$0,8 \cdot b \cdot f_{cd} \cdot x^2 - (A_{s2} \cdot f_{yd} - A_{s1} \cdot E_s \cdot 0,0035) \cdot x - (A_{s1} \cdot E_s \cdot 0,0035 \cdot d_1) = 0 \quad (1.6.58a)$$

$$0,8 \cdot 0,5 \cdot 20000 \cdot x^2 - (452,4 \cdot 10^{-6} \cdot 435000 - 452,4 \cdot 10^{-6} \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 0,0035) \cdot x - (452,4 \cdot 10^{-6} \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 0,0035 \cdot 0,044) = 0 \quad (1.6.58b)$$

Výška tlačené oblasti dle rovnice 1.6.58 je:

$$x = 34,9 \text{ mm.} \quad (1.6.59)$$

Poměrné přetvoření horní výztuži se vypočte dle vztahu 1.6.11:

$$\varepsilon_{s2} = \frac{34,9 - 44}{34,9} \cdot (-0,0035) = 0,0009. \quad (1.6.60)$$

Napětí v horní výztuži se vypočte dle vztahu 1.6.57:

$$\sigma_{s2} = \min(|0,0009| \cdot 200000; 435) \quad (1.6.61)$$

$$\sigma_{s2} = \min(180; 435)$$

$$\sigma_{s2} = 180 \text{ MPa.} \quad (1.6.62)$$

Normálová únosnost průřezu:

$$N_{Rd3} = 0. \quad (1.6.63)$$

Momentová únosnost průřezu:

$$M_{Rd3} = b(\lambda x)\sigma_c \left(\frac{\lambda x}{2} - \frac{h}{2} \right) + A_{s1}\sigma_{s1}z_1 + A_{s2}\sigma_{s2}z_2 \quad (1.6.64a)$$

$$M_{Rd3} = 0,5 \cdot (0,8 \cdot 0,0349) \cdot (-20000) \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 0,0349}{2} - \frac{0,5}{2} \right) + 452,4 \cdot 10^{-6} \cdot 435000 \cdot 0,206 + 452,4 \cdot 10^{-6} \cdot 180000 \cdot (-0,206) \quad (1.6.64b)$$

$$M_{Rd3} = 89,66 \text{ kNm.} \quad (1.6.64c)$$

Bod 4 - Převážně tažený průřez, neutrální osa prochází těžištěm výztuže

Neutrální osa prochází těžištěm horní výztuže, tedy výška tlačené oblasti se rovná:

$$x = d_2 = 44 \text{ mm.} \quad (1.6.65)$$

Poměrné přetvoření dolní výztuže:

$$\varepsilon_{s1} = \frac{d_1 + x - h}{x} (-\varepsilon_{cu3}) = \frac{d_1 + d_2 - h}{d_2} (-\varepsilon_{cu3}) \quad (1.6.66a)$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{44 + 44 - 500}{44} \cdot (-0,0035) = 0,0327. \quad (1.6.66b)$$

Poměrné přetvoření horní výztuže:

$$\varepsilon_{s2} = 0. \quad (1.6.67)$$

Napětí v dolní výztuži:

$$\sigma_{s1} = \min (|\varepsilon_{s1}| E_s; f_{yd}) \quad (1.6.68a)$$

$$\sigma_{s1} = \min (|0,0327| \cdot 200000; 435) \quad (1.6.68b)$$

$$\sigma_{s1} = \min (6540; 435) \quad (1.6.68c)$$

$$\sigma_{s1} = 435 \text{ MPa}. \quad (1.6.68d)$$

Napětí v horní výztuži:

$$\sigma_{s2} = 0. \quad (1.6.69)$$

Normálová únosnost průřezu:

$$N_{Rd4} = b(\lambda x)\sigma_c + A_{s1}\sigma_{s1} \quad (1.6.70a)$$

$$N_{Rd4} = 0,5 \cdot (0,8 \cdot 0,044) \cdot (-20000) + 452,4 \cdot 10^{-6} \cdot 435000 \quad (1.6.70b)$$

$$N_{Rd4} = -155,2 \text{ kN}. \quad (1.6.70c)$$

Momentová únosnost průřezu:

$$M_{Rd4} = b(\lambda x)\sigma_c \left(\frac{\lambda x}{2} - \frac{h}{2} \right) + A_{s1}\sigma_{s1}z_1 \quad (1.6.71a)$$

$$M_{Rd4} = 0,5 \cdot (0,8 \cdot 0,044) \cdot (-20000) \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 0,044}{2} - \frac{0,5}{2} \right) + 452,4 \cdot 10^{-6} \cdot 435000 \cdot 0,206 \quad (1.6.71b)$$

$$M_{Rd4} = 122,34 \text{ kNm}. \quad (1.6.71c)$$

Bod 5 – Rovnoměrně rozdělené protažení po celé výšce průřezu

Přetvoření výztuže:

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{ud} = 0,05. \quad (1.6.72)$$

Napětí ve výztuži:

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd} = 435 \text{ MPa.} \quad (1.6.73)$$

Normálová únosnost průřezu:

$$N_{Rd5} = A_{s1}\sigma_{s1} + A_{s2}\sigma_{s2} \quad (1.6.74a)$$

$$N_{Rd5} = 452,4 \cdot 10^{-6} \cdot 435000 + 452,4 \cdot 10^{-6} \cdot 435000 \quad (1.6.74b)$$

$$N_{Rd5} = 393,6 \text{ kN.} \quad (1.6.74c)$$

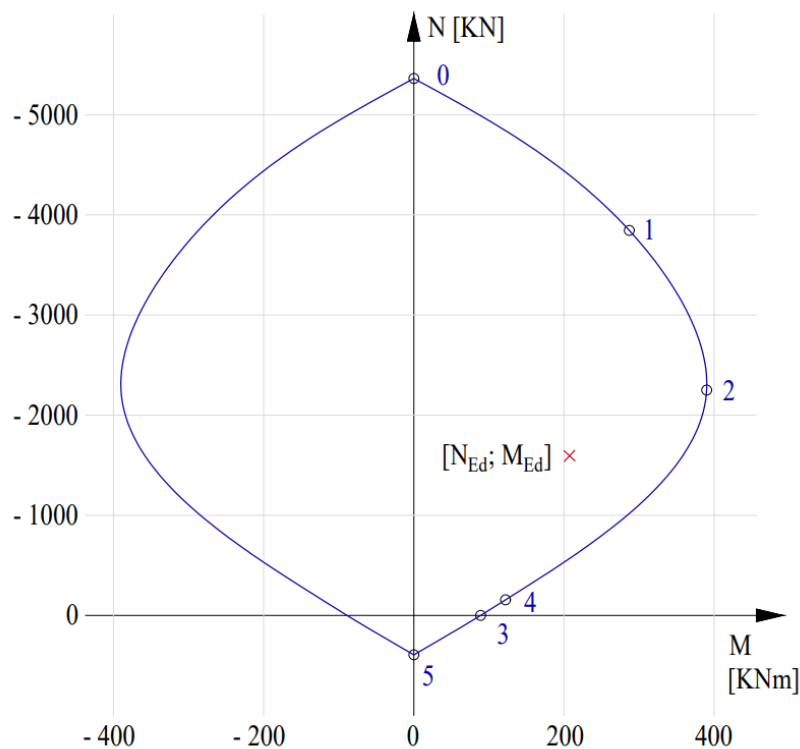
Momentová únosnost průřezu:

$$M_{Rd5} = A_{s1}\sigma_{s1}z_1 + A_{s2}\sigma_{s2}z_2 \quad (1.6.75a)$$

$$M_{Rd5} = 452,4 \cdot 10^{-6} \cdot 435000 \cdot 0,206 + 452,4 \cdot 10^{-6} \cdot 435000 \cdot (-0,206) \quad (1.6.75b)$$

$$M_{Rd5} = 0. \quad (1.6.75c)$$

1.6.11.1 Vykreslení interakčního diagramu a jeho posouzení



Obr. 1.27: Bod znázorňující působící vnitřní síly

Na grafu vyznačen bod znázorňující vnitřní síly, hodnoty, kterého se rovnají: $N_{Ed} = 1594$ kN (stanoveno v Tab. 1.11) a $M_{Ed} = 207,3$ kNm (stanoveno v 1.6.31). Z grafu je patrné, že návrh vyhovuje. Při návrhu byly uvažovány geometrické imperfekce a účinky momentu druhého řádu. Rozměry sloupu (500 mm x 500 mm) korespondují s šířkou průvlaku (500 mm).

Porovnání s programem

Jako kontrola správnosti výpočtu bodů interakčního diagramu použit program InDiOn [6]. Na Obr. 1.28 lze vidět hodnoty, zadané do programu. Při porovnání grafu z ručního výpočtu viz Obr. 1.27 a výstupu z programu viz Obr. 1.29 lze říci, že ruční výpočet interakčního diagramu byl proveden správně.

Charakteristiky průřezu

b = mm

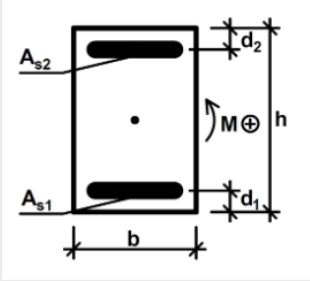
h = mm

d₁ = mm

d₂ = mm

A_{s1} = mm²

A_{s2} = mm²



Materiály

f_{ck} = MPa

f_{yk} = MPa

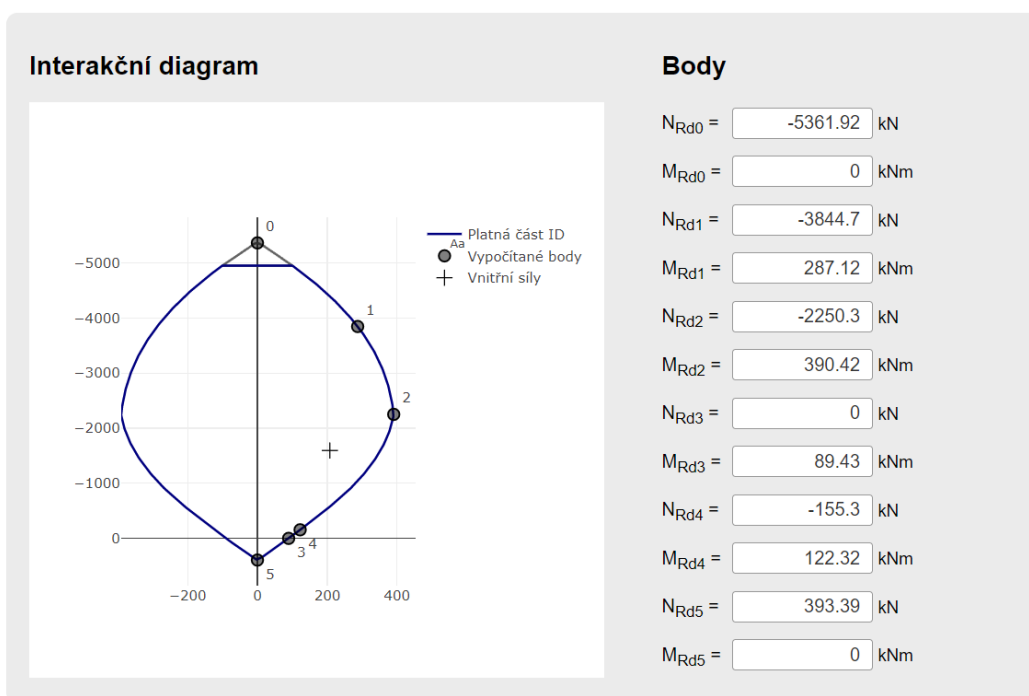
E_s = GPa

Působící vnitřní síly

N_{Ed} = kN

M_{Ed} = kNm

Obr. 1.28: Vstupní hodnoty (převzato z programu InDiOn [6])



Obr. 1.29: Výstup z programu (převzato z programu InDiOn [6])

1.6.12 Posouzení pomocí grafu „Moment – křivost“ pro navržený průřez

Posouzení sloupu bylo provedeno i pomocí programu RCC [7]. Pro posouzení byly zadány všechny potřebné hodnoty viz Obr. 1.30, stanovené v předchozích částech.

Dimensions			
b	[mm]	500	?
h	[mm]	500	?
l_0	[mm]	7800	?
a	[mm]	44	?
A_s	[mm ²]	904.8	?

Scheme of Cross-Section			

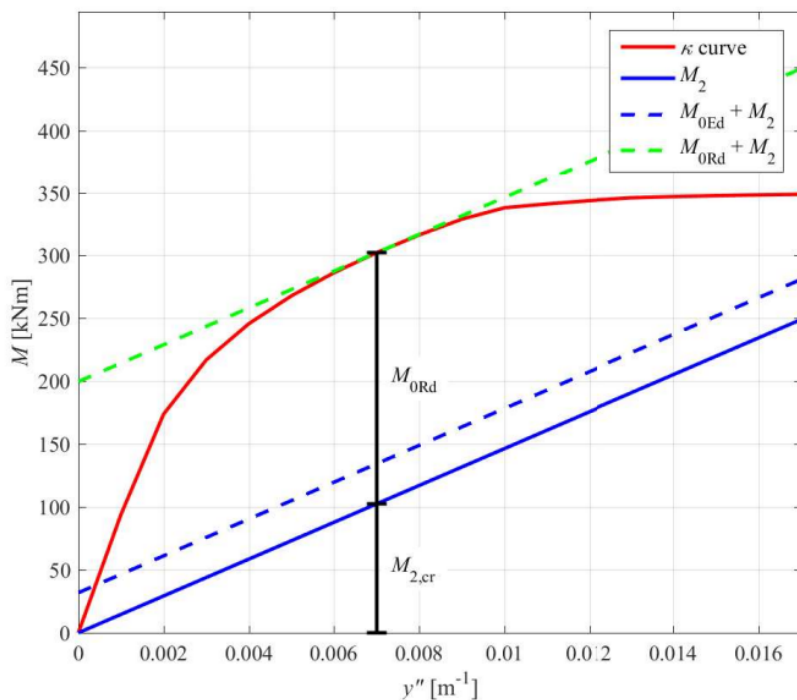
Load			
N_{Ed}	[kN]	1594	?
e_0	[mm]	20	?
c	[-]	8	?
k	[-]	0.6	?

Materials			
Concrete	C30/37	?	?
$\varphi_{(\infty, t_0)}$	2.49	?	?
f_{yk}	[MPa]	500	?

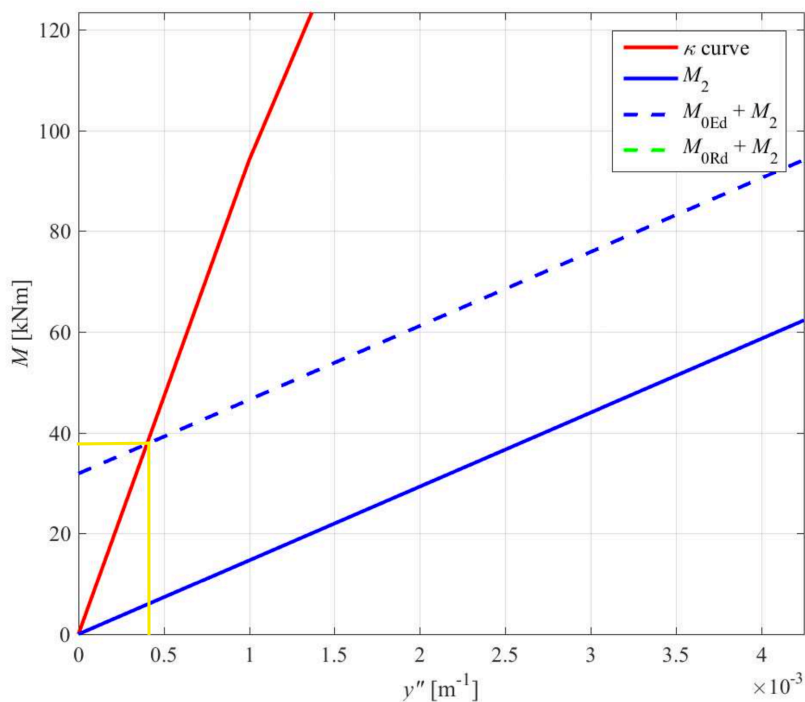
CALCULATION

Obr. 1.30: Zadané hodnoty (převzato z programu RCC [7])

Součástí výstupu z programu je graf viz Obr. 1.31, na kterém jsou znázorněny hodnoty momentu při určité křivosti. Při přiblížení průřezu čáry křivosti a čáry znázorňující celkový působící moment na sloupu (viz Obr. 1.32) je patrné, že při křivosti 0,0004 hodnota celkového momentu M_{Ed} , působícího na sloupu se rovná 38 kNm, což je méně, než hodnota spočítaná v ručním výpočtu viz. vztah 1.6.31, kde $M_{Ed} = 207,3$ kNm. Odlišnost výpočtu pomocí programu a ručního výpočtu je způsobena tím, že moment stanovený pomocí programu je pro skutečnou křivost ($\frac{1}{r} = 0,0004$), zatímco moment druhého řádu stanovený pomocí ručního výpočtu je stanovený pro křivost při maximální únosnosti (tj. $\frac{1}{r} = 0,012$). Únosnost sloupu vyhovuje působícímu zatížení.



Obr. 1.31: Grafické znázornění výsledku (převzato z programu RCC [7])



Obr. 1.32: Přiblížení grafického znázornění výsledku (převzato z programu RCC [7])

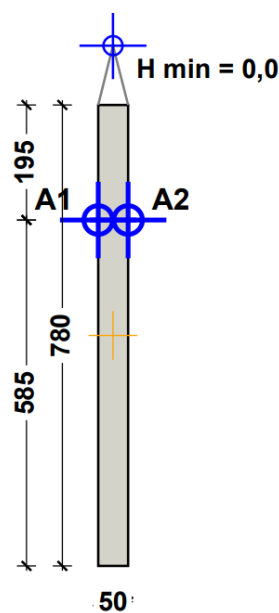
Na Obr. 1.33 jsou ukázány hodnoty výstupu při maximální únosnosti, a z toho je vidět, že navržený sloup jednoznačně vyhovuje.

Results $M_{0Rd} = 199.7 \text{ kNm}$ (see M - y'' diagram) $M_{0Ed} = N_{Ed} \cdot e_0 = 1594 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 31.9 \text{ kNm}$ $M_{0Rd} = 199.7 \text{ kNm} > M_{0Ed} = 31.9 \text{ kNm} \Rightarrow \text{OK}$
--

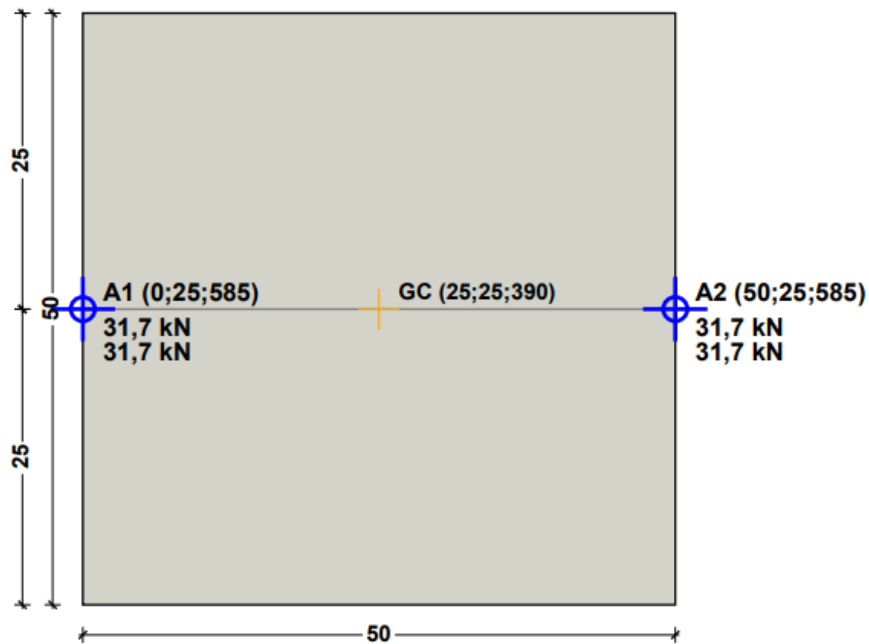
Obr. 1.33: Výsledek výpočtu (převzato z programu RCC [7])

1.6.13 Návrh manipulačních úchytů sloupu

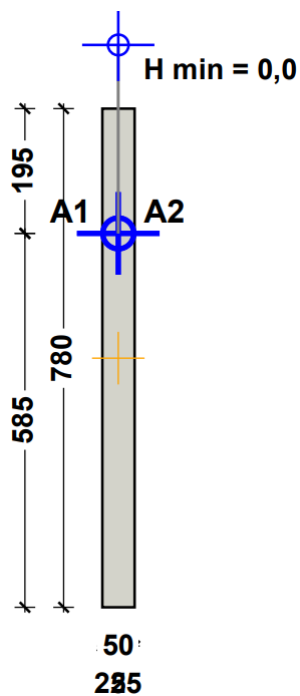
Pro přepravu sloupu je nutné navrhnout manipulační úchyty. K návrhu je použit program HALFEN TPA [5], z jehož výstupu vyplývá, že k transportu prvku je potřeba 2× kotva DEHA s kulovou hlavou a okem 6000-4,0-0075 (podrobněji viz Příloha C.2), a jejich rozmístění je na obrázcích dole (kótováno v cm). Přepravní úchyty se zabetonují zároveň s vynechávkou. Po betonáži se vynechávka odstraní a lze zavěšovat břemena ve všech směrech. Spojka s univerzální hlavou se během několika vteřin zasune do kotvy prefabrikátu a je možné prefabrikát zvedat a přepravovat.



Obr. 1.34: Rozmístění kotev – pohled zepředu (převzato z programu HALFEN TPA [5])



Obr. 1.35: Rozmístění kotev – pohled shora (převzato z programu HALFEN TPA [5])



Obr. 1.36: Rozmístění kotev – pohled z boku (převzato z programu HALFEN TPA [5])

1.6.14 Pomocné výpočty k výkresu výztuže sloupu

Minimální kotevní délka

Každý prut od konce základní délky musí být zakotven minimální kotevní délkou $l_{b,min}$ (viz výpočet 1.6.78, kde $\varphi_s = 12$ mm a $l_{b,req}$ se vypočte dle 1.6.77).

Pro výpočet základní kotevní délky je nutné znát návrhové napětí f_{bd} pro pruty s velkou soudržností, a to se určí ze vztahu 1.6.76, kde $f_{ctk0,05} = 2$ MPa a $\gamma_C = 1,5$.

$$f_{bd} = \frac{2,25 \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_C} = \frac{2,25 \cdot 2}{1,5} = 3 \text{ MPa} \quad (1.6.76)$$

$$l_{b,req} = \frac{\varnothing_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{12}{4} \cdot \frac{435}{3} = 435 \text{ mm} \quad (1.6.77)$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,req}; 10\varnothing_s; 100) = \max(0,3 \cdot 435; 10 \cdot 12; 100) \quad (1.6.78a)$$

$$l_{b,min} = \max(130,5 \text{ mm}; 120 \text{ mm}; 100 \text{ mm}) = 130,5 \text{ mm} \quad (1.6.78b)$$

Návrhová kotevní délka

Každý prut od místa plného využití musí být zakotven návrhovou kotevní délkou $l_{b,d}$ pro stanovení které bezpečně zvolím $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1$, $\alpha_6 = 1,5$.

$$l_{b,d} = \max(\alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4\alpha_5\alpha_6l_{b,req}; l_{b,min}) \quad (1.6.79a)$$

$$l_{b,d} = \max(1,5 \cdot 435; 130,5) = 652,5 \text{ mm} \quad (1.6.79b)$$

1.7 Návrh uložení vazníku

V této části kapitoly proveden návrh uložení vazníku na průvlak. Uložení zajištěno pomocí ozubu. Návrh ozubu je udělán dle článků [8] a [9].

1.7.1 Návrh uložení ozubu

Při výrobě a montáži může dojít k hodnotám odlišným od hodnot uvažovaných při návrhu. Pro vyloučení těchto nepřesností je nutné lokalizovat místo uložení, kde se koncentruje zatížení do styčné plochy. Délku uložení a lze stanovit dle postupu popsánému v článku [8] výpočet viz dále.

Pro výpočet délky uložení je nutné stanovit:

- Základní (čistou) délku ložiska a_1 , která dle tabulky uvedené v článku [8] nesmí být menší než 110 mm. Návrhová hodnota reakce F_{Ed} v uložení podle Obr. 1.5 se rovná 220,9 kN. Šířka ložiska $b_v = 400$ mm. f_{Rd} je návrhová hodnota pevnosti v uložení, která pro daný typ uložení se rovná 85% návrhové pevnosti betonu v tlaku f_{cd} a rovná se 17 MPa.

$$a_1 = \frac{F_{Ed}}{(b_v \cdot f_{Rd})} = \frac{220,9 \cdot 10^3}{400 \cdot 17} = 32,5 \text{ mm} < 110 \text{ mm} \rightarrow a_1 = 110 \text{ mm}, \quad (1.7.1)$$

- Vzdálenost d_2 ložiska ke kraji průvlastku pro redukci odštěpení prvku, kde betonové krytí $c = 30$ mm, a vnitřní poloměr r zakřivení výztuže ve vazníku dle ČSN EN 1992-1-1 [2, čl. 8.3] se počítá jako $\frac{4\varnothing_s}{2}$.

$$d_2 \geq c + r = 30 + \frac{4 \cdot 12}{2} = 54 \text{ mm} \rightarrow 55 \text{ mm} \quad (1.7.2)$$

- Vzdálenost d_3 ložiska ke kraji vazníku pro redukci odštěpení prvku, kde betonové krytí $c = 30$ mm, a vnitřní poloměr r zakřivení výztuže v průvlaku dle ČSN EN 1992-1-1 [2, čl. 8.3] se počítá jako $\frac{4\phi_s}{2}$.

$$d_3 \geq c + r = 30 + \frac{4 \cdot 12}{2} = 54 \text{ mm} \rightarrow 55 \text{ mm} \quad (1.7.3)$$

- Celkovou mezní odchytku uložení Δd , pro stanovení které je nutné znát mezní odchytku pro světlé vzdálenosti mezi průvlakami Δa_2 a mezní odchytku délky vazníku Δa_3 , kde $L_v = 15,75$ m je délka vazníku.

$$\Delta a_2 = \frac{L_v}{1200} = \frac{15750}{1200} = 13,1 \text{ mm} \quad (1.7.4)$$

$$\Delta a_3 = \frac{L_v}{2500} = \frac{15750}{2500} = 6,3 \text{ mm} \quad (1.7.5)$$

$$\Delta d = \sqrt{\Delta a_2^2 + \Delta a_3^2} = \sqrt{13,1^2 + 6,3^2} = 14,5 \text{ mm} \rightarrow 15 \text{ mm}. \quad (1.7.6)$$

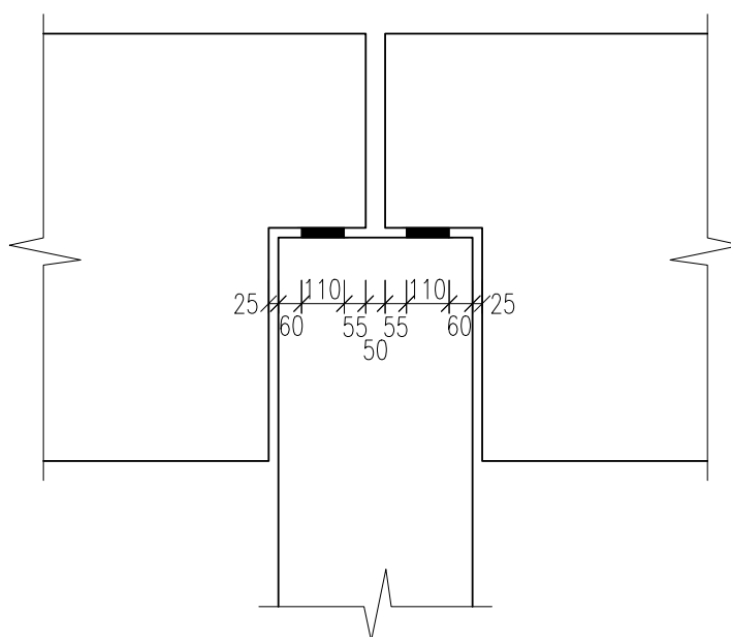
Délka uložení a:

$$a = a_1 + d_2 + d_3 + \Delta d = 110 + 55 + 55 + 15 = 235 \text{ mm} \quad (1.7.7)$$

Při výrobě prvků může dojít k nepřesnostem a proto je nutné stanovit výrobní délkovou tolerance tyčových prvků ΔL , která se nesmí být větší než 40 mm.

$$\Delta L = \pm \left(10 + \frac{L_v}{1000} \right) = \pm \left(10 + \frac{15750}{1000} \right) = \pm 25 \text{ mm} \quad (1.7.8)$$

Dle předchozích výpočtů uložení vazníků na průvlak musí vypadat tak, jak je zobrazeno na Obr. 1.37.



Obr. 1.37: Uložení ozubů vazníků na průvlak

1.7.2 Návrh výztuže ozubu

Pro optimální návrh výztuže ozubu dle článku [9] jsou použity dva základní modely náhradních příhradovin viz Obr. 1.38 a 1.39, kde každý model je navržen na 60% celkového zatížení.

Svislá reakce A^* ozubu:

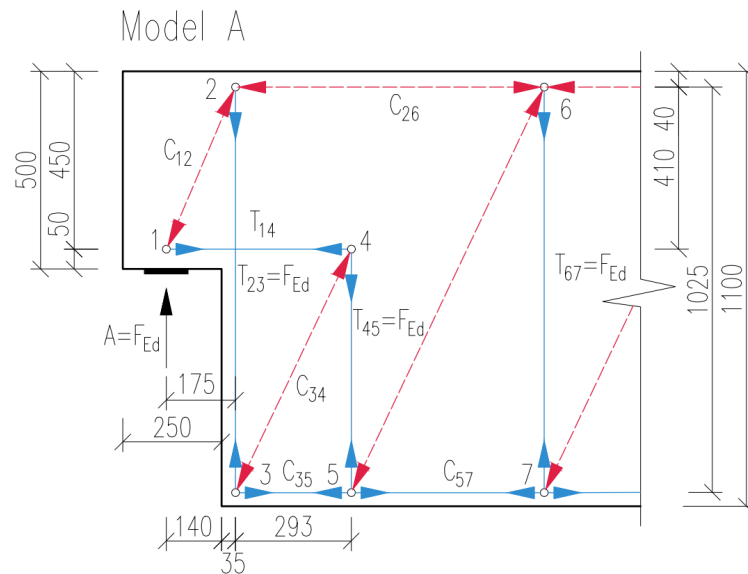
$$A^* = 0,6 \cdot F_{Ed} = 0,6 \cdot 220,9 = 132,5 \text{ kN} \quad (1.7.9)$$

Vodorovná reakce H_{Ed} :

$$H_{Ed} = 0,2 \cdot F_{Ed} = 0,2 \cdot 220,9 = 44,2 \text{ kN} \quad (1.7.10)$$

Výpočet pro model A

Základní model na Obr. 1.38 se používá pro návrh svislé a vodorovné výztuže ozubu.



Obr. 1.38: Základní model A pro návrh ozubu vazníku

- Stanovení množství svislé tahové výztuže u líce ozubu. Za předpokladu $T_{23} = A^*$

$$A_s = \frac{T_{23}}{f_{yd}} = \frac{132,5 \cdot 10^3}{435} = 304,6 \text{ mm}^2 \quad (1.7.11)$$

Návrh:

$$4 \times \text{Třmínek dvoustřížný } \varnothing 8 (A_{s,prov} = 402,1 \text{ mm}^2)$$

- Stanovení ramena a reakce A^* , kde vzdálenost a_c od působící reakce do bočního líce ozubu se rovná 140 mm, vzdálenost Δa od těžiště třmíneků navržených v 1.7.11 do bočního líce ozubu se rovná 121 mm, a pro zohlednění působení vodorovné síly a_H je nutné znát výšku uložného prvku $\Delta h = 10$ mm a vzdálenost d_k' mezi dolním

licem ozubu a těžištěm tahové výztuže T_{14} , které budu uvažovat, že se rovná 50 mm.

$$a_H = \frac{H_{Ed}}{A^*} (d_k' + \Delta h) = \frac{44,2}{132,5} \cdot (50 + 10) = 20 \text{ mm} \quad (1.7.12)$$

$$a = a_c + \Delta a + a_H = 140 + 121 + 20 = 281 \text{ mm} \quad (1.7.13)$$

- Odhad ramena z_k vnitřních sil ozubu, kde h_k je výška ozubu a rovná se 500 mm, a_d je výška tlačené oblasti, kterou budu uvažovat, že se rovná 40 mm.

$$z_k = h_k - d_k' - a_d = 500 - 50 - 40 = 410 \text{ mm} \quad (1.7.14)$$

- Stanovení sklonu θ_1 první vzpěry:

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{z_k}{a}\right) = \arctan\left(\frac{410}{281}\right) = 55,6^\circ \quad (1.7.15)$$

- Stanovení síly $C_{12}^{(1)}$ v první vzpěře:

$$C_{12}^{(1)} = \frac{A^*}{\sin \theta_1} = \frac{132,5}{\sin 55,6} = 160,6 \text{ kN} \quad (1.7.16)$$

- Stanovení tlakové síly při horním líci ozubu

$$C^{(1+2)} = C_{12}^{(1)} \cos \theta_1 + A^* = 160,6 \cdot \cos 55,6 + 132,5 = 223,2 \text{ kN} \quad (1.7.17)$$

- Výška y_2 tlačného pásu při horním líci, kde $\sigma_{Rd,max}$ je návrhová únosnost betonu v tlaku ve styčniku CCT.

$$\sigma_{Rd,max} = 0,85 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} = 0,85 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) \cdot 20 = 15 \text{ MPa} \quad (1.7.18)$$

$$y_2 = \frac{C^{(1+2)}}{\sigma_{Rd,max} \cdot b_v} = \frac{223,2 \cdot 10^3}{15 \cdot 400} = 37,2 \text{ mm} \quad (1.7.19)$$

- Upřesnění těžiště a_d horního tlačného pásu:

$$a_d = c + \varnothing_s + 0,5 \cdot y_2 = 30 + 8 + 0,5 \cdot 37,2 = 57 \text{ mm} \quad (1.7.20)$$

- Přepočítání hodnot dle přesně spočítaného těžiště a_d

$$z_k = h_k - d_k' - a_d = 500 - 50 - 57 = 393 \text{ mm} \quad (1.7.21)$$

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{z_k}{a}\right) = \arctan\left(\frac{393}{281}\right) = 54,4^\circ \quad (1.7.22)$$

$$C_{12}^{(1)} = \frac{A^*}{\sin \theta_1} = \frac{132,5}{\sin 54,4} = 162,9 \text{ kN} \quad (1.7.23)$$

$$C^{(1+2)} = C_{12}^{(1)} \cos \theta_1 + A^* = 162,9 \cdot \cos 54,4 + 132,5 = 227,4 \text{ kN} \quad (1.7.24)$$

- Stanovení síly v táhle T_{14} :

$$T_{14} = \frac{A^*a + H_{Ed}(z_k + d_k' + \Delta h)}{z_k} \quad (1.7.25a)$$

$$T_{14} = \frac{132,5 \cdot 281 + 44,2 \cdot (393 + 50 + 10)}{393} = 145,7 \text{ kN} \quad (1.7.25b)$$

- Návrh vodorovné výztuže:

$$A_{s14} = \frac{T_{14}}{f_{yd}} = \frac{145,7 \cdot 10^3}{435} = 334,9 \text{ mm}^2 \quad (1.7.26)$$

Návrh:

$$4 \times \text{Smyčka } \varnothing 8 (A_{s,prov} = 402,1 \text{ mm}^2)$$

- Kontrola zakotvení táhla T_{14} , kde f_{bd} dle výpočtu v 1.5.31 se rovná 3 MPa, $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 1$ a α_5 se rovná 0,7.

$$\sigma_{sd} = \frac{A_{s14}}{A_{s,prov}} \cdot f_{yd} = \frac{334,9}{402,1} \cdot 435 = 362 \text{ MPa} \quad (1.7.27)$$

$$l_{b,req} = \frac{\varnothing_s}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{8}{4} \cdot \frac{362}{3} = 241 \text{ mm} \quad (1.7.28)$$

$$l_{b,d} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,req} = 1 \cdot 0,7 \cdot 241 = 169 \text{ mm} \quad (1.7.29)$$

- Stanovení síly v táhle T_{45}

Síla v táhle T_{45} se rovná síle v táhle T_{76} a T_{23} a rovná se svislé reakci ozubu $A^* = 132,5$ kN.

- Návrh svislé výztuže:

$$A_{s45} = \frac{T_{45}}{f_{yd}} = \frac{132,5 \cdot 10^3}{435} = 304,6 \text{ mm}^2 \quad (1.7.30)$$

Návrh:

$$4 \times \text{Třmínek dvoustřížný } \varnothing 8 (A_{s,prov} = 402,1 \text{ mm}^2)$$

- Stanovení příčného tahu ze síly C_{12} :

$$T_{12}^{(1)} = C_{12}^{(1)} \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{0,7 \cdot a_1}{h_{12}}\right) \quad (1.7.31a)$$

$$T_{12}^{(1)} = 162,9 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{0,7 \cdot 110}{425}\right) = 66,7 \text{ kN} \quad (1.7.31b)$$

- Vodorovná síla:

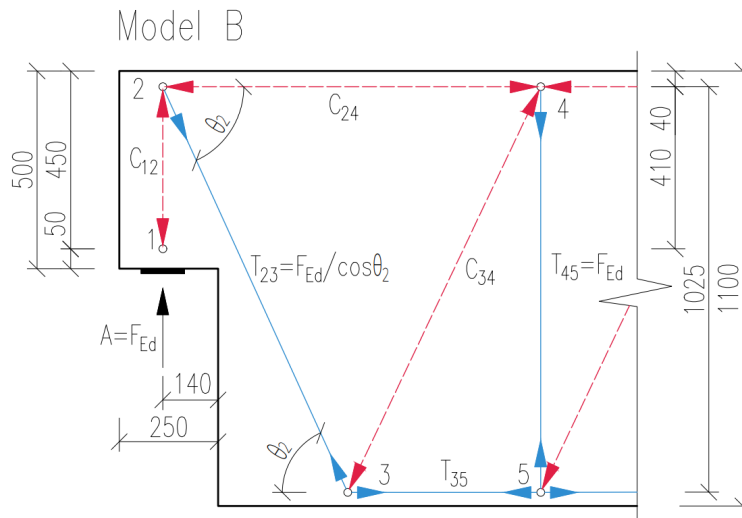
$$T_{12,x}^{(1)} = 1,2 \cdot T_{12}^{(1)} \cdot \sin \theta_1 = 1,2 \cdot 66,7 \cdot \sin 54,4 = 65 \text{ kN} \quad (1.7.32)$$

- Svislá síla:

$$T_{12,y}^{(1)} = 1,2 \cdot T_{12}^{(1)} \cdot \cos \theta_1 = 1,2 \cdot 66,7 \cdot \cos 54,4 = 46,6 \text{ kN} \quad (1.7.33)$$

Výpočet pro model B

Základní model na Obr. 1.39 se používá pro návrh šikmé výztuže ozubu.



Obr. 1.39: Základní model B pro návrh ozubu vazníku

- Pro stanovení síly v táhle T_{23} odhadneme sklon θ_2 šikmé výztuže jako 45° , která musí být kolmo na poruchovou trhlinu.

$$T_{23} = \frac{A^*}{\sin \theta_2} = \frac{132,5}{\sin 45} = 187,4 \text{ kN} \quad (1.7.34)$$

- Návrh šikmé výztuže ozubu

$$A_{s23} = \frac{T_{23}}{f_{yd}} = \frac{187,4 \cdot 10^3}{435} = 430,8 \text{ mm}^2 \quad (1.7.35)$$

Návrh:

$$3 \times \text{Smyčka } \varnothing 10 (A_{s,prov} = 471,2 \text{ mm}^2)$$

- Kontrola zakotvení táhla T_{23} , kde f_{bd} dle výpočtu v 1.5.31 se rovná 3 MPa, $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 1$ a α_5 se rovná 0,7.

$$\sigma_{sd} = \frac{A_{s23}}{A_{s,prov}} \cdot f_{yd} = \frac{430,8}{471,2} \cdot 435 = 398 \text{ MPa} \quad (1.7.36)$$

$$l_{b,req} = \frac{\varnothing_s}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{398}{3} = 332 \text{ mm} \quad (1.7.37)$$

$$l_{b,d} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,req} = 1 \cdot 0,7 \cdot 332 = 232,2 \text{ mm} \quad (1.7.38)$$

- Stanovení příčného tahu ze síly C_{12} :

$$C_{12}^{(2)} = A^* = 132,5 \text{ kN} \quad (1.7.39)$$

$$T_{12,x}^{(2)} = C_{12}^{(2)} \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{0,7 \cdot a_1}{h_{12}}\right) \quad (1.7.40a)$$

$$T_{12,x}^{(2)} = 132,5 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{0,7 \cdot 110}{390}\right) = 65,4 \text{ kN} \quad (1.7.40b)$$

- Redukovaná posouvající síla na ozubu:

$$\beta \cdot A^* = \frac{(a_c + \Delta a - 0,5a_1)}{2 \cdot (z_k + a_d)} \cdot A^* \quad (1.7.41a)$$

$$\beta \cdot A^* = \frac{(140 + 121 - 0,5 \cdot 110)}{2 \cdot (393 + 57)} \cdot 132,5 = 30,3 \text{ kN} \quad (1.7.41b)$$

- Vodorovná síla táhla T_{12} :

$$T_{12,x} = T_{12,x}^{(1)} + T_{12,x}^{(2)} = 65 + 65,4 = 130,4 \text{ kN} \quad (1.7.42)$$

- Návrh vodorovné výztuže:

$$A_{s12,x} = \frac{T_{12,x}}{f_{yd}} = \frac{130,4 \cdot 10^3}{435} = 299,8 \text{ mm}^2 \quad (1.7.43)$$

Návrh:

$$3 \times \text{Třmínek dvoustřížný } \varnothing 8 \quad (A_{s,prov} = 301,6 \text{ mm}^2)$$

- Svislá síla táhla T_{12} :

$$T_{12,y} = T_{12,y}^{(1)} + \beta \cdot A^* = 46,6 + 30,3 = 76,9 \text{ kN} \quad (1.7.44)$$

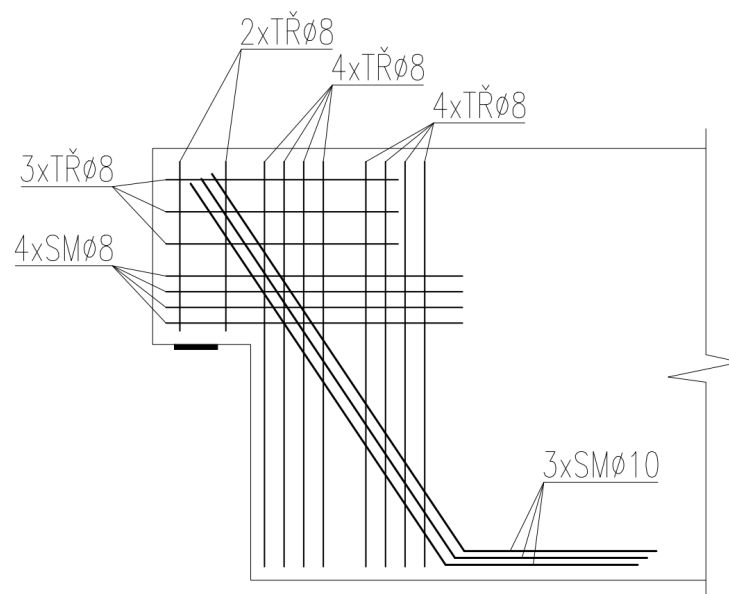
- Návrh svislé výztuže:

$$A_{s12,y} = \frac{T_{12,y}}{f_{yd}} = \frac{76,9 \cdot 10^3}{435} = 176,8 \text{ mm}^2 \quad (1.7.45)$$

Návrh:

$$2 \times \text{Třmínek dvoustřížný } \varnothing 8 \quad (A_{s,prov} = 201,1 \text{ mm}^2)$$

- Schéma vyztužení ozubu průvlaku dle návrhu viz Obr. 1.40



Obr. 1.40: Schéma vyztužení ozubu

1.8 Cena nosné konstrukce

V této části kapitoly proveden ruční výpočet celkové ceny navržené nosné konstrukce. Pro stanovení celkové ceny konstrukce je nutné spočítat hmotnost oceli a betonu v každém prvku a dále násobit aktuálními cenami za materiály.

1.8.1 Stanovení hmotnosti použitých materiálů ve všech vaznicích konstrukce

Stanovení celkové hmotnosti oceli ve všech vaznicích

Pro stanovení celkové hmotnosti oceli ve vazníku je nutné spočítat hmotnost podélné výztuže m_{sVl} a třmínků m_{sVt} zvlášť.

Při výpočtu hmotnosti podélné výztuže ve vazníku m_{sVl} je použita průřezová plocha podélné výztuže ($A_{s,prov} = 2035,75 \text{ mm}^2$) ve vazníku, jeho délka ($L_v = 15750 \text{ mm}$), objemová hmotnost oceli ($\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$).

$$m_{sVl} = \frac{A_{s,prov} \cdot L_v}{10^9} \cdot \rho = \frac{2035,75 \cdot 15750}{10^9} \cdot 7850 = 251,7 \text{ kg} \quad (1.8.1)$$

Pro výpočet hmotnosti příčné výztuže ve vazníku m_{sVt} nejprve nutné stanovit délku jednoho třmínku l_{tr} . K tomu je nutné vědět průřezové rozměry vazníku ($h_v = 1100 \text{ mm}$, $b_v = 400 \text{ mm}$), tloušťku krycí vrstvy výztuže ($c = 30 \text{ mm}$), profil třmínku a jeho střížnost ($n = 2$), prodloužení délky pro uzavření třmínku se bude uvažovat jako $10 \times \varnothing_t$ ($\varnothing_t = 8 \text{ mm}$).

$$l_{tr} = ((h_v - 2 \cdot c) + (b_v - 2 \cdot c) + (10 \cdot \varnothing_t)) \cdot n \quad (1.8.2a)$$

$$l_{tr} = ((1100 - 2 \cdot 30) + (400 - 2 \cdot 30) + (10 \cdot 8)) \cdot 2 = 2920 \text{ mm} \quad (1.8.2b)$$

Následně proveden výpočet hmotnosti příčné výztuže ve vazníku m_{sVt} , k tomuto je potřeba znát celkovou délku třmínku l_{tr} (viz 1.8.2), plochu jednoho třmínku ($A_{sw} = 100,5 \text{ mm}^2$) a jejího rozteč ($s = 280 \text{ mm}$).

$$m_{sVt} = \frac{l_{tr} \cdot A_{sw}}{10^9} \cdot \frac{L_p}{s} \cdot \rho = \frac{2920 \cdot 100,5}{10^9} \cdot \frac{15750}{280} \cdot 7850 = 129,6 \text{ kg} \quad (1.8.3)$$

Pro výpočet celkové hmotnosti oceli ve všech vaznicích m_{sV} nutné sečíst hmotnosti podélné a příčné výztuže a násobit počtem prvků ($n_v = 42$).

$$m_{sV} = (m_{sVl} + m_{sVt}) \cdot n_v = (251,7 + 129,6) \cdot 42 = 16014,6 \text{ kg} \quad (1.8.4)$$

Stanovení celkového betonu ve všech vaznicích

Pro stanovení celkového objemu betonu ve všech vaznicích je nutné vědět průřezové rozměry vazníku, jeho délku a počet prvků.

$$V_{cV} = h_v \cdot b_v \cdot L_v \cdot n_v = 1,1 \cdot 0,4 \cdot 15,75 \cdot 42 = 291,1 \text{ m}^3 \quad (1.8.5)$$

1.8.2 Stanovení hmotnosti použitých materiálů ve všech průvlacích konstrukce

Stanovení celkové hmotnosti oceli ve všech průvlacích

Pro stanovení celkové hmotnosti oceli v průvlaku je nutné spočítat hmotnost podélné výztuže m_{sPl} a třmínků m_{sPt} zvlášť.

Při výpočtu hmotnosti podélné výztuže v průvlaku m_{sPl} je použita průřezová plocha podélné výztuže ($A_{s,prov} = 4712,4 \text{ mm}^2$) v průvlaku, jeho délka ($L_p = 12000 \text{ mm}$), objemová hmotnost oceli ($\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$).

$$m_{sPl} = \frac{A_{s,prov} \cdot L_p}{10^9} \cdot \rho = \frac{4712,4 \cdot 12000}{10^9} \cdot 7850 = 443,9 \text{ kg} \quad (1.8.6)$$

Pro výpočet hmotnosti příčné výztuže v průvlaku m_{sPt} nejprve nutné stanovit délku jednoho třmínku l_{tr} . K tomu je nutné vědět průřezové rozměry průvlaku ($h_p = 1000 \text{ mm}$, $b_p = 500 \text{ mm}$), tloušťku krycí vrstvy výztuže ($c = 30 \text{ mm}$), profil třmínku a jeho střížnost ($n = 2$), prodloužení délky pro uzavření třmínku se bude uvažovat jako $10 \times \varnothing_t$ ($\varnothing_t = 8 \text{ mm}$).

$$l_{tr} = ((h_p - 2 \cdot c) + (b_p - 2 \cdot c) + (10 \cdot \varnothing_t)) \cdot n \quad (1.8.7a)$$

$$l_{tr} = ((1000 - 2 \cdot 30) + (500 - 2 \cdot 30) + (10 \cdot 8)) \cdot 2 = 2920 \text{ mm} \quad (1.8.7b)$$

Následně proveden výpočet hmotnosti příčné výztuže v průvlaku m_{sPt} , k tomuto je potřeba znát celkovou délku třmínku l_{tr} (viz 1.8.7), plochu jednoho třmínku ($A_{sw} = 100,5 \text{ mm}^2$) a jejíž rozteč ($s = 170 \text{ mm}$).

$$m_{sPt} = \frac{l_{tr} \cdot A_{sw}}{10^9} \cdot \frac{L_p}{s} \cdot \rho = \frac{2920 \cdot 100,5}{10^9} \cdot \frac{12000}{170} \cdot 7850 = 162,6 \text{ kg} \quad (1.8.8)$$

Pro výpočet celkové hmotnosti oceli ve všech průvlacích m_{sP} nutné sečíst hmotnosti podélné a příčné výztuže a násobit počtem prvků ($n_p = 30$).

$$m_{sP} = (m_{sPl} + m_{sPt}) \cdot n_p = (443,9 + 162,6) \cdot 30 = 18195 \text{ kg} \quad (1.8.9)$$

Stanovení celkového objemu betonu ve všech průvlacích

Pro stanovení celkového objemu betonu ve všech průvlacích je nutné vědět průřezové rozměry průvlaku, jeho délku a počet prvků.

$$V_{cP} = h_p \cdot b_p \cdot L_p \cdot n_p = 1 \cdot 0,5 \cdot 12 \cdot 30 = 180 \text{ m}^3 \quad (1.8.10)$$

1.8.3 Stanovení hmotnosti použitých materiálů ve všech sloupech konstrukce

Stanovení celkové hmotnosti oceli ve všech sloupech

Pro stanovení celkové hmotnosti oceli ve sloupu je nutné spočítat hmotnost podélné výztuže m_{sSp} a třmínků m_{sSt} zvlášť.

Při výpočtu hmotnosti podélné výztuže v sloupu m_{sSp} je použita průřezová plocha podélné výztuže ($A_{s,prov} = 1357,2 \text{ mm}^2$) v sloupu, jeho výška ($H = 7800 \text{ mm}$), objemová hmotnost oceli ($\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$).

$$m_{sSp} = \frac{A_{s,prov} \cdot H}{10^9} \cdot \rho = \frac{1357,2 \cdot 7800}{10^9} \cdot 7850 = 83,1 \text{ kg} \quad (1.8.11)$$

Pro výpočet hmotnosti příčné výztuže v sloupu m_{sSt} nejprve nutné stanovit délku jednoho třmínku l_{tr} . K tomu je nutné vědět průřezové rozměry sloupu ($b = 500 \text{ mm}$), tloušťku krycí vrstvy výztuže ($c = 30 \text{ mm}$), profil třmínku a jeho střižnost ($n = 2$), prodloužení délky pro uzavření třmínku se bude uvazovat jako $10 \times \varnothing_t$ ($\varnothing_t = 8 \text{ mm}$).

$$l_{tr} = ((b - 2 \cdot c) + (b - 2 \cdot c) + (10 \cdot \varnothing_t)) \cdot n \quad (1.8.12a)$$

$$l_{tr} = ((500 - 2 \cdot 30) + (500 - 2 \cdot 30) + (10 \cdot 8)) \cdot 2 = 1920 \text{ mm} \quad (1.8.12b)$$

Následně proveden výpočet hmotnosti příčné výztuže uprostřed m_{sSt1} a na krajích sloupu m_{sSt2} , k tomuto je potřeba znát celkovou délku třmínku l_{tr} (viz 1.8.12), délku střední oblasti sloupu l_{str} , ve které jsou umístěny třmínky s roztečí ($s_1 = 180 \text{ mm}$) a délku krajní oblasti l_{kr} , kde rozteč třmínků je menší ($s_2 = 100 \text{ mm}$) a plochu jednoho třmínku ($A_{sw} = 100,5 \text{ mm}^2$).

Výpočet délky střední oblasti sloupu:

$$l_{str} = H - 2 \cdot b = 7800 - 2 \cdot 500 = 6800 \text{ mm} \quad (1.8.13)$$

Výpočet délky krajní oblasti sloupu:

$$l_{kr} = 2 \cdot b = 2 \cdot 500 = 1000 \text{ mm} \quad (1.8.14)$$

Výpočet hmotnosti příčné výztuž ve sloupu:

$$m_{sSt} = \left(\left(\frac{l_{tr} \cdot A_{sw}}{10^9} \cdot \frac{L_{str}}{s} \right) + \left(\frac{l_{tr} \cdot A_{sw}}{10^9} \cdot \frac{L_{kr}}{s} \right) \right) \cdot \rho \quad (1.8.15a)$$

$$m_{sSt} = \left(\left(\frac{1920 \cdot 100,5}{10^9} \cdot \frac{6800}{180} \right) + \left(\frac{1920 \cdot 100,5}{10^9} \cdot \frac{1000}{100} \right) \right) \cdot 7850 \quad (1.8.15b)$$

$$m_{sSt} = 72,4 \text{ kg} \quad (1.8.15c)$$

Pro výpočet celkové hmotnosti oceli ve všech sloupech m_{sS} nutné sečíst hmotnosti podélné a příčné výztuže a násobit počtem prvků ($n_s = 33$).

$$m_{sS} = (m_{sSp} + m_{sSt}) \cdot n_s = (83,1 + 72,4) \cdot 33 = 5131,5 \text{ kg} \quad (1.8.16)$$

Stanovení celkového objemu betonu ve všech sloupech

Pro stanovení celkového objemu betonu ve všech sloupech je nutné vědět průřezové rozměry prvku, jeho délku a počet.

$$V_{cS} = b \cdot b \cdot H \cdot n_s = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 7,8 \cdot 33 = 64,4 \text{ m}^3 \quad (1.8.17)$$

1.8.4 Stanovení celkové ceny použitých materiálů

Celková cena použité oceli v celé konstrukce

Stanovíme celkovou hmotnost použité oceli součtem vypočtených hmotností v předchozích částech viz 1.8.1 – 1.8.3.

$$m_s = m_{sV} + m_{sP} + m_{sS} = 16014,6 + 18195 + 5131,5 = 39341,1 \text{ kg} \quad (1.8.18)$$

Cena za 1 kg oceli se uvažuje průměrně 40 Kč – viz Příloha D, Obr. D.1. Výpočet celkové ceny oceli v konstrukce:

$$\text{Cena oceli} = m_s \cdot 40 = 39341,1 \cdot 40 = 1\,573\,644 \text{ Kč} \quad (1.8.19)$$

Celková cena použitého betonu v celé konstrukce

Stanovíme celkovou hmotnost použitého betonu součtem vypočtených hmotností v předchozích částech viz 1.8.1 – 1.8.3.

$$V_c = V_{cV} + V_{cP} + V_{cS} = 291,1 + 180 + 64,4 = 535,5 \text{ m}^3 \quad (1.8.20)$$

Cena za 1 kubík betonu se uvažuje 3521 Kč – viz Příloha D, Obr. D.2. Výpočet celkové ceny betonu v konstrukce:

$$\text{Cena betonu} = V_c \cdot 3521 = 535,5 \cdot 3521 = 1\,885\,496 \text{ Kč} \quad (1.8.21)$$

Celková cena nosné konstrukce

$$\text{Celková cena} = \text{Cena oceli} + \text{Cena betonu} = 3\,459\,140 \text{ Kč} \quad (1.8.22)$$

Kapitola 2

Program pro optimalizaci nosné konstrukce haly

2.1 Motivace

V kapitole 1 je navržena bezpečná nosná konstrukce haly, ale tento návrh z ekonomického hlediska nemusí být nejvýhodnější variantou, z tohoto důvodu byl vytvořen program pro optimalizaci návrhu z hlediska počtu prvků, rozměrů prvků a jejich vyztužení. Podrobnější popis v dalších částech kapitoly 2.

2.2 Popis algoritmu

Na základě definovaných vstupních dat a okrajových podmínek je program schopný navrhnout nejvýhodnější nosnou konstrukce haly v souladu se všemi předpisy a normami. Pomocí algoritmu lze určit nejlepší kombinace délek a průřezových rozměrů všech prvků v závislosti na konkrétních požadavcích. Požadavkem může být co nejnižší celková cena konstrukce, nebo spotřeba oceli či betonu. Pomocí programu taky lze určit nejvýhodnější variantu z hlediska vnitřních sil na prvcích.

Pro vytvoření algoritmu bylo nutné definovat vstupní data a okrajové podmínky. Jako vstupní data byly použity: délka, šířka a výška budovy – viz Kap. 1. Jako okrajové podmínky byly definovány nejmenší a největší možné délky prvků. Pro průvlak jsou použity délky od 4 metrů až 20 metrů. Pro vazník jsou od 3 metrů až 20 metrů. Nejmenší použitý průměr výztuže je 8 mm, největší je 32 mm. Vždy se uvažuje pouze jeden vazník uprostřed průvlastu. Další okrajové podmínky jsou dány normovými požadavky na bezpečnost (únosnost) a konstrukčními zásadami – viz ruční výpočet v Kap. 1. V rámci automatického výpočtu jsou ověřeny všechny podmínky popsání v Kap. 1.

2.3 Výsledky a diskuze

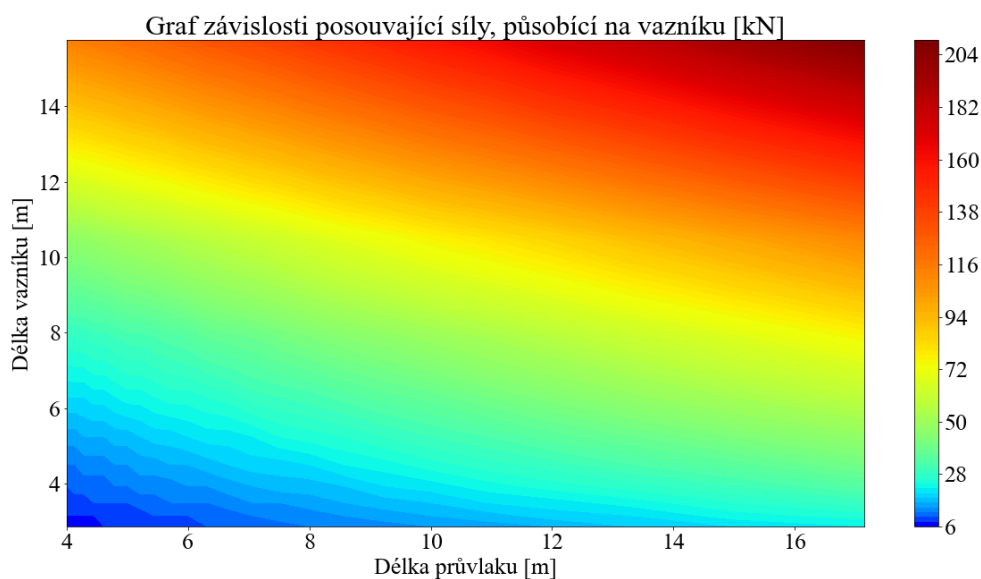
V této části budou představeny nejzajímavější výsledky optimalizace pomocí programu, ze kterých je možné určit optimální kombinaci délek prvků.

V jednotlivých podkapitolách jsou prezentovány a okomentovány získané výsledky.

2.3.1 Vnitřní síly

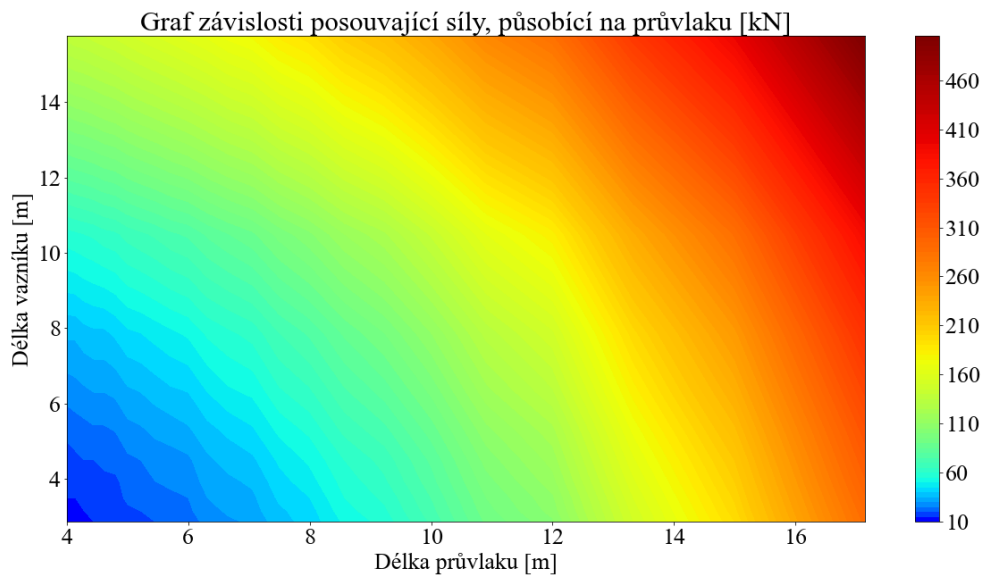
V této podkapitole jsou uvedeny grafy popisující vývoj vnitřních sil v závislosti na rozponech prvků – viz Obr. 2.1 až 2.5. Tyto výsledky jsou uvedeny pro kontrolu správnosti výpočtu. Vzhledem k tomu, že při růstu délky průvlastku se zvětšuje rozpon mezi vazníky, zvětšuje se zatěžovací šířka vazníku, a proto s růstem délky průvlastku musí vrůstat vnitřní síly na vazníku. To samé platí i pro růst délky vazníku.

Z grafu 2.1 je zřejmé, že s rostoucími rozpony vazníků (a rostoucí délkou průvlastků) roste i posouvající síla, což naznačuje, že výpočet je správný.



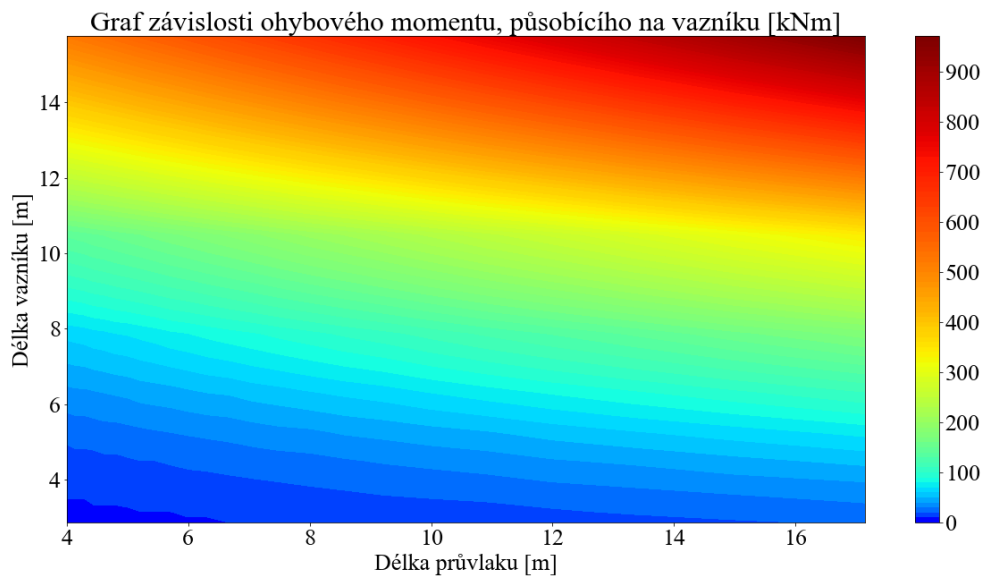
Obr. 2.1: Hodnota maximální posouvající síly působící na vazníku

Z grafu 2.2 je zřejmé, že a rostoucími rozpony průvlastků (a rostoucí délkou vazníků) roste i posouvající síla, což naznačuje, že výpočet je správný. Vzhledem k tomu, že průvlastek je víc zatížen, posouvající síla bude větší než u vazníku.



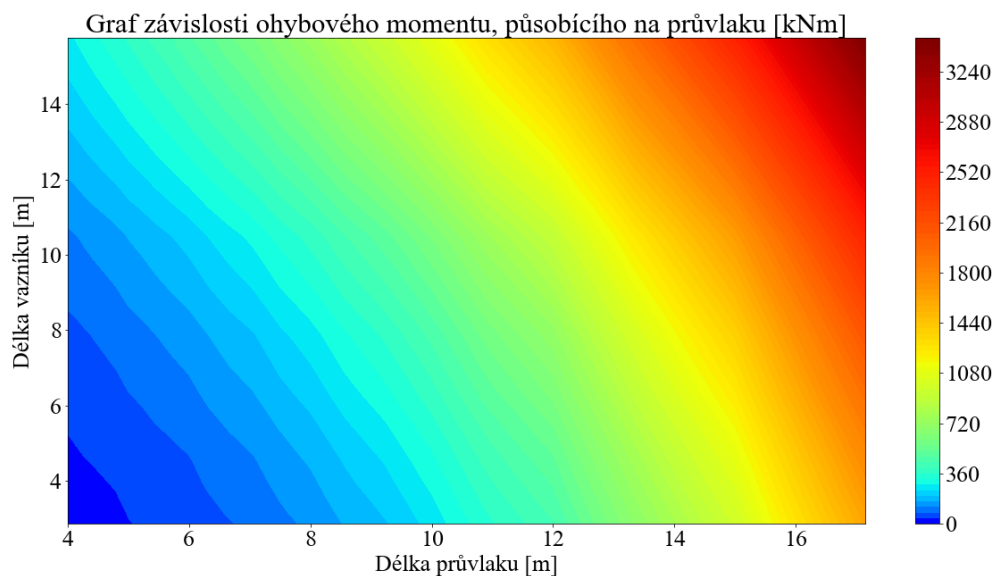
Obr. 2.2: Hodnota maximální posouvající síly působící na průvlnku

Z grafu 2.3 je zřejmé, že s rostoucími rozpony vazníků (a rostoucí délkou průvlnků) roste i ohybový moment, což naznačuje, že výpočet je správný. Délka vazníku má větší vliv než délka průvlnku, protože se ve výpočtu objevuje v druhé mocnině.



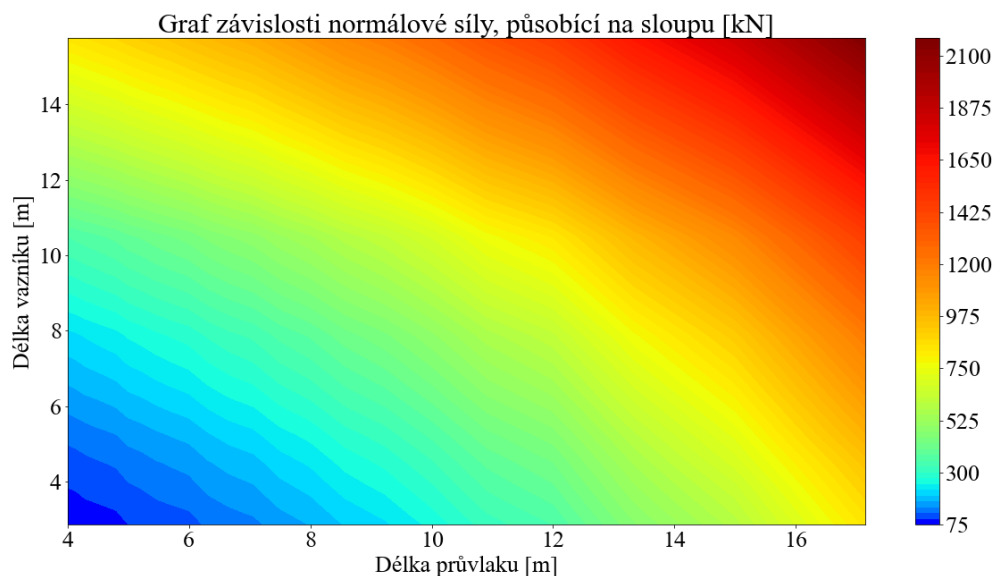
Obr. 2.3: Hodnota maximálního ohybového momentu působícího na vazníku

Z grafu 2.4 je zřejmé, že s rostoucími rozpony průvlnků (a rostoucí délkou vazníků) roste i ohybový moment, což naznačuje, že výpočet je správný.



Obr. 2.4: Hodnota maximálního ohybového momentu působícího na průvlaku

Z grafu 2.5 je očividné, že při nejmenších délkách vazníků a průvlaků normálová síla ve sloupu bude menší, což potvrzuje správnost výpočtu.

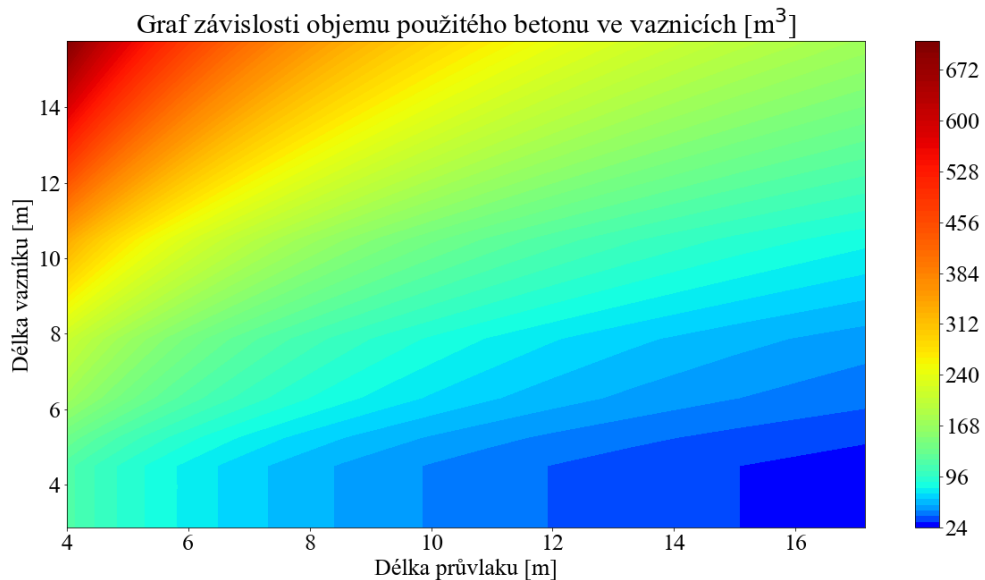


Obr. 2.5: Hodnota maximální normálové síly působící na sloup

2.3.2 Objem betonu

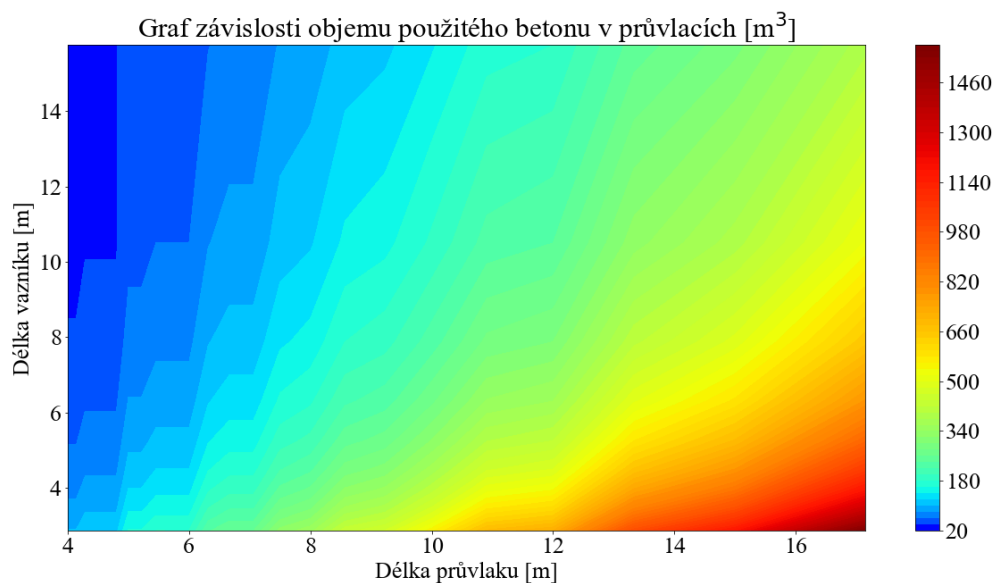
V této podkapitole jsou uvedeny grafy popisující množství použitého betonu v závislosti na rozponech prvků – viz Obr. 2.6 až 2.9.

Z grafu 2.6 je jasné, že množství použitého betonu ve vaznicích je menší, pokud jsou použity vazníky o nejmenších možných délkách a průvlaky o největších možných délkách, protože při použití delších průvlaků je použito méně vazníků. Objem použitého betonu závisí nejenom na délkách prvků, ale taky na jejich rozměrech, v Příloze E na Obr. E.1 jsou uvedeny průřezové rozměry vazníků v závislosti na použitých délkách vazníků a průvlaků.



Obr. 2.6: Maximální hodnoty objemu použitého betonu ve všech vaznicích

Z grafu 2.7 je jasné, že množství použitého betonu v průvlacích je menší, pokud jsou použity průvlaky o nejmenších možných délkách a vazníky o největších možných délkách. Objem použitého betonu závisí nejenom na délkách prvků, ale taky na jejich rozměrech, v Příloze E na Obr. E.4 jsou uvedeny průřezové rozměry průvlaků v závislosti na použitých délkách vazníků a průvlaků.



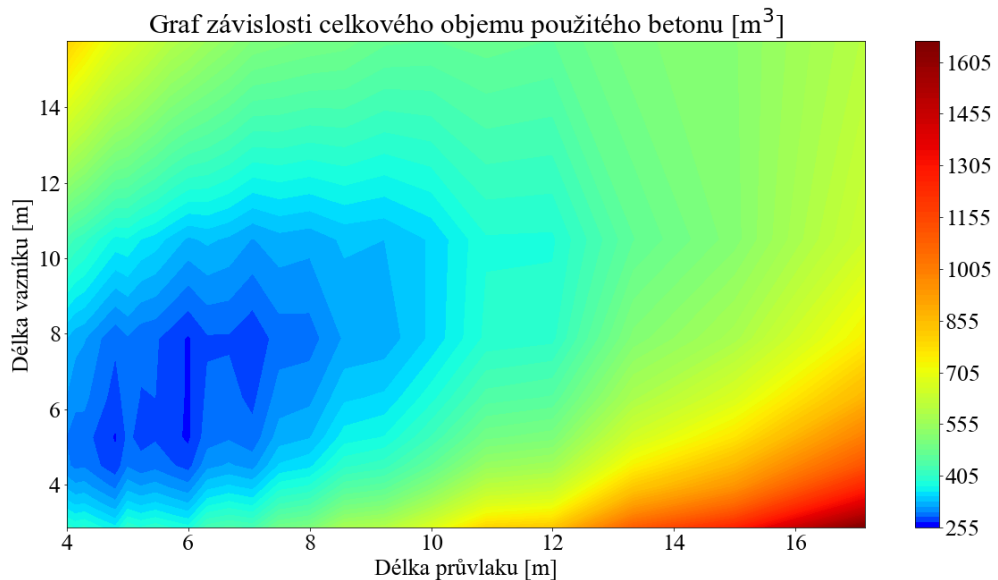
Obr. 2.7: Maximální hodnoty objemu použitého betonu ve všech průvlacích

Z grafu 2.8 je vidět, že největší množství potřebného betonu bude při nejmenších délkách průvlaků a vazníků. Nejmenší množství betonu ve sloupech je při délce vazníků 11 metrů a délce průvlaků 10 metrů. Při největších délkách vazníků a průvlaků je potřebné menší množství sloupů a z toho důvodu je menší množství použitého betonu. V E na Obr. E.7 jsou uvedeny průřezové rozměry sloupů v závislosti na použitých délkách vazníků a průvlaků.



Obr. 2.8: Maximální hodnoty objemu použitého betonu ve všech sloupech

Na grafu 2.9 modrým odstínem je znázorněno nejmenší množství použitého betonu v celé konstrukci. Z tohoto lze říct, že optimálnější variantou z hlediska hmotnosti potřebného betonu je použití vazníků o délce od 4 až 8 metrů a průvlaků o délce od 5 až 7 metrů, tím je spotřebováno 255 m³ betonu.

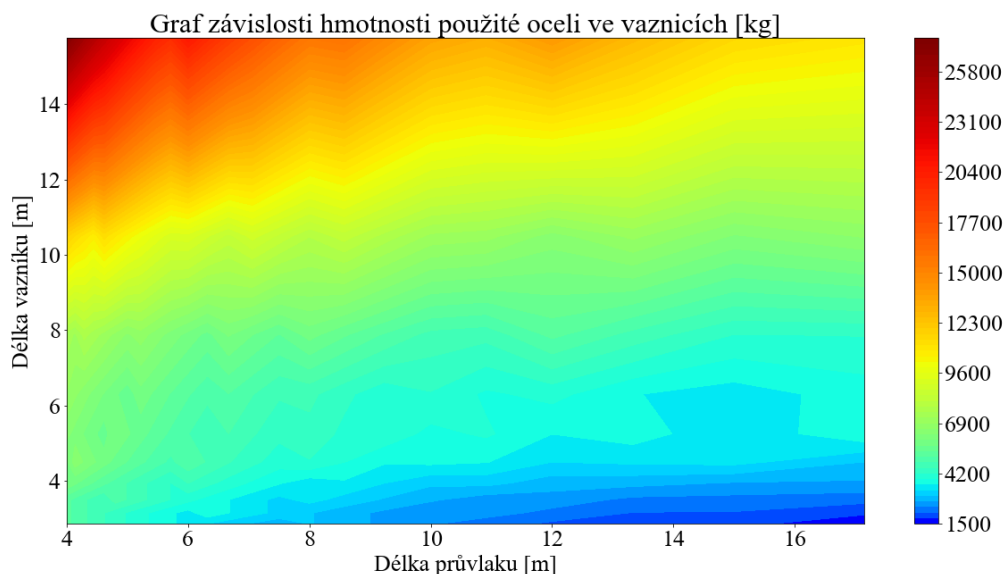


Obr. 2.9: Maximální hodnoty objemu použitého betonu v celé konstrukci

2.3.3 Hmotnost oceli

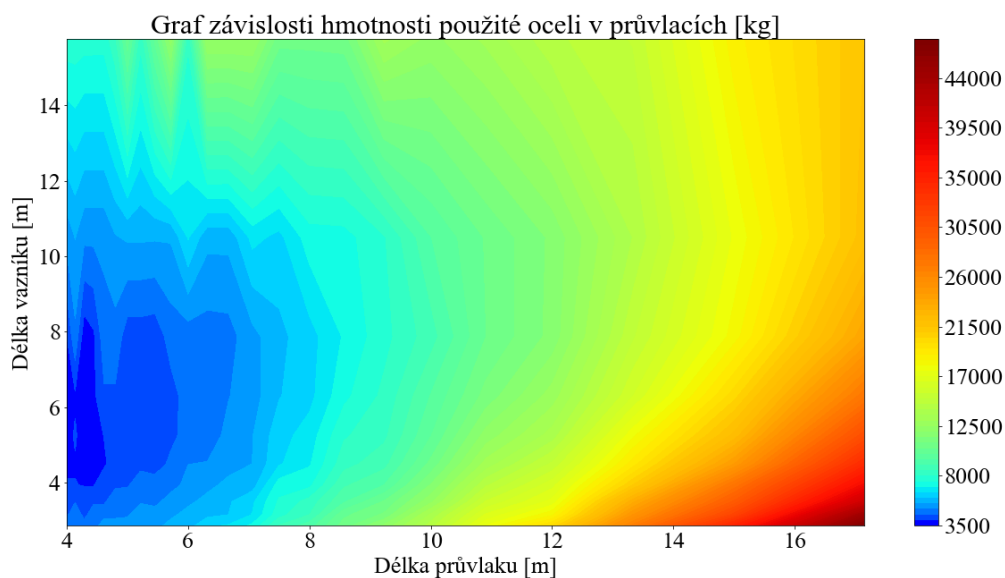
V této podkapitole jsou uvedeny grafy popisující hmotnost použité oceli v závislosti na rozponech prvků – viz Obr. 2.10 až 2.13.

Z grafu 2.10 je jasné, že hmotnost použité oceli ve vaznicích je menší, pokud jsou použity vazníky o nejmenších možných délkách a průvlaky o největších možných délkách. Čím větších rozměrů použit prvek, tím víc je vyztužen, v příloze jsou uvedeny počet a profil použité podélné (viz Příloha E, Obr. E.2) a příčné (viz Příloha E, Obr. E.3) výztuže ve vazníku v závislosti na použitých délkách vazníků a průvlaků.



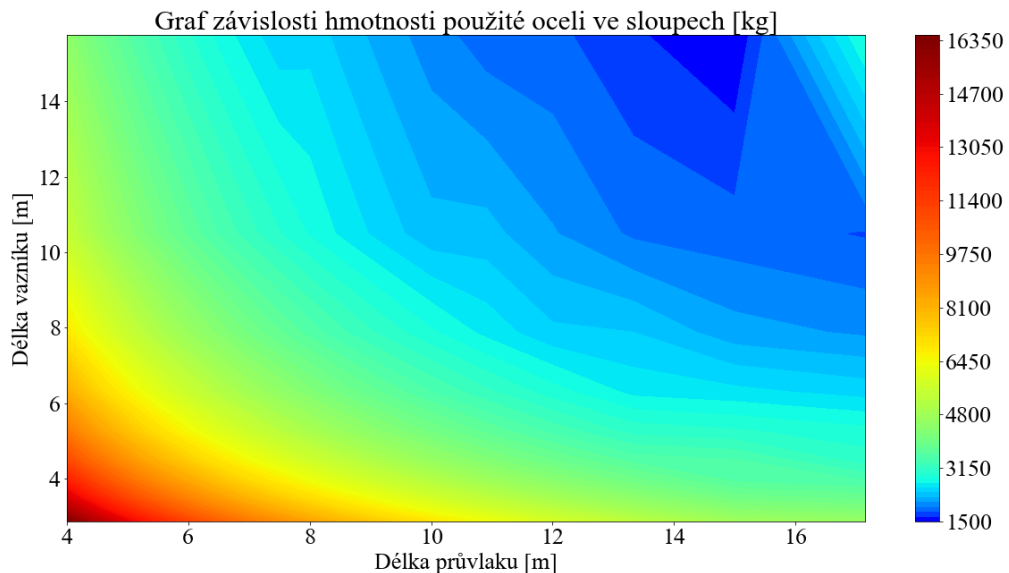
Obr. 2.10: Maximální hodnoty hmotnosti použité oceli ve všech vaznicích

Z grafu 2.11 je jasné, že hmotnost použité oceli v průvlacích je menší, pokud jsou použity průvlaky o nejmenších možných délkách a vazníky o největších možných délkách. Čím větších rozměrů použit prvek, tím víc je vyztužen, v příloze jsou uvedeny počet a profil použité podélné (viz Příloha E, Obr. E.5) a příčné (viz Příloha E, Obr. E.6) výztuže v průvlaku v závislosti na použitých délkách vazníků a průvlaků.



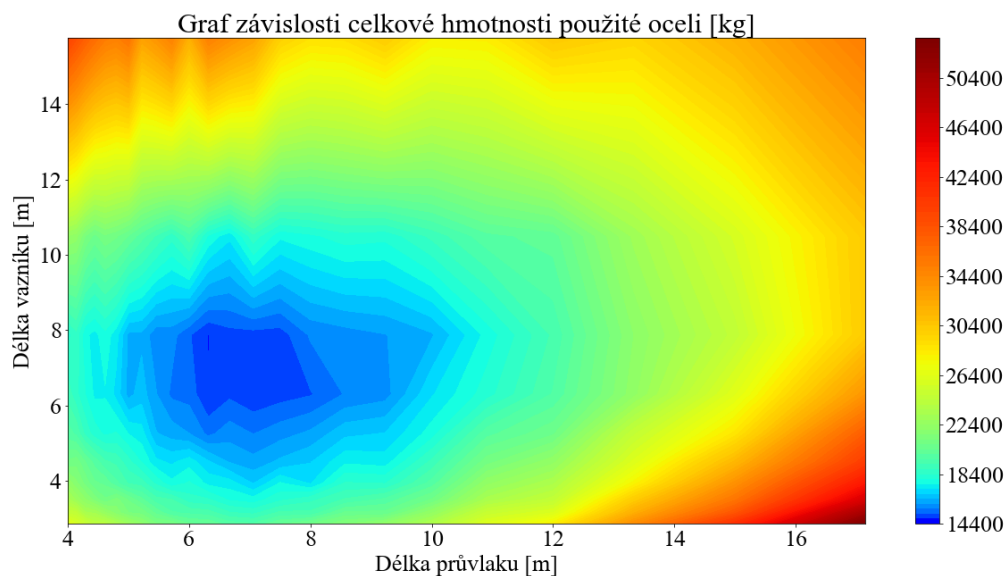
Obr. 2.11: Maximální hodnoty hmotnosti použité oceli ve všech průvlacích

Z grafu 2.12 je vidět, že celá oblast modrého odstínu vykazuje nejmenší množství použité oceli a úplně nejmenší množství ve sloupech je při největší možné délce vazníků a to je 16 metrů a délce průvleků 15 metrů. Při největších délkách vazníků a průvleků je potřebné menší množství sloupů a z toho důvodu je menší množství použité oceli. V příloze jsou uvedeny počet a profil použité podélné (viz Příloha E, Obr. E.8) a příčné (viz Příloha E, Obr. E.9) výztuže v sloupu v závislosti na použitých délkách vazníků a průvleků.



Obr. 2.12: Maximální hodnoty hmotnosti použité oceli ve všech sloupech

Na grafu 2.13 tmavomodrou barvou je znázorněno nejmenší množství použité oceli v celé konstrukci. Z tohoto lze říct, že optimálnější variantou z hlediska hmotnosti použité oceli je použití vazníků o délce od 6 až 8 metrů a průvleků o stejném rozmezí délek, tím je spotřebováno 14400 kg oceli.

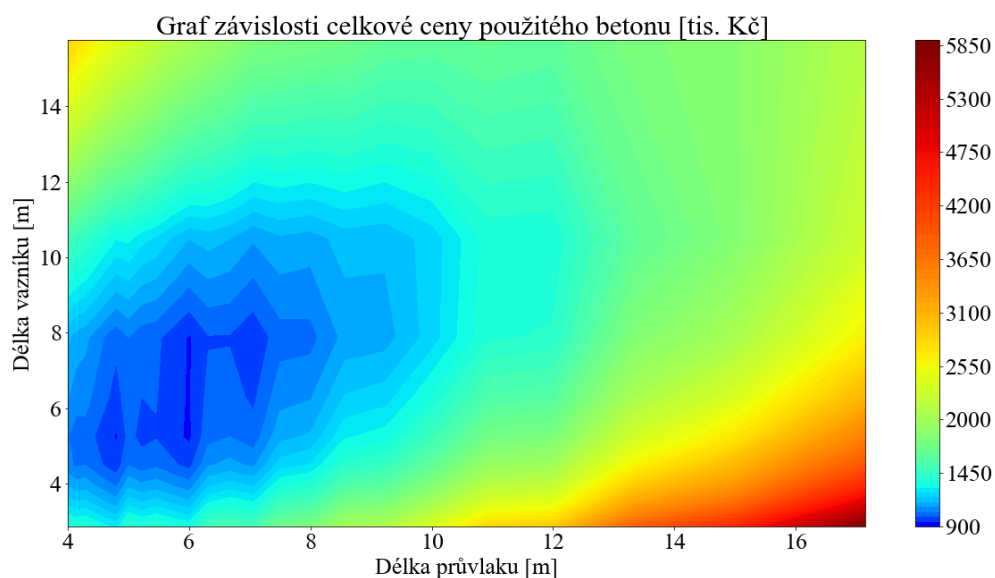


Obr. 2.13: Maximální hodnoty hmotnosti použité oceli v celé konstrukci

2.3.4 Cena

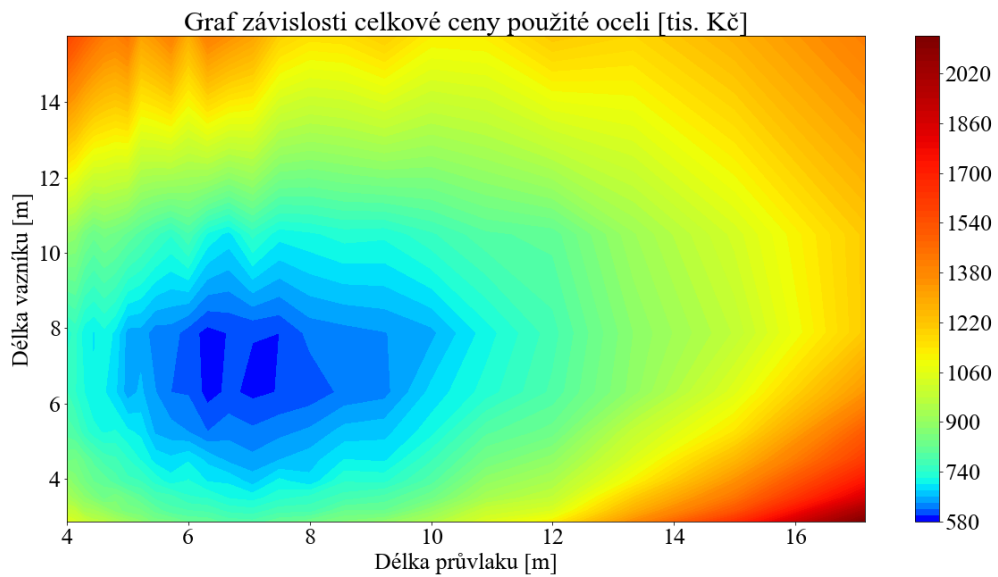
V této podkapitole jsou uvedeny grafy znázorňující cenu jednotlivých použitých materiálů v celé konstrukci a celkovou cenu materiálů použitých v konstrukci viz Obr. 2.14 až 2.16.

Na grafu 2.14 je vidět, že nejmenší cena za použitý beton je při délce vazníků od 5 až 8 metrů a průvlaků od 5,5 až 6,5 metrů. Tato cena je v rozmezí od 900 až 1000 tis. Kč.



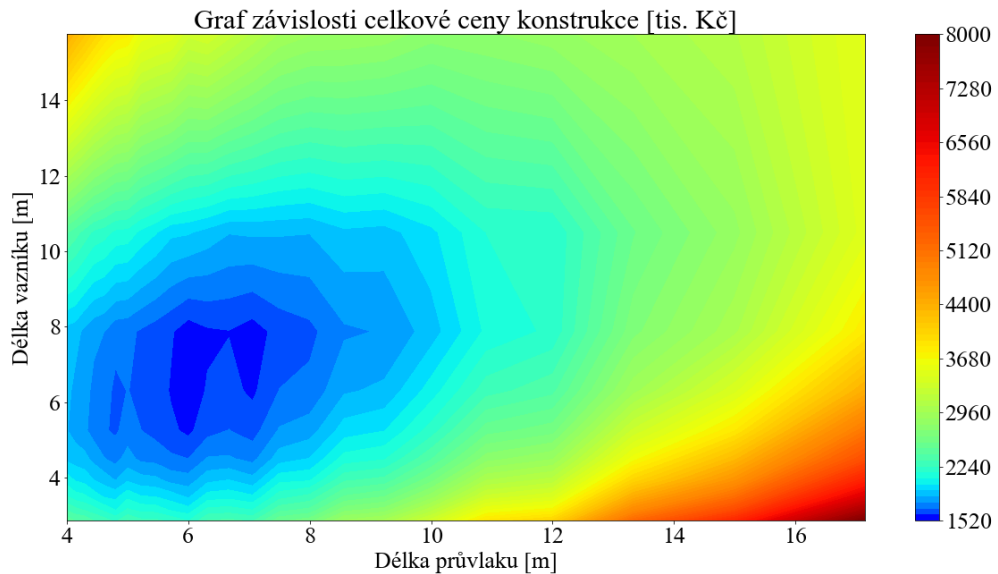
Obr. 2.14: Hodnoty celkové ceny použitého betonu

Na grafu 2.15 je vidět, že nejmenší cena za použité množství oceli je při délce vazníků od 6,5 až 8 metrů a průvlaků od 6 až 7,5 metrů. Tato cena je v rozmezí od 580 až 650 tis. Kč.



Obr. 2.15: Hodnoty celkové ceny použité oceli

Na grafu 2.16 je vidět, že nejmenší cena za použité materiály je při délce vazníků od 5 až 8 metrů a průvlaků od 5,8 až 7,5 metrů. Tato cena je v rozmezí od 1520 až 1700 tis. Kč.



Obr. 2.16: Hodnoty celkové ceny konstrukce

2.4 Závěr optimalizace

Z výše uvedených výsledků a diskuze vyplývá, že nejekonomičtější varianta návrhu je ta, kde délka vazníků se rovná 7.059 metrů a průvlaků je 6.3 metrů. Pro tento návrh cena konstrukce je 1 520 tis. Kč.

Je důležité zdůraznit, že tato varianta je neekonomičtější pouze z pohledu spotřeby materiálů. Do reálného výpočtu vstupují i ceny na bednění, pracnost a manipulaci s ukládáním. Je možné, že při zohlednění všech těchto vstupů by vyšla jako neekonomičtější jiná kombinace délek prvků - to však nebylo náplní této bakalářské práce.

2.4.1 Porovnání s ručním výpočtem

Konstrukce navržená v Kapitole 1 při délce vazníků 15,75 metrů a průvlaků 12 metrů podle výpočtu v podkapitole 1.8.4 má celkovou cenu 3 459 tis Kč, což je 2,3 krát více než neekonomičtější varianta. Neekonomičtější variantu však nebylo možné použít vzhledem k požadavkům na dispozici, kde použití dlouhých prvků je odůvodněno dostatkem volného prostoru pro skladování.

2.5 Výkresová dokumentace

Pro optimalizovaný návrh prvků jsou vytvořeny výkresy výztuže vazníku, průvlaku a sloupu. Výkresy jsou udělány dle stejného principu výkresů výztuže navržených prvků v Kap. 1. Výkresy viz příloha F.

Závěr

Bakalářská práce byla věnována statickému návrhu, posouzení a optimalizaci nosné konstrukce skladovací prefabrikované haly. Nosnými prvky konstrukce jsou vazníky, průvlaky a sloupy. Nejdříve byla popsána konstrukce, stanoveny základní návrhové údaje objektu a veškeré zatížení působící na konstrukci. Následně byl proveden ruční návrh rozměrů vazníku a ověření navržených rozměrů na průhyb. Po ověření rozměrů se stanovil průběh vnitřních sil, na jehož základě se navrhla nosná výztuž vazníku. Dále proběhlo ověření a posouzení navržené výztuže. U vazníku bylo řešeno i uložení, které bylo zajištěno ozuby. Následně byl proveden ruční návrh rozměrů průvlaku a ověření navržených rozměrů na průhyb. Po ověření rozměrů se stanovil průběh vnitřních sil, na jehož základě se navrhla nosná výztuž průvlaku. Dále proběhlo ověření a posouzení navržené výztuže. Následně byl proveden odhad rozměrů sloupu a na základě tohoto odhadu se stanovilo zatížení a ověřili se navržené rozměry. Po ověření rozměrů byla ověřena štíhlost sloupu. Následně se navrhla výztuž sloupu. Poté se ručně stanovila geometrická imperfekce a imperfekce od účinků momentu druhého řádu. Výpočet momentu druhého řádu se pak ověřil programem. Celkový moment působící na sloup se posoudil ručně pomocí bodového interakčního diagramu a pomocí programu na křivce Moment – křivost. Jelikož veškeré nosné prvky jsou prefabrikované, byl proveden i návrh manipulačních úchytů u každého prvku. Pro možnost porovnání s následnou optimalizací byla stanovena hmotnost a cena spotřebovaného materiálu ručně navržené konstrukce.

Druhá část bakalářské práce byla věnována optimalizaci nosného systému haly. Optimalizace byla udělána v programu vytvořeném autorkou práce. Program automaticky navrhl a posoudil konstrukci pro různé rozteče sloupů, a to postupem popsaným a použitým v rámci předchozího ručního výpočtu. Výstupem programu byly grafy, ze kterých bylo možné najít nejoptimálnější kombinace délek a průřezových rozměrů nosných prvků z hlediska ceny konstrukce.

V poslední části práce byly narýsovány výkresy výztuže ručně navrženého vazníku včetně výkresu ozubu, průvlaku a sloupu. Dále byly narýsovány výkresy výztuže optimalizovaného vazníku, průvlaku a sloupu.

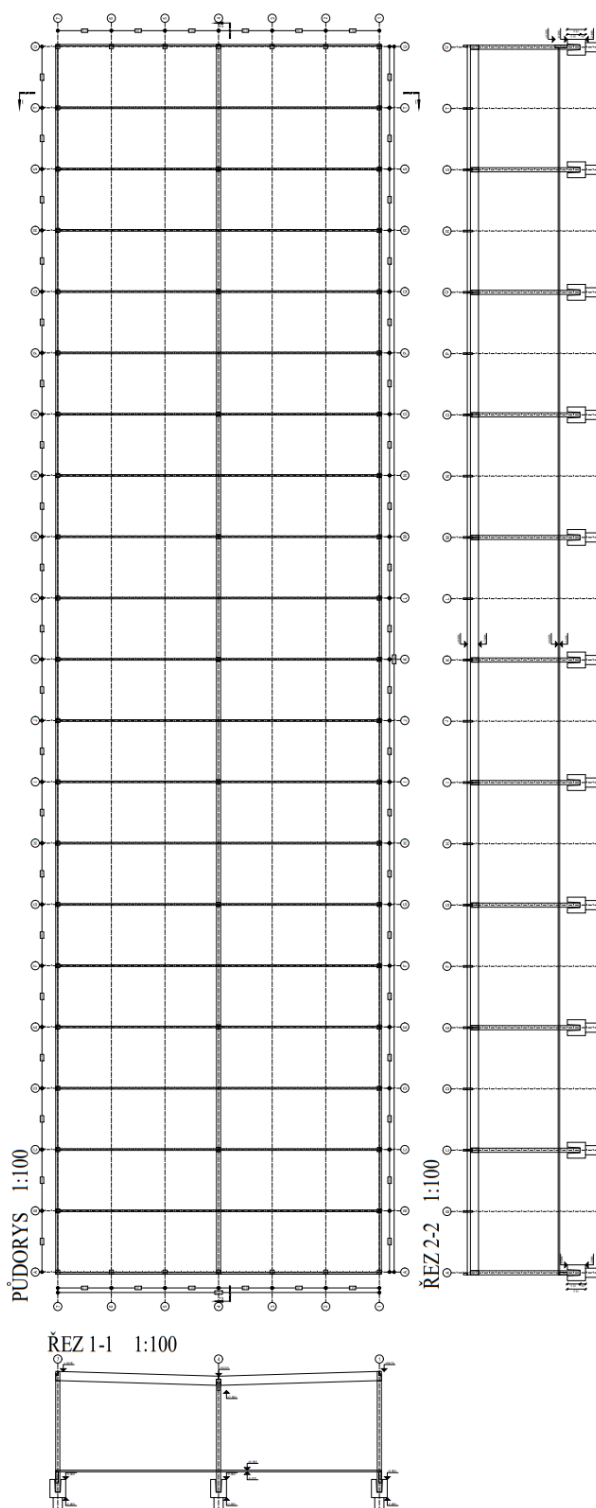
Hlavním přínosem bakalářské práce je přehledné popsání postupu návrhu a posouzení prefabrikovaných prvků, zejména popis posouzení sloupu včetně účinků druhého řádu a návrh ozubu.

Reference

- [1] ČSN EN 1991-1-3 ZMĚNA Z1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem. *Praha: Český normalizační institut*. 2006.
- [2] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. *ed. 2. Praha: Český normalizační institut*. 2011.
- [3] ČSN EN 1992-1-1 ZMĚNA Z3 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. *Praha: ÚNMZ*. 2015.
- [4] J. PROCHÁZKA a J. VAŠKOVÁ A. KOHOUTKOVÁ. *Navrhování železobetonových konstrukcí: Příklady a postupy*. Praha: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05587-8.
- [5] SPOLEČNOST HALFEN. *Program HALFEN TPA: Program pro dimenzování a návrh manipulačních úchytů*.
- [6] R. ŠTEFAN J. HOLAN. *Program InDiOn: Program pro vykreslení interakčního diagramu průřezu*. 2019.
- [7] J. PROCHÁZKA J. SURA R. ŠTEFAN. *Program RCC 1.2: Výpočetní program pro posouzení železobetonových sloupů*. 2016.
- [8] J. PROCHÁZKA J. ŠMEJKAL. *Navrhování nepřímo uložených a složených konzol s použitím modelů náhradní příhradoviny*. Beton TKS 1/2010.
- [9] J. PROCHÁZKA J. ŠMEJKAL. *Navrhování ozubů nosníků a desek s použitím modelů náhradní příhradoviny*. Beton TKS 2/2010.
- [10] J. PROCHÁZKA a kol. *Navrhování betonových konstrukcí 1. 2., upr. vyd.* Praha: ČBS Servis, 2006. ISBN 80-903807-1-9.
- [11] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. *ed. 2. Praha: Český normalizační institut*. 2011.
- [12] J. HOLAN S. VORÁČEK. *Program MSPruhyb: Program pro výpočet nelineárního průhybu ŽB nosníku*. 2021.

Příloha A

Zadaní




Příloha B

Technické listy

B.1 Střešní panely

		STŘEŠNÍ PANELY: Izolační jádro IPN nebo QuadCore™ – ploché střechy s membránovou krytinou					
		tloušťka panelu d (mm)	min. spád střechy ²⁾	součinitel prostupu tepla ³⁾ U [W/m ² K]	Požární odolnost střešních panelů ⁴⁾ expozice ze spodní strany	Hodnocení střešních panelů při působení vnějšího požáru ⁵⁾	Hmotnost bez krytiny [kg/m ²]
KS1000 X-DEK XD Pro velké rozpory (až 7 m) a vysoké zatížení • Hydroizolační PVC fólie není součástí dodávky.		100	0,5 * (1 %)	0,18	REI 15 DP3	B _{wa} (t3) s PVC fóli Akceptem 35 176	21,8 (leheč 0,9) 24,2 (leheč 1,1)
		140	0,5 * (1 %)	0,13	REI 30 DP3	B _{wa} (t1) s PVC fóli Akceptem SKK	23,4 (leheč 0,9) 25,8 (leheč 1,1)
KS1000 X-DEK XM Pro velké rozpory (až 6,5 m) a vysoké zatížení • Součástí panelu je PVC nebo TPO fólie (tl. 140 mm pouze s PVC)		100	0,5 * (1 %)	0,20	REI 15 DP3		17,4 (leheč 0,9) 19,7 (leheč 1,1)
		140	0,5 * (1 %)	0,14	REI 30 DP3	B _{wa} (t1)	19,0 (leheč 0,9) 21,3 (leheč 1,1)
KS1000 X-DEK XG Pro velké rozpory (až 6,5 m) a vysoké zatížení • Součástí dodávky není finální hydroizolační krytina aplikovaná při montáži.		100	0,5 * (1 %)	0,20	REI 15 DP3		16,4 (leheč 0,9) 18,7 (leheč 1,1)
		140	0,5 * (1 %)	0,14	REI 30 DP3	B _{wa} (t3) s PVC fóli Akceptem 35 176	18,0 (leheč 0,9) 20,3 (leheč 1,1)

Obr. B.1: Technické vlastnosti střešního panelu



skladěbná šířka 1 000 mm

rozpon

Tloušťka spodního plechu [mm]	Systém	Tloušťka jádra [mm]	Případ zatížení	Typ zatížení	Všechna zatížení v kN/m ² pro dané rozpory v metrech										
					2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00		
0,9	Prostý nosník	80	MSU	Tlak	10,38	8,26	6,85	5,36	4,70	3,56	2,76	2,28	1,92		
				Sání	15,78	10,16	7,10	5,25	3,33	2,42	1,79	1,53	1,33		
			MSP	Tlak	6,92	5,51	4,57	3,40	2,62	1,76	1,22	0,93	0,73		
				MSP	Sání	10,52	6,77	4,73	3,50	2,50	1,73	1,24	0,95	0,74	
			100	MSU	Tlak	10,38	8,26	6,85	5,36	4,70	3,64	2,89	2,38	1,99	
				MSP	Sání	15,78	10,16	7,10	5,25	3,43	2,56	1,95	1,49	1,15	
			MSP	Tlak	6,92	5,51	4,57	3,40	2,62	1,78	1,25	0,96	0,76		
				MSP	Sání	10,52	6,77	4,73	3,50	2,35	1,72	1,30	0,97	0,74	
			MSU	Tlak	9,99	7,05	5,20	3,98	2,85	2,32	1,93	1,56	1,29		
		80		Sání	14,87	10,23	7,50	5,70	3,10	2,39	1,89	1,70	1,55		
			MSP	Tlak	6,66	4,70	3,47	2,65	5,47	4,11	3,19	2,51	2,02		
				Sání	9,91	6,82	5,00	3,80	4,98	3,82	3,01	2,35	1,88		
			MSU	Tlak	9,99	7,05	5,20	3,98	3,19	2,45	1,93	1,55	1,27		
		100		Sání	14,87	10,23	7,50	5,70	3,11	2,75	2,46	2,16	1,92		
			MSP	Tlak	6,66	4,70	3,47	2,65	5,47	3,91	2,90	2,40	2,02		
				Sání	9,91	6,82	5,00	3,80	4,66	3,70	3,01	2,38	1,92		

tabulka revize 04/2012

- maximální zatížení pro MSU porovnávat s návrhovými hodnotami
 - maximální zatížení pro MSP porovnávat s charakteristickými hodnotami

Poznámky: MSU – mezní stav únosnosti – hodnoty mezních zatížení uvedené v tabulce porovnávejte s návrhovými hodnotami zatížení, MSP – mezní stav použitelnosti – hodnoty mezních zatížení uvedené v tabulce porovnávejte s charakteristickými hodnotami zatížení. Maximální dovolený průhyb (MSP): L/200.
 Minimální šířka podpor: Pro rozpon < 4,00 m: prostý nosník – 50 mm; spojitý nosník o 2 polích – krajní podpory 90 mm, střední podpora 160 mm
 Pro rozpon ≥ 4,00 m: prostý nosník – 40 mm; spojitý nosník o 2 polích – krajní podpory 40 mm, střední podpora 120 mm
 Uvedené hodnoty zohledňují vlastní hmotnost panelů. Možné chyby a opomenutí vyhrazeny. Mějte prosím na paměti, že tato tabulka nenahrazuje statický výpočet.



Obr. B.2: Únosnost střešního panelu

Příloha C

Manipulační úchyty



Development
Vazník

Project No.
1

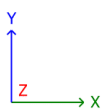
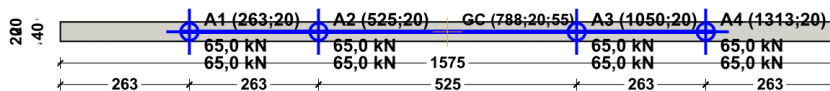
Page
1

Pos.
Position 1

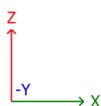
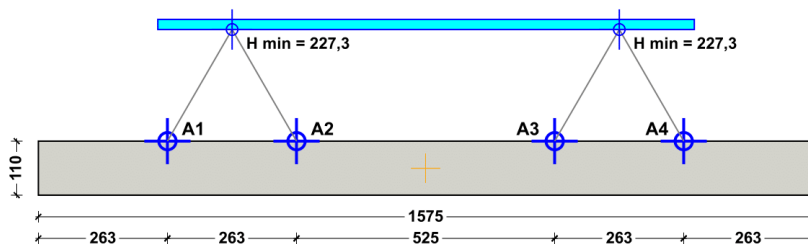
TPA 3.13.1 - Transport Anchor Systems Transport | Beam | Rectangular beam

GRAPHICS

Top view



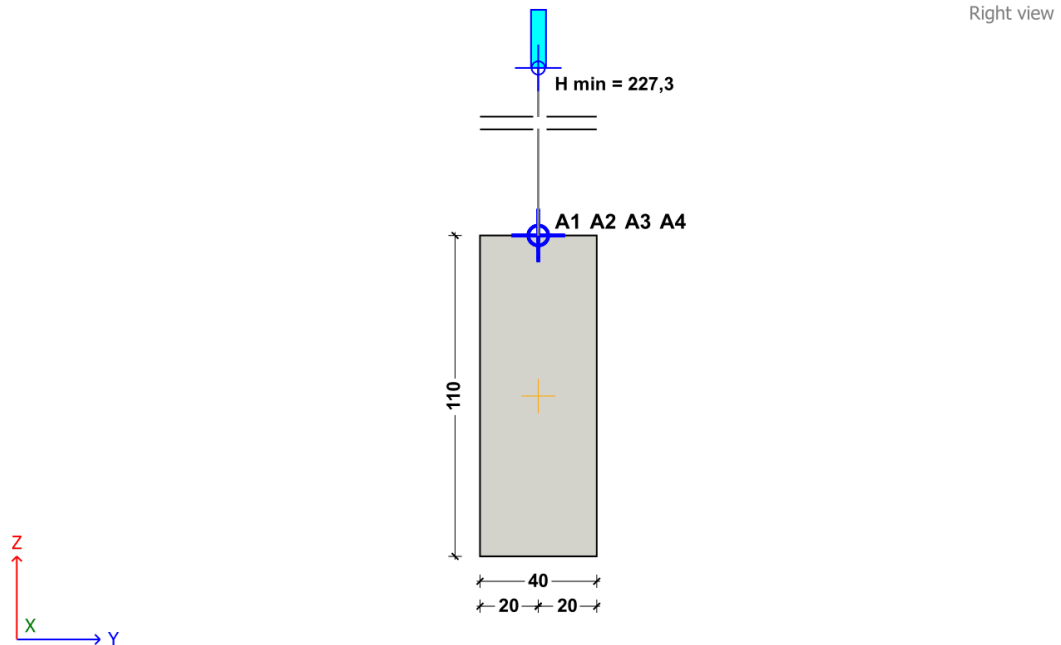
Front view



TPA 3.13.1 - Transport Anchor Systems

Transport | Beam | Rectangular beam

GRAPHICS



CALCULATIONS

Calculation values:

Weight:	173,3 kN
Volume:	6,9 m ³
Center of gravity:	
Sx:	787,5 cm
Sy:	20,0 cm
Sz:	55,0 cm
Adhesion area:	17,3 m ²
Adhesion to the mould:	17,3 kN
Cable inclin. angle:	30,0°
Spread angle factor:	1,15
Impact factor at the plant:	1,30
Impact factor on the site:	1,30
Concrete strength at the plant:	15 N/mm ²
Concrete strength on the site:	15 N/mm ²
Number of loadbearing anchors:	4

Loads:

Total weight:	
Plant - Lift out of the mould:	190,6 kN
Plant - Transport:	225,2 kN
Site - Transport / Installation:	225,2 kN
Forces at anchors (Plant / Site):	
Anchor 1:	65,0 kN / 65,0 kN
Anchor 2:	65,0 kN / 65,0 kN
Anchor 3:	65,0 kN / 65,0 kN
Anchor 4:	65,0 kN / 65,0 kN

General:

Minimum hook height:	227,3 cm
----------------------	----------



Development
Vazník

Project No.
1

Page
3

Pos.
Position 1

TPA 3.13.1 - Transport Anchor Systems

Transport | Beam | Rectangular beam

ANCHOR DETAILS

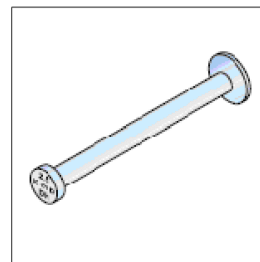
Anchor type: DEHA Spherical-Head Anchor 6000
Selected anchor: 6000-7,5-0540

Reinforcement / Permissible load:

Anchor length l: 540 mm
Minimum beam height B1: 1090 mm
Wall thickness 2 × er: 200 mm
Permissible load for axial pull up to 30° - βw = 15N/mm²: 75 kN
Anchor axial spacing ez: 1630 mm
Main reinforcement both sides: 2 × 188 mm²/m

Anchor details:

Designation (Mill): 6000-7,5-0540
Order No.: 735.010-00052
Load group: 7,5 t
Dimensions
l: 540 mm
d: 24 mm
d1: 46 mm
d2: 60 mm
k: 15 mm
Da: 118 mm



INPUT DATA

Calc.-Norm:	Germany	Positioning type:	Standard
Anchor application:	Transport	Number of anchors:	4
Element to be lifted:	Beam	Positioning mode:	auto
Element type:	Rectangular beam	Symmetry type:	Full symmetrical
Length L [cm]:	1575	Anchor 1:	
Width B [cm]:	40	X [cm]:	263
Thickness D [cm]:	110	Y [cm]:	20
Specific weight [kN/m ³]:	25	Anchor 2:	
Load case group: Precast. plant:	Yes	X [cm]:	525
Load case: Lift out of the mould:		Y [cm]:	20
Concrete strength when lifting out of ... [N/mm ²]:	15	Anchor 3:	
Adhesion force / factor:	1 kN/m ²	X [cm]:	1050
Load case: Transport:		Y [cm]:	20
Concrete strength when lifting out of ... [N/mm ²]:	15	Anchor 4:	
Impact factor:	1,3	X [cm]:	1313
Load case group: Constr. site:	Yes	Y [cm]:	20
Load case: Transport / Installation:		Lifting slings:	Spreader beam
Concrete strength [N/mm ²]:	15	Spreader beam dir.:	X
Impact factor:	1,3	Cable inclin. angle [°]:	30
		Transport Anchor System:	All
		Anchor type:	DEHA Spherical-Head Anchor 6000
		Finish:	Mill

Company: CTU,
Author: Valeriia Kazmina, Tel.:

Date
30.03.2022, 19:43:35

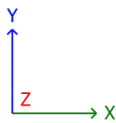
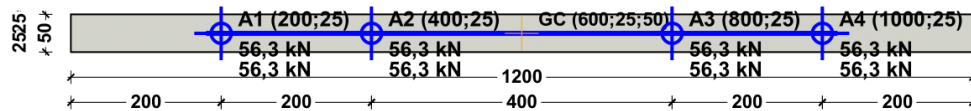
Obr. C.1: Návrh manipulačních úchyťů vazníku

TPA 3.13.1 - Transport Anchor Systems

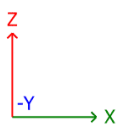
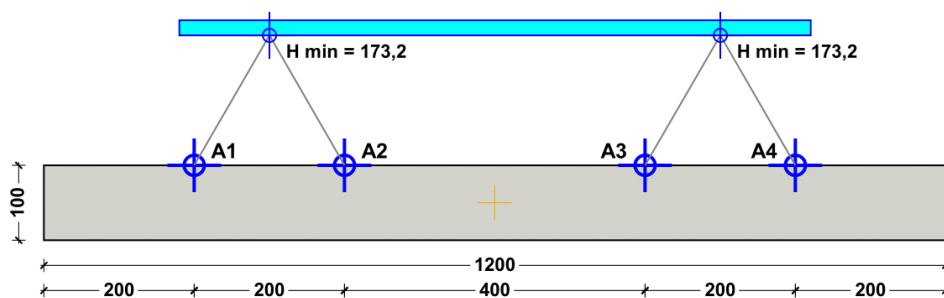
Transport | Beam | Rectangular beam

GRAPHICS

Top view



Front view

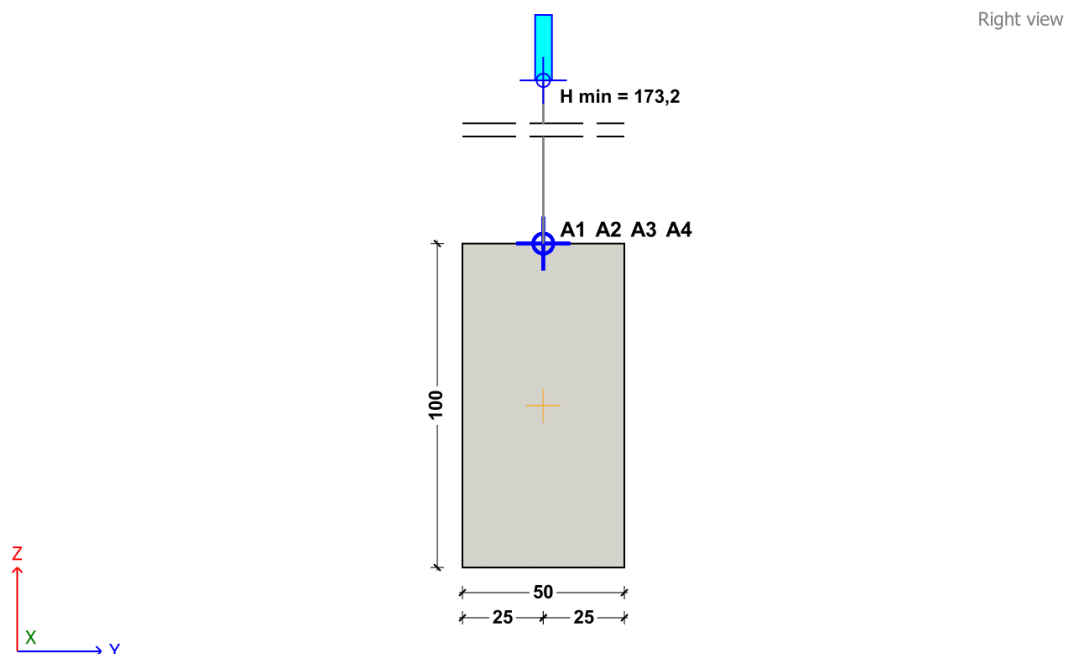


	Development Průvlak	Project No. 2	Page 2
		Pos. Position 2	

TPA 3.13.1 - Transport Anchor Systems

Transport | Beam | Rectangular beam

GRAPHICS



CALCULATIONS

Calculation values:

Weight:	150,0 kN
Volume:	6,0 m ³
Center of gravity:	
Sx:	600,0 cm
Sy:	25,0 cm
Sz:	50,0 cm
Adhesion area:	12,0 m ²
Adhesion to the mould:	12,0 kN
Cable inclin. angle:	30,0°
Spread angle factor:	1,15
Impact factor at the plant:	1,30
Impact factor on the site:	1,30
Concrete strength at the plant:	15 N/mm ²
Concrete strength on the site:	15 N/mm ²
Number of loadbearing anchors:	4

Loads:

Total weight:	
Plant - Lift out of the mould:	162,0 kN
Plant - Transport:	195,0 kN
Site - Transport / Installation:	195,0 kN
Forces at anchors (Plant / Site):	
Anchor 1:	56,3 kN / 56,3 kN
Anchor 2:	56,3 kN / 56,3 kN
Anchor 3:	56,3 kN / 56,3 kN
Anchor 4:	56,3 kN / 56,3 kN

General:

Minimum hook height:	173,2 cm
----------------------	----------

TPA 3.13.1 - Transport Anchor Systems

Transport | Beam | Rectangular beam

ANCHOR DETAILS

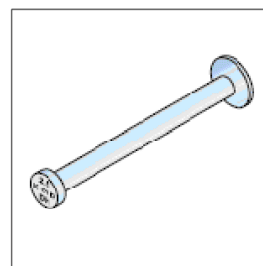
Anchor type: DEHA Spherical-Head Anchor 6000
Selected anchor: 6000-7,5-0300

Reinforcement / Permissible load:

Anchor length l: 300 mm
Minimum beam height B1: 610 mm
Wall thickness 2 × er: 240 mm
Permissible load for axial pull up to 30° - βw = 15N/mm²: 62,2 kN
Anchor axial spacing ez: 910 mm
Main reinforcement both sides: 2 × 188 mm²/m

Anchor details:

Designation (Mill): 6000-7,5-0300
Order No.: 735.010-00051
Load group: 7,5 t
Dimensions
l: 300 mm
d: 24 mm
d1: 46 mm
d2: 60 mm
k: 15 mm
Da: 118 mm



INPUT DATA

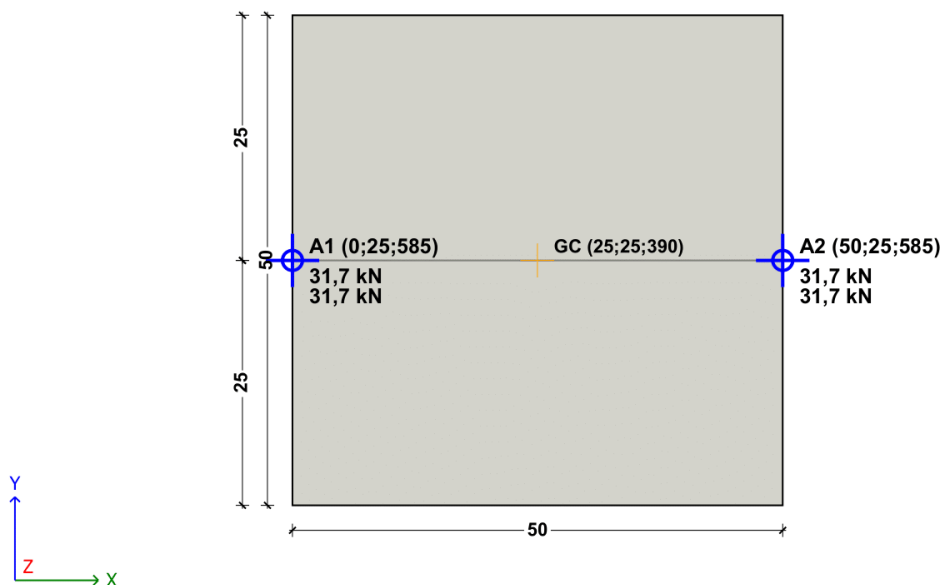
Calc.-Norm:	Germany	Positioning type:	Standard
Anchor application:	Transport	Number of anchors:	4
Element to be lifted:	Beam	Positioning mode:	auto
Element type:	Rectangular beam	Symmetry type:	Full symmetrical
Length L [cm]:	1200	Anchor 1:	
Width B [cm]:	50	X [cm]:	200
Thickness D [cm]:	100	Y [cm]:	25
Specific weight [kN/m ³]:	25	Anchor 2:	
Load case group: Precast. plant:	Yes	X [cm]:	400
Load case: Lift out of the mould:		Y [cm]:	25
Concrete strength when lifting out of ... [N/mm ²]:	15	Anchor 3:	
Adhesion force / factor: 1 kN/m ²		X [cm]:	800
Load case: Transport:		Y [cm]:	25
Concrete strength when lifting out of ... [N/mm ²]:	15	Anchor 4:	
Impact factor: 1,3		X [cm]:	1000
Load case group: Constr. site:	Yes	Y [cm]:	25
Load case: Transport / Installation:		Lifting slings:	Spreader beam
Concrete strength [N/mm ²]: 15		Spreader beam dir.:	X
Impact factor: 1,3		Cable inclin. angle [°]:	30
		Transport Anchor System:	All
		Anchor type:	DEHA Spherical-Head Anchor 6000
		Finish:	Mill

TPA 3.13.1 - Transport Anchor Systems

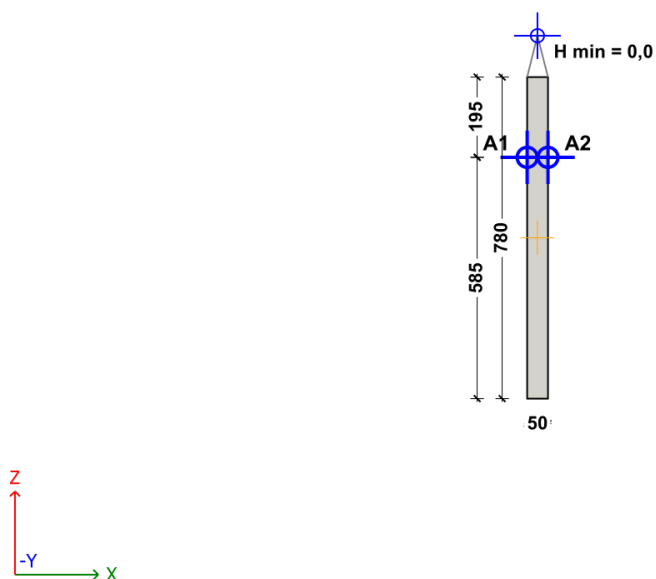
Transport | Column | Column

GRAPHICS

Top view



Front view

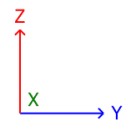
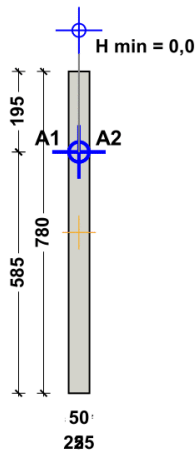


TPA 3.13.1 - Transport Anchor Systems

Transport | Column | Column

GRAPHICS

Right view



CALCULATIONS

Calculation values:

Weight:	48,8 kN
Volume:	2,0 m ³
Center of gravity:	
Sx:	25,0 cm
Sy:	25,0 cm
Sz:	390,0 cm
Adhesion area:	3,9 m ²
Adhesion to the mould:	0,0 kN
Cable inclin. angle:	0,0°
Spread angle factor:	1,00
Impact factor at the plant:	1,30
Impact factor on the site:	1,30
Concrete strength at the plant:	35 N/mm ²
Concrete strength on the site:	35 N/mm ²
Number of loadbearing anchors:	2

Loads:

Total weight:	
Plant - Lift out of the mould:	48,8 kN
Plant - Transport:	63,4 kN
Site - Transport / Installation:	63,4 kN
Forces at anchors (Plant / Site):	
Anchor 1:	31,7 kN / 31,7 kN
Anchor 2:	31,7 kN / 31,7 kN

General:

Minimum hook height:	0,0 cm
----------------------	--------

TPA 3.13.1 - Transport Anchor Systems

Transport | Column | Column

ANCHOR DETAILS

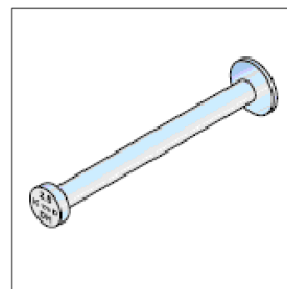
Anchor type: DEHA Spherical-Head Anchor 6000
Selected anchor: 6000- 4,0-0075

Reinforcement / Permissible load:

Anchor length l: 75 mm
 Thickness of plate B2: 165 mm
 Permissible load - $\beta_w = 35\text{N/mm}^2$: 33,9 kN
 Anchor axial spacing ez: 240 mm
 Slot-in link BSt 500 S ds1: $\varnothing 12$ mm
 Slot-in link BSt 500 S dbr1: 30 mm
 Slot-in link BSt 500 S ls1: 1600 mm

Anchor details:

Designation (Mill): 6000- 4,0-0075
 Order No.: 735.010-00023
 Load group: 4 t
 Dimensions
 l: 75 mm
 d: 18 mm
 d1: 36 mm
 d2: 45 mm
 k: 15 mm
 Da: 94 mm
 Anchor axial spacing ez: 240 mm

**INPUT DATA**

Calc.-Norm:	Germany	Impact factor:	1,3
Anchor application:	Transport	Positioning type:	Accross the column
Element to be lifted:	Column	Number of anchors:	2
Element type:	Column	Positioning mode:	auto
		Symmetry type:	Full symmetrical
Length L [cm]:	50	Anchor 1:	
Width B [cm]:	50	X [cm]:	0
Height H [cm]:	780	Y [cm]:	25
		Z [cm]:	585
Specific weight [kN/m ³]:	25	Anchor 2:	
Load case group: Precast. plant:	Yes	X [cm]:	50
Load case: Lift out of the mould:		Y [cm]:	25
Concrete strength when lifting out of ... [N/mm ²]:	35	Z [cm]:	585
Adhesion force / factor:	No adhesion to the mould	Lifting slings:	Cable, Chain
Load case: Transport:		Balance compensator:	No
Concrete strength when lifting out of ... [N/mm ²]:	35	Cable inclin. angle [°]:	30
Impact factor:	1,3	Transport Anchor System:	All
Load case group: Constr. site:	Yes	Anchor type:	DEHA Spherical-Head Anchor 6000
Load case: Transport / Installation:		Finish:	Mill
Concrete strength [N/mm ²]:	35		

Příloha D

Ceníky materiálů



Hubenov 24, 382 42 Kaplice

Ceník betonářské oceli a železářských prací platný od 1.1.2022

Prodej tyčí /R/		Přepočteno Kč/kg					
Průměr [mm]	hmotnost [kg/m]	bez úpravy		střih		střih + ohyb	
		cena bez DPH [Kč/kg]	včetně 21% DPH [Kč/kg]	cena bez DPH [Kč/kg]	včetně 21% DPH [Kč/kg]	cena bez DPH [Kč/kg]	včetně 21% DPH [Kč/kg]
6	0,222	38,4	46,5	40,5	49,0	47,9	58,0
8	0,395	37,0	44,8	39,8	48,2	47,0	56,9
10	0,617	35,6	43,1	38,1	46,1	40,7	49,2
12	0,888	35,3	42,7	37,5	45,4	40,0	48,4
14	1,208	35,3	42,7	37,2	45,0	39,6	47,9
16	1,578	35,3	42,7	37,0	44,8	39,2	47,4
20	2,466	35,3	42,7	37,0	44,8	39,0	47,2
25 a více	3,853 a více	35,3	42,7	37,0	44,8	38,9	47,1

Služby	cena bez DPH [Kč/kg]		včetně 21% DPH [Kč/kg]	
Armokoše	41,0	-	47,0	49,6
Ukládka	6,0	-	9,0	7,3
Vázací drát	45,0		54,5	

Prodej KARI sítí		Přepočteno Kč/kg					
Značení (rozměr sítě [m])	Druh rozteč [mm]; průměr [mm]	bez úpravy		střih		střih + ohyb	
		cena bez DPH [Kč/kg]	včetně 21% DPH [Kč/kg]	cena bez DPH [Kč/kg]	včetně 21% DPH [Kč/kg]	cena bez DPH [Kč/kg]	včetně 21% DPH [Kč/kg]
Q 131 (5x2,15)	150/150; 5/5	38,5	46,6	40,9	49,5	45,8	55,4
Q 188 (5x2,15)	150/150; 6/6	37,5	45,4	40,1	48,5	44,9	54,3
KY 80 (5x2,15)	150/150; 8/8	37,4	45,3	39,4	47,7	-	-
AQ 42 (6x2,40)	100/100; 4/4	39,2	47,4	41,9	50,7	47,2	57,1
AQ 50 (6x2,40)	100/100; 5/5	38,5	46,6	40,9	49,5	45,8	55,4
AQ 60 (6x2,40)	100/100; 6/6	38,8	46,9	40,1	48,5	44,9	54,3

Prodej KARI sítí		Přepočteno Kč/m ²					
Značení (rozměr sítě [m])	Druh rozteč [mm]; průměr [mm]	bez úpravy		střih		střih + ohyb	
		cena bez DPH [Kč/m ²]	včetně 21% DPH [Kč/m ²]	cena bez DPH [Kč/m ²]	včetně 21% DPH [Kč/m ²]	cena bez DPH [Kč/m ²]	včetně 21% DPH [Kč/m ²]
Q 131 (5x2,15)	150/150; 5/5	80,5	97,4	85,5	103,5	95,8	115,9
Q 188 (5x2,15)	150/150; 6/6	112,9	136,6	120,7	146,0	135,1	163,5
KY 80 (5x2,15)	150/150; 8/8	200,5	242,6	211,2	255,5	-	-
AQ 42 (6x2,40)	100/100; 4/4	85,5	103,4	91,3	110,5	102,9	124,5
AQ 50 (6x2,40)	100/100; 5/5	120,9	146,3	128,4	155,4	143,8	174,0
AQ 60 (6x2,40)	100/100; 6/6	172,3	208,4	178,0	215,4	199,4	241,2

Obr. D.1: Ceník oceli

CENÍK BETONOVÝCH SMĚSÍ 2021



platnost od: **01.02.2021**

MANE BETON, a.s.
Okružní 2615, 370 01 České Budějovice
IČO: 28117123 DIČ: CZ28117123
manebeton.cz



VEDENÍ SPOLEČNOSTI
obchod, cenové nabídky

František Bláha, DiS
ředitel

+420 724 032 265
frantisek.blaha@mane.cz

2728/2020

BETONÁRNY

ČESKÉ BUDĚJOVICE Okružní 2615
370 01 České Budějovice
VEDOUcí BETONÁRNY **Merčák Ivan**
+420 724 021 688
objednávky, dispečink

TÝN NAD VLTAVOU Havlíčkova ulice
375 01 Týn nad Vltavou
VEDOUcí BETONÁRNY **Schánělec Zbyněk**
+420 602 166 242
objednávky, dispečink

BETONY PODLE ČSN EN206+A1 A ČSN P 73 2404

Třída betonu	Stupeň vlivu prostředí	Konzistence	Dmax 22		Dmax 4 (potěry)	
			bez DPH	s 21% DPH	bez DPH	s 21% DPH
			<i>Cena Kč / m3</i>			
C-/7,5	X0	S1,S3	1 880	2 275	1 950	2 360
C8/10	X0	S1,S3	1 995	2 414	2 090	2 529
C-/12,5	X0	S1,S3	2 065	2 499	2 230	2 698
C12/15	X0	S1,S3	2 265	2 741	2 310	2 795
C16/20	X0	S1,S3 (S4)	2 350	2 844	2 420	2 928
	XC1	S3 (S4)	2 470	2 989		
C20/25	X0	S1,S3 (S4)	2 460	2 977	2 590	3 134
	XC1	S3 (S4)	2 595	3 140		
	XC2	S3 (S4)	2 650	3 207		
C25/30	X0	S1,S3 (S4)	2 650	3 207	2 690	3 255
	XC1,XC2	S3 (S4)	2 690	3 255		
	XA1,XC3-4,XF1,XD1-2	S3 (S4)	2 710	3 279		
	XA2*	S3 (S4)	2 750	3 328		
C30/37	XF2,XF3	S3 (S4)	2 790	3 376		
	X0	S1,S3 (S4)	2 890	3 497	2 810	3 400
	XA1,XC1-4,XF1,XD1-2	S3 (S4)	2 910	3 521		
	XA2,XA3*	S3 (S4)	2 950	3 570		
C35/45	XF2,3,4	S3 (S4)	2 995	3 624		
	X0	S1,S3 (S4)	2 990	3 618	2 880	3 485
	XA1,XC1-4,XF1,XD1-2	S3 (S4)	3 195	3 866		
	XA2,XA3*	S3 (S4)	3 255	3 939		
	XF2,3,4	S3 (S4)	3 280	3 969		

Obr. D.2: Ceník betonu

Příloha E

Další výstupy z programu

E.1 Výsledky optimalizace vazníku

Délka průvleků [m]	2.864	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300
	3.15	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300
	3.5	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300
	3.938	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300
	4.5	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300
	5.25	200 x 350	200 x 350	200 x 350	200 x 350	200 x 350	200 x 350	200 x 350	200 x 350
	6.3	200 x 450	200 x 450	200 x 450	200 x 450	200 x 450	200 x 450	200 x 450	200 x 450
	7.875	200 x 550	200 x 550	200 x 550	200 x 550	200 x 550	200 x 550	200 x 550	200 x 550
	10.5	250 x 700	250 x 700	250 x 700	250 x 700	250 x 700	250 x 700	250 x 700	250 x 700
	15.75	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050
	17.143	15	13.333	12	10.909	10	9.231	8.571	

Délka vazníků [m]

Délka průvleků [m]	2.864	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300
	3.15	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300
	3.5	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300
	3.938	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300
	4.5	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300
	5.25	200 x 350	200 x 350	200 x 350	200 x 350	200 x 350	200 x 350	200 x 350	200 x 350
	6.3	200 x 450	200 x 450	200 x 450	200 x 450	200 x 450	200 x 450	200 x 450	200 x 450
	7.875	200 x 550	200 x 550	200 x 550	200 x 550	200 x 550	200 x 550	200 x 550	200 x 550
	10.5	250 x 700	250 x 700	250 x 700	250 x 700	250 x 700	250 x 700	250 x 700	250 x 700
	15.75	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050
	8	7.5	7.059	6.667	6.316	6	5.714	5.455	

Délka vazníků [m]

Délka průvleků [m]	2.864	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300
	3.15	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300
	3.5	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300
	3.938	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300
	4.5	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300	200 x 300
	5.25	200 x 350	200 x 350	200 x 350	200 x 350	200 x 350	200 x 350	200 x 350	200 x 350
	6.3	200 x 450	200 x 450	200 x 450	200 x 450	200 x 450	200 x 450	200 x 450	200 x 450
	7.875	200 x 550	200 x 550	200 x 550	200 x 550	200 x 550	200 x 550	200 x 550	200 x 550
	10.5	250 x 700	250 x 700	250 x 700	250 x 700	250 x 700	250 x 700	250 x 700	250 x 700
	15.75	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050	350 x 1050
	5.217	5	4.8	4.615	4.444	4.286	4.138	4	

Délka vazníků [m]

Obr. E.1: Hodnoty průřezových rozměru vazníku [mm x mm]

E. Další výstupy z programu

Délka průvlastků [m]	2.864	4 x R8	4 x R8	4 x R8	3 x R8	3 x R8	3 x R8	3 x R8	3 x R8
	3.15	5 x R8	5 x R8	4 x R8	4 x R8	4 x R8	3 x R8	3 x R8	3 x R8
	3.5	7 x R8	6 x R8	5 x R8	5 x R8	4 x R8	4 x R8	4 x R8	4 x R8
	3.938	6 x R10	5 x R10	7 x R8	6 x R8	6 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8
	4.5	5 x R12	5 x R12	6 x R10	5 x R10	5 x R10	7 x R8	6 x R8	6 x R8
	5.25	4 x R16	5 x R12	5 x R12	6 x R10	6 x R10	5 x R10	5 x R10	7 x R8
	6.3	4 x R16	4 x R14	5 x R12	5 x R12	6 x R10	6 x R10	5 x R10	5 x R10
	7.875	3 x R20	4 x R16	4 x R16	4 x R16	4 x R14	5 x R12	5 x R12	5 x R12
	10.5	4 x R22	4 x R20	4 x R20	4 x R18	5 x R16	6 x R14	6 x R14	6 x R14
	15.75	5 x R25	6 x R22	6 x R22	6 x R22	6 x R20	7 x R18	7 x R18	7 x R18
	17.143	15	13.333	12	10.909	10	9.231	8.571	

Délka vazníků [m]

Délka průvlastků [m]	2.864	3 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8
	3.15	3 x R8	3 x R8	3 x R8	3 x R8	3 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8
	3.5	4 x R8	3 x R8	3 x R8	3 x R8	3 x R8	3 x R8	3 x R8	3 x R8
	3.938	4 x R8	4 x R8	4 x R8	4 x R8	4 x R8	4 x R8	3 x R8	3 x R8
	4.5	6 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8	4 x R8	4 x R8
	5.25	7 x R8	6 x R8	6 x R8	6 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8
	6.3	5 x R10	7 x R8	7 x R8	7 x R8	6 x R8	6 x R8	6 x R8	6 x R8
	7.875	5 x R12	6 x R10	6 x R10	6 x R10	5 x R10	5 x R10	5 x R10	5 x R10
	10.5	7 x R12	7 x R12	7 x R12	6 x R12	6 x R12	6 x R12	8 x R10	8 x R10
	15.75	8 x R16	8 x R16	8 x R16	8 x R16	8 x R16	8 x R16	7 x R16	9 x R14
	8	7.5	7.059	6.667	6.316	6	5.714	5.455	

Délka vazníků [m]

Délka průvlastků [m]	2.864	2 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8
	3.15	2 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8
	3.5	3 x R8	3 x R8	3 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8	2 x R8
	3.938	3 x R8	3 x R8	3 x R8	3 x R8	3 x R8	3 x R8	3 x R8	3 x R8
	4.5	4 x R8	4 x R8	4 x R8	4 x R8	4 x R8	4 x R8	4 x R8	3 x R8
	5.25	5 x R8	5 x R8	5 x R8	4 x R8	4 x R8	4 x R8	4 x R8	4 x R8
	6.3	6 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8
	7.875	5 x R10	7 x R8	7 x R8	7 x R8	7 x R8	7 x R8	6 x R8	6 x R8
	10.5	8 x R10	8 x R10	8 x R10	8 x R10	7 x R10	7 x R10	7 x R10	7 x R10
	15.75	9 x R14	9 x R14	9 x R14	9 x R14	9 x R14	9 x R14	9 x R14	9 x R14
	5.217	5	4.8	4.615	4.444	4.286	4.138	4	

Délka vazníků [m]

Obr. E.2: Hodnoty navržené podélné výztuže ve vazníku

Délka průvlastků [m]	2.864	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190
	3.15	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190
	3.5	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190
	3.938	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190
	4.5	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190
	5.25	2x R8 po 220	2x R8 po 220	2x R8 po 220	2x R8 po 230	2x R8 po 230	2x R8 po 230	2x R8 po 230	2x R8 po 230
	6.3	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300
	7.875	2x R8 po 370	2x R8 po 370	2x R8 po 370	2x R8 po 370	2x R8 po 370	2x R8 po 370	2x R8 po 370	2x R8 po 370
	10.5	2x R8 po 340	2x R8 po 390	2x R8 po 400	2x R8 po 400	2x R8 po 400	2x R8 po 400	2x R8 po 400	2x R8 po 400
	15.75	2x R8 po 280	2x R8 po 310	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 320
	17.143	15	13.333	12	10.909	10	9.231	8.571	
Délka vazníků [m]									

Délka průvlastků [m]	2.864	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190
	3.15	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190
	3.5	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190
	3.938	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190
	4.5	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190
	5.25	2x R8 po 230	2x R8 po 230	2x R8 po 230	2x R8 po 230	2x R8 po 230	2x R8 po 230	2x R8 po 230	2x R8 po 230
	6.3	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300
	7.875	2x R8 po 370	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380
	10.5	2x R8 po 400	2x R8 po 400	2x R8 po 400	2x R8 po 400	2x R8 po 400	2x R8 po 400	2x R8 po 400	2x R8 po 400
	15.75	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 320
	8	7.5	7.059	6.667	6.316	6	5.714	5.455	
Délka vazníků [m]									

Délka průvlastků [m]	2.864	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190
	3.15	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190
	3.5	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190
	3.938	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190
	4.5	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190
	5.25	2x R8 po 230	2x R8 po 230	2x R8 po 230	2x R8 po 230	2x R8 po 230	2x R8 po 230	2x R8 po 230	2x R8 po 230
	6.3	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 300
	7.875	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380
	10.5	2x R8 po 400	2x R8 po 400	2x R8 po 400	2x R8 po 400	2x R8 po 400	2x R8 po 400	2x R8 po 400	2x R8 po 400
	15.75	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 320
	5.217	5	4.8	4.615	4.444	4.286	4.138	4	
Délka vazníků [m]									

Obr. E.3: Hodnoty navržené příčné výztuže ve vazníku

E.2 Výsledky optimalizace průvlaku

Délka průvlastků [m]	2.864	750 x 1450	650 x 1250	600 x 1150	500 x 1000	500 x 950	450 x 850	400 x 800	400 x 750
	3.15	750 x 1450	650 x 1250	600 x 1150	500 x 1000	500 x 950	450 x 850	400 x 800	400 x 750
	3.5	750 x 1450	650 x 1250	600 x 1150	500 x 1000	500 x 950	450 x 850	400 x 800	400 x 750
	3.938	750 x 1450	650 x 1250	600 x 1150	500 x 1000	500 x 950	450 x 850	400 x 800	400 x 750
	4.5	750 x 1450	650 x 1250	600 x 1150	500 x 1000	500 x 950	450 x 850	400 x 800	400 x 750
	5.25	750 x 1450	650 x 1250	600 x 1150	500 x 1000	500 x 950	450 x 850	400 x 800	400 x 750
	6.3	750 x 1450	650 x 1250	600 x 1150	500 x 1000	500 x 950	450 x 850	400 x 800	400 x 750
	7.875	750 x 1450	650 x 1250	600 x 1150	500 x 1000	500 x 950	450 x 850	400 x 800	400 x 750
	10.5	750 x 1450	650 x 1250	600 x 1150	500 x 1000	500 x 950	450 x 850	400 x 800	400 x 750
	15.75	750 x 1450	650 x 1250	600 x 1150	500 x 1000	500 x 950	450 x 850	400 x 800	400 x 750
	17.143	15	13.333	12	10.909	10	9.231	8.571	

Délka vazníků [m]

Délka průvlastků [m]	2.864	350 x 700	350 x 650	300 x 600	300 x 600	300 x 550	250 x 500	250 x 500	250 x 500
	3.15	350 x 700	350 x 650	300 x 600	300 x 600	300 x 550	250 x 500	250 x 500	250 x 500
	3.5	350 x 700	350 x 650	300 x 600	300 x 600	300 x 550	250 x 500	250 x 500	250 x 500
	3.938	350 x 700	350 x 650	300 x 600	300 x 600	300 x 550	250 x 500	250 x 500	250 x 500
	4.5	350 x 700	350 x 650	300 x 600	300 x 600	300 x 550	250 x 500	250 x 500	250 x 500
	5.25	350 x 700	350 x 650	300 x 600	300 x 600	300 x 550	250 x 500	250 x 500	250 x 500
	6.3	350 x 700	350 x 650	300 x 600	300 x 600	300 x 550	250 x 500	250 x 500	250 x 500
	7.875	350 x 700	350 x 650	300 x 600	300 x 600	300 x 550	250 x 500	250 x 500	250 x 500
	10.5	350 x 700	350 x 650	300 x 600	300 x 600	300 x 550	250 x 500	250 x 500	250 x 500
	15.75	350 x 700	350 x 650	300 x 600	300 x 600	300 x 550	250 x 650	250 x 550	250 x 550
	8	7.5	7.059	6.667	6.316	6	5.714	5.455	

Délka vazníků [m]

Délka průvlastků [m]	2.864	250 x 450	250 x 450	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 350	200 x 350
	3.15	250 x 450	250 x 450	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 350	200 x 350
	3.5	250 x 450	250 x 450	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 350	200 x 350
	3.938	250 x 450	250 x 450	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 350	200 x 350
	4.5	250 x 450	250 x 450	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 350	200 x 350
	5.25	250 x 450	250 x 450	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 350	200 x 350
	6.3	250 x 450	250 x 450	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 350	200 x 350
	7.875	250 x 450	250 x 450	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 350	200 x 350
	10.5	250 x 450	250 x 450	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 400	200 x 350	200 x 350
	15.75	250 x 550	250 x 500	200 x 550	200 x 550	200 x 550	200 x 550	200 x 500	200 x 500
	5.217	5	4.8	4.615	4.444	4.286	4.138	4	

Délka vazníků [m]

Obr. E.4: Hodnoty průřezových rozměru průvlaku [mm x mm]

Délka průvlastků [m]	2.864	24 x R12	25 x R10	29 x R8	22 x R8	18 x R8	15 x R8	13 x R8	11 x R8
	3.15	25 x R12	25 x R10	30 x R8	22 x R8	19 x R8	16 x R8	13 x R8	12 x R8
	3.5	25 x R12	26 x R10	20 x R10	23 x R8	20 x R8	16 x R8	14 x R8	12 x R8
	3.938	26 x R12	19 x R12	20 x R10	16 x R10	21 x R8	17 x R8	14 x R8	13 x R8
	4.5	20 x R14	19 x R12	21 x R10	17 x R10	22 x R8	18 x R8	15 x R8	14 x R8
	5.25	21 x R14	20 x R12	23 x R10	18 x R10	24 x R8	20 x R8	17 x R8	16 x R8
	6.3	22 x R14	22 x R12	17 x R12	14 x R12	17 x R10	15 x R10	13 x R10	18 x R8
	7.875	18 x R16	18 x R14	20 x R12	16 x R12	14 x R12	12 x R12	11 x R12	14 x R10
	10.5	17 x R18	14 x R18	14 x R16	12 x R16	14 x R14	10 x R16	11 x R14	10 x R14
	15.75	10 x R28	9 x R28	9 x R25	7 x R28	8 x R25	6 x R28	5 x R32	4 x R32
	17.143	15	13.333	12	10.909	10	9.231	8.571	

Délka vazníků [m]

Délka průvlastků [m]	2.864	10 x R8	9 x R8	8 x R8	7 x R8	7 x R8	6 x R8	6 x R8	5 x R8
	3.15	10 x R8	9 x R8	8 x R8	7 x R8	7 x R8	7 x R8	6 x R8	6 x R8
	3.5	11 x R8	10 x R8	9 x R8	8 x R8	8 x R8	7 x R8	7 x R8	6 x R8
	3.938	11 x R8	11 x R8	9 x R8	9 x R8	8 x R8	8 x R8	7 x R8	7 x R8
	4.5	12 x R8	11 x R8	10 x R8	9 x R8	9 x R8	9 x R8	8 x R8	7 x R8
	5.25	14 x R8	13 x R8	12 x R8	11 x R8	10 x R8	10 x R8	9 x R8	8 x R8
	6.3	16 x R8	15 x R8	9 x R10	13 x R8	12 x R8	8 x R10	7 x R10	7 x R10
	7.875	13 x R10	12 x R10	8 x R12	7 x R12	7 x R12	7 x R12	7 x R12	6 x R12
	10.5	8 x R16	9 x R14	6 x R18	5 x R18	5 x R18	4 x R22	4 x R20	4 x R20
	15.75	4 x R32	4 x R32	10 x R22	10 x R22	10 x R22	3 x R32	6 x R28	8 x R22
	8	7.5	7.059	6.667	6.316	6	5.714	5.455	

Délka vazníků [m]

Délka průvlastků [m]	2.864	5 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8	4 x R8	4 x R8	4 x R8	4 x R8
	3.15	6 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8	4 x R8	5 x R8	4 x R8
	3.5	6 x R8	6 x R8	6 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8
	3.938	7 x R8	6 x R8	6 x R8	6 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8	5 x R8
	4.5	7 x R8	7 x R8	7 x R8	6 x R8	6 x R8	6 x R8	6 x R8	6 x R8
	5.25	9 x R8	8 x R8	5 x R10	5 x R10	7 x R8	7 x R8	5 x R10	7 x R8
	6.3	7 x R10	10 x R8	5 x R12	5 x R12	6 x R10	6 x R10	6 x R10	6 x R10
	7.875	6 x R12	6 x R12	4 x R16	4 x R16	4 x R14	5 x R12	4 x R16	4 x R14
	10.5	4 x R20	4 x R20	2 x R28	3 x R22	3 x R22	3 x R22	2 x R28	3 x R22
	15.75	3 x R32	8 x R22	4 x R28	6 x R22	6 x R22	6 x R22	6 x R22	6 x R22
	5.217	5	4.8	4.615	4.444	4.286	4.138	4	

Délka vazníků [m]

Obr. E.5: Hodnoty navržené podélné výztuže v průvlastku

E. Další výstupy z programu

Délka průvlaků [m]	2.864	2x R8 po 150	2x R8 po 170	2x R8 po 190	2x R8 po 220	2x R8 po 220	2x R8 po 250	2x R8 po 280	2x R8 po 280
	3.15	2x R8 po 150	2x R8 po 170	2x R8 po 190	2x R8 po 220	2x R8 po 220	2x R8 po 250	2x R8 po 280	2x R8 po 280
	3.5	2x R8 po 150	2x R8 po 170	2x R8 po 190	2x R8 po 220	2x R8 po 220	2x R8 po 250	2x R8 po 280	2x R8 po 280
	3.938	2x R8 po 150	2x R8 po 170	2x R8 po 190	2x R8 po 220	2x R8 po 220	2x R8 po 250	2x R8 po 280	2x R8 po 280
	4.5	2x R8 po 150	2x R8 po 170	2x R8 po 190	2x R8 po 220	2x R8 po 220	2x R8 po 250	2x R8 po 280	2x R8 po 280
	5.25	2x R8 po 150	2x R8 po 170	2x R8 po 190	2x R8 po 220	2x R8 po 220	2x R8 po 250	2x R8 po 280	2x R8 po 280
	6.3	2x R8 po 150	2x R8 po 170	2x R8 po 190	2x R8 po 220	2x R8 po 220	2x R8 po 250	2x R8 po 280	2x R8 po 280
	7.875	2x R8 po 150	2x R8 po 170	2x R8 po 190	2x R8 po 220	2x R8 po 220	2x R8 po 250	2x R8 po 280	2x R8 po 280
	10.5	2x R8 po 150	2x R8 po 170	2x R8 po 190	2x R8 po 220	2x R8 po 220	2x R8 po 250	2x R8 po 280	2x R8 po 280
	15.75	2x R8 po 150	2x R8 po 170	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 200	2x R8 po 190	2x R8 po 190	2x R8 po 190
	17.143	15	13.333	12	10.909	10	9.231	8.571	

Délka vazníků [m]

Délka průvlaků [m]	2.864	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 340	2x R8 po 340	2x R8 po 340
	3.15	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 340	2x R8 po 340	2x R8 po 340
	3.5	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 340	2x R8 po 340	2x R8 po 340
	3.938	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 340	2x R8 po 340	2x R8 po 340
	4.5	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 340	2x R8 po 340	2x R8 po 340
	5.25	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 340	2x R8 po 340	2x R8 po 340
	6.3	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 340	2x R8 po 340	2x R8 po 340
	7.875	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 380	2x R8 po 340	2x R8 po 340	2x R8 po 340
	10.5	2x R8 po 320	2x R8 po 320	2x R8 po 360	2x R8 po 380	2x R8 po 360	2x R8 po 330	2x R8 po 330	2x R8 po 330
	15.75	2x R8 po 180	2x R8 po 170	2x R8 po 140	2x R8 po 140	2x R8 po 130	2x R8 po 190	2x R8 po 120	2x R8 po 140
	8	7.5	7.059	6.667	6.316	6	5.714	5.455	

Délka vazníků [m]

Délka průvlaků [m]	2.864	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 230	2x R8 po 230
	3.15	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 230	2x R8 po 230
	3.5	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 230	2x R8 po 230
	3.938	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 230	2x R8 po 230
	4.5	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 230	2x R8 po 230
	5.25	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 230	2x R8 po 230
	6.3	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 230	2x R8 po 230
	7.875	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 220	2x R8 po 220
	10.5	2x R8 po 300	2x R8 po 300	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 260	2x R8 po 220	2x R8 po 220
	15.75	2x R8 po 160	2x R8 po 120	2x R8 po 140	2x R8 po 160	2x R8 po 160	2x R8 po 160	2x R8 po 140	2x R8 po 140
	5.217	5	4.8	4.615	4.444	4.286	4.138	4	

Délka vazníků [m]

Obr. E.6: Hodnoty navržené příčné výztuže v průvlaků

E.3 Výsledky optimalizace sloupu

Délka průvliaků [m]	2.864	300 x 300	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	3.15	300 x 300	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	3.5	300 x 300	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	3.938	300 x 300	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	4.5	300 x 300	300 x 300	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	5.25	350 x 350	300 x 300	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	6.3	350 x 350	300 x 300	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	7.875	350 x 350	300 x 300	300 x 300	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	10.5	400 x 400	350 x 350	300 x 300	300 x 300	300 x 300	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	15.75	450 x 450	400 x 400	400 x 400	400 x 400	350 x 350	350 x 350	350 x 350	350 x 350
	17.143	15	13.333	12	10.909	10	9.231	8.571	

Délka vazníků [m]

Délka průvliaků [m]	2.864	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	3.15	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	3.5	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	3.938	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	4.5	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	5.25	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	6.3	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	7.875	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	10.5	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	15.75	350 x 350	300 x 300	300 x 300	300 x 300	300 x 300	300 x 300	300 x 300	300 x 300
	8	7.5	7.059	6.667	6.316	6	5.714	5.455	

Délka vazníků [m]

Délka průvliaků [m]	2.864	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	3.15	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	3.5	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	3.938	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	4.5	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	5.25	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	6.3	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	7.875	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	10.5	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250	250 x 250
	15.75	300 x 300	300 x 300	300 x 300	300 x 300	300 x 300	300 x 300	300 x 300	300 x 300
	5.217	5	4.8	4.615	4.444	4.286	4.138	4	

Délka vazníků [m]

Obr. E.7: Hodnoty průřezových rozměru sloupu [mm x mm]

Délka průvlastků [m]	2.864	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	3.15	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	3.5	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	3.938	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	4.5	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	5.25	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	6.3	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	7.875	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	10.5	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	15.75	8 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	17.143	15	13.333	12	10.909	10	9.231	8.571	

Délka vazníků [m]

Délka průvlastků [m]	2.864	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	3.15	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	3.5	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	3.938	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	4.5	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	5.25	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	6.3	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	7.875	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	10.5	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	15.75	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	8	7.5	7.059	6.667	6.316	6	5.714	5.455	

Délka vazníků [m]

Délka průvlastků [m]	2.864	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	3.15	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	3.5	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	3.938	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	4.5	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	5.25	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	6.3	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	7.875	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	10.5	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	15.75	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12	4 x R12
	5.217	5	4.8	4.615	4.444	4.286	4.138	4	

Délka vazníků [m]

Obr. E.8: Hodnoty navržené podélné výztuže v sloupu

Délka průvlastků [m]	2.864	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	3.15	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	3.5	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	3.938	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	4.5	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	5.25	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	6.3	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	7.875	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	10.5	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	15.75	4x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	17.143	15	13.333	12	10.909	10	9.231	8.571	
Délka vazníků [m]									

Délka průvlastků [m]	2.864	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	3.15	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	3.5	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	3.938	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	4.5	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	5.25	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	6.3	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	7.875	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	10.5	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	15.75	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	8	7.5	7.059	6.667	6.316	6	5.714	5.455	
Délka vazníků [m]									

Délka průvlastků [m]	2.864	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	3.15	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	3.5	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	3.938	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	4.5	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	5.25	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	6.3	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	7.875	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	10.5	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	15.75	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180	2x R8 po 180
	5.217	5	4.8	4.615	4.444	4.286	4.138	4	
Délka vazníků [m]									

Obr. E.9: Hodnoty navržené příčné výztuže v sloupu

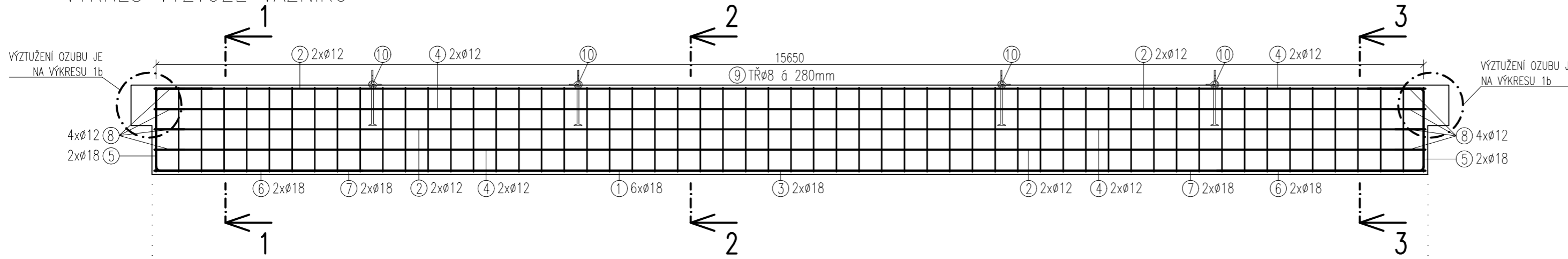
Příloha F

Výkresy

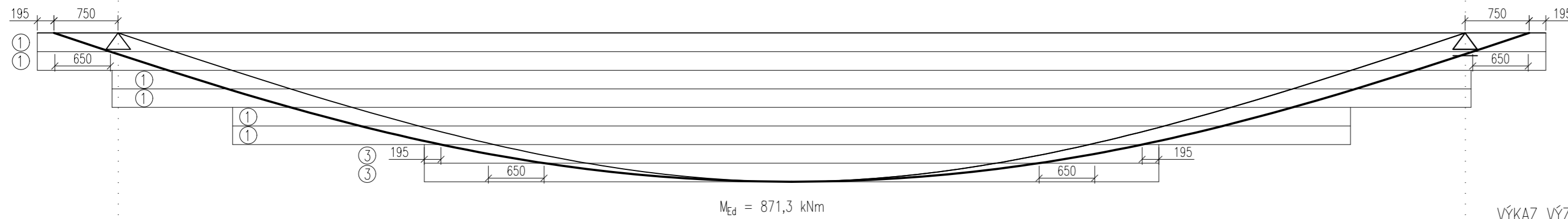
Výkresová dokumentace je přiložena na samostatných výkresech. Součástí výkresové dokumentace jsou následující výkresy.

- Výkres výztuže navrženého vazníku
- Výkres výztuže ozubu vazníku
- Výkres výztuže navrženého průvlastu
- Výkres výztuže navrženého sloupu
- Výkres výztuže optimalizovaného vazníku
- Výkres výztuže optimalizovaného průvlastu
- Výkres výztuže optimalizovaného sloupu

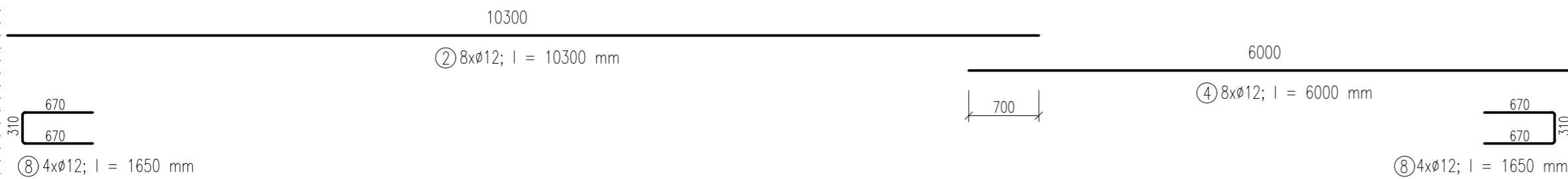
VÝKRES VÝZTUŽE VAZNÍKU



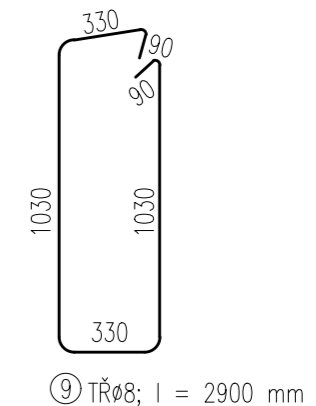
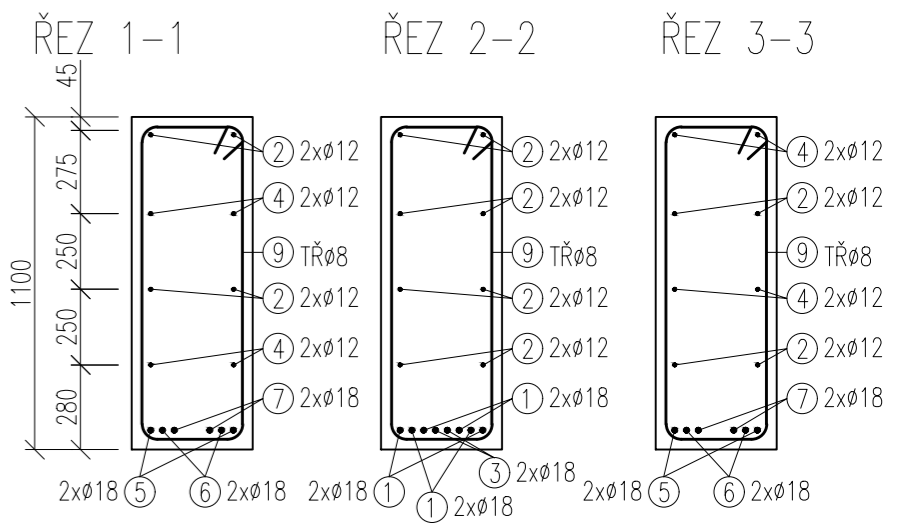
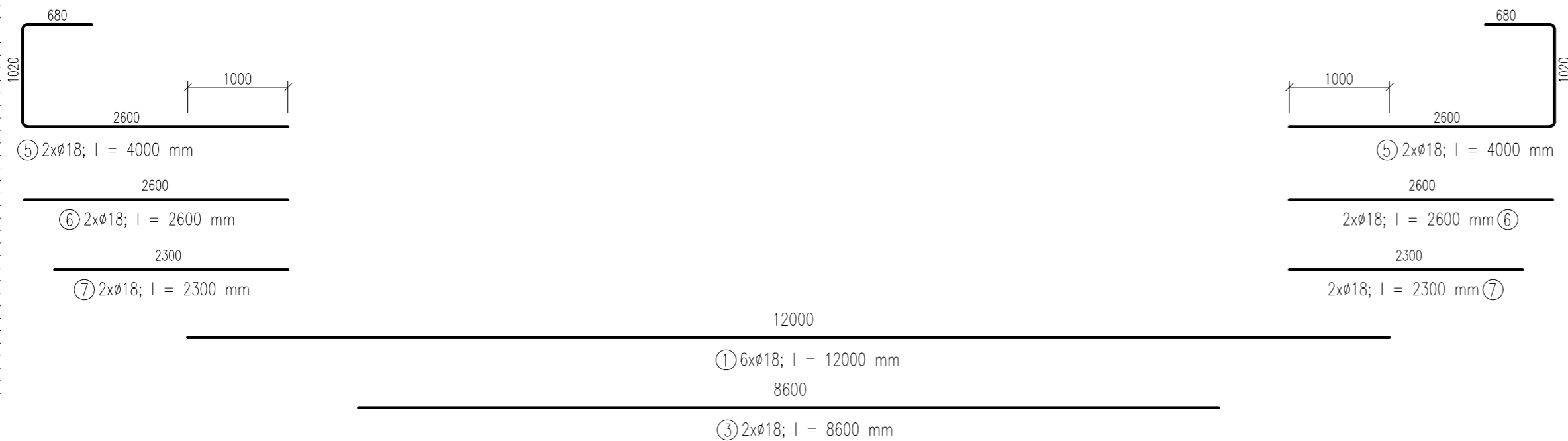
OBÁLKA MOMENTU



HORNÍ A STŘEDNÍ VRSTVA VÝZTUŽE



DOLNÍ VRSTVA VÝZTUŽE



VÝKAZ VÝZTUŽE

Pol.	Profil	Délka [mm]	ks	Délka celkem [m]			
				φ 8	φ 12	φ 18	
1	18	12000	6			72	
2	12	10300	8		82,4		
3	18	8600	2			17,2	
4	12	6000	8		48		
5	18	4000	4			16	
6	18	2600	4			10,4	
7	18	2300	4			9,2	
8	12	1650	8		13,2		
9	8	2900	56	162,4			
Celková délka [m]					162,4	143,6	124,8
Hmotnost [kg]					64,1	127,5	249,3
Celková hmotnost [kg]					440,9		

MANIPULAČNÍ ÚCHYTY

Pol.	Typ	Počet
10	Kotva DEHA s kulovou hlavou a okem 6000-7,5-0540	4

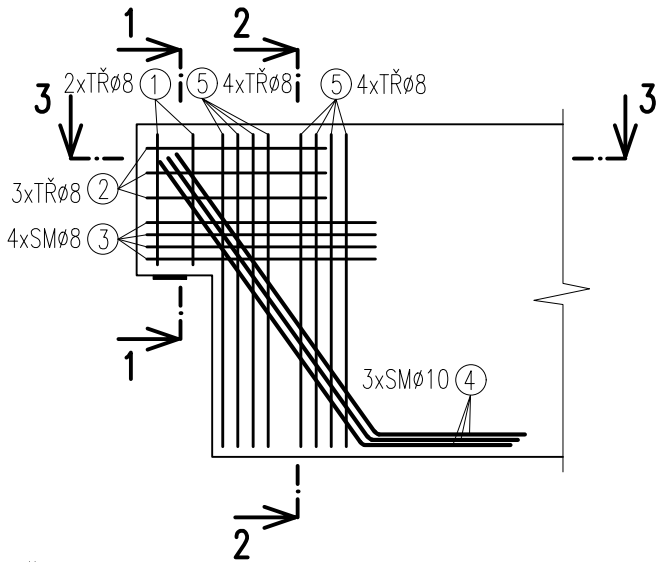
POZNÁMKY:

- KÓTOVÁNO V [mm]
- PRUTY JSOU KÓTOVÁNY NA OSU
- POSUN OBÁLKY: a = 750 mm
- KOTEVNÍ DÉLKY: φ12 - L = 435 mm
φ18 - L = 660 mm
- STYKOVACÍ DÉLKY: φ12 - L = 653 mm
φ18 - L = 990 mm

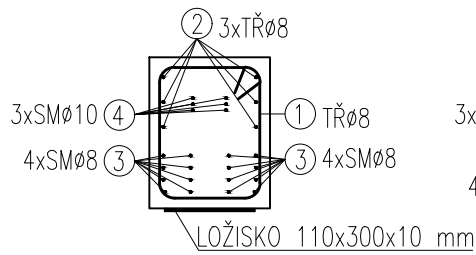
BETON: C30/37 XC2 - CI 0,2 - D_{max}16 - S4
 BETONÁŘSKÁ OCEL: B500 B
 KRYTÍ VÝZTUŽE c = 30 mm

Zpracoval	Valeria Kazmina	Školní rok	2021/ 2022	Fakulta stavební ČVUT
Předmět	133BAPC	Datum	03/2022	
Úloha	Železobetonová skladovací hala	Formát	3x4	Měřítko 1:50, 1:25 Číslo výkresu 1a
Výkres	Výkres výztuže vazníku			

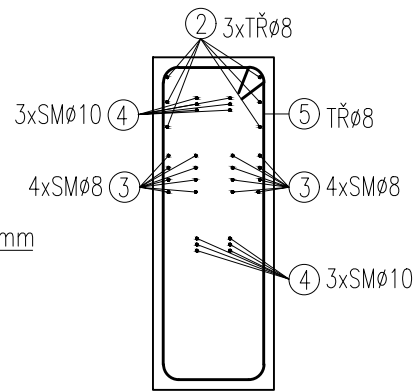
VÝKRES VÝZTUŽE OZUBU



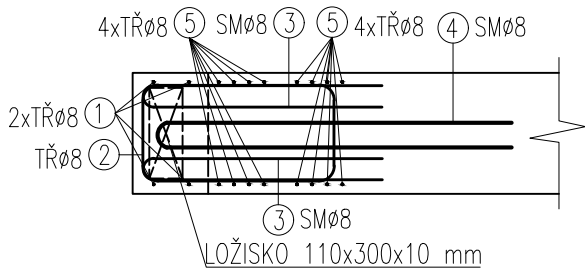
ŘEZ 1-1



ŘEZ 2-2



ŘEZ 3-3



VÝKAZ VÝZTUŽE OZUBŮ VAZNÍKU

Pol.	Profil	Délka [mm]	ks	Délka celkem [m]	
				ø 8	ø 10
1	8	1700	4	6,8	
2	8	2050	6	12,3	
3	8	1600	16	25,6	
4	10	3450	6		20,7
5	8	2900	16	46,6	
Celková délka [m]				91,3	20,7
Hmotnost [kg]				36	12,8
Celková hmotnost [kg]				48,8	

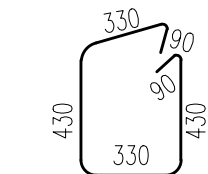
POZNÁMKY:

- KÓTOVÁNO V [mm]
- PRUTY JSOU KÓTOVÁNY NA OSU
- NA TOMTO VÝKRESU ZNAZORNĚNA POUZE VÝZTUŽ OZUBU (VÝZTUŽ VAZNÍKU VIZ VÝKRES 1a)
- TENTO DETAIL PLATÍ PRO OBA OZUBY VAZNÍKU
- VÝKAZ VÝZTUŽE JE PRO OBA OZUBY JEDNOHO VAZNÍKU

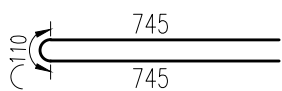
BETON: C30/37 XC2 - CI 0,2 - D_{max}16 - S4

BETONÁŘSKÁ OCEL: B500 B

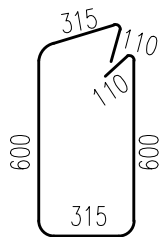
KRYTÍ VÝZTUŽE c = 30 mm



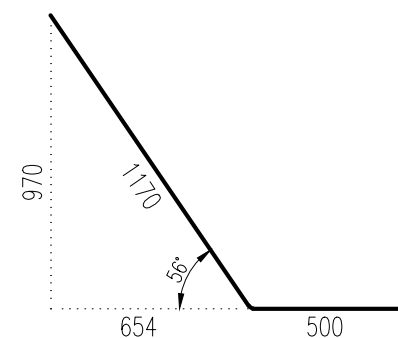
① TŘØ8; l = 1700 mm



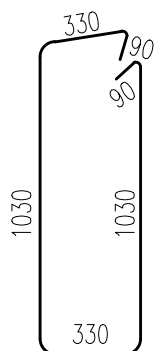
③ SMØ8; l = 1600 mm



② TŘØ8; l = 2050 mm



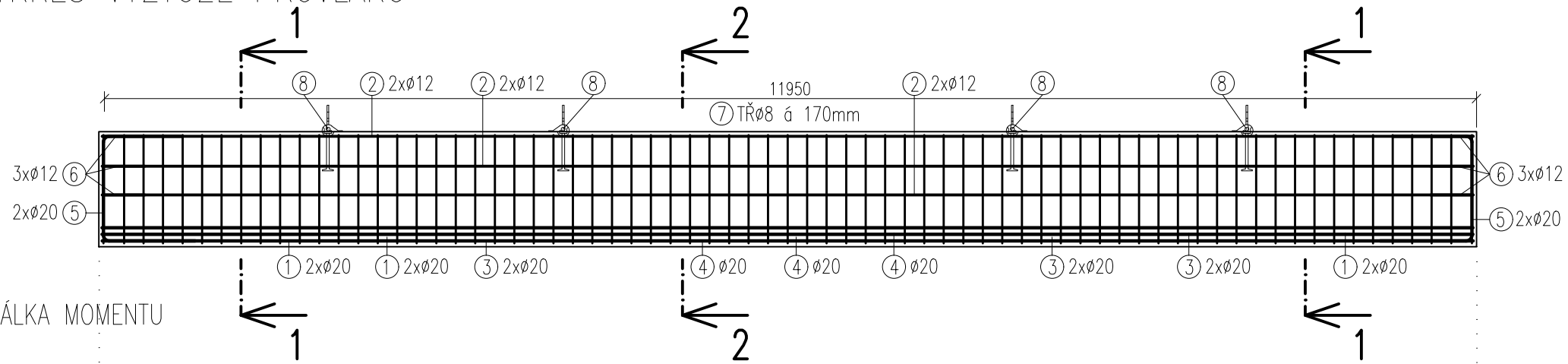
④ SMØ10; l = 3450 mm



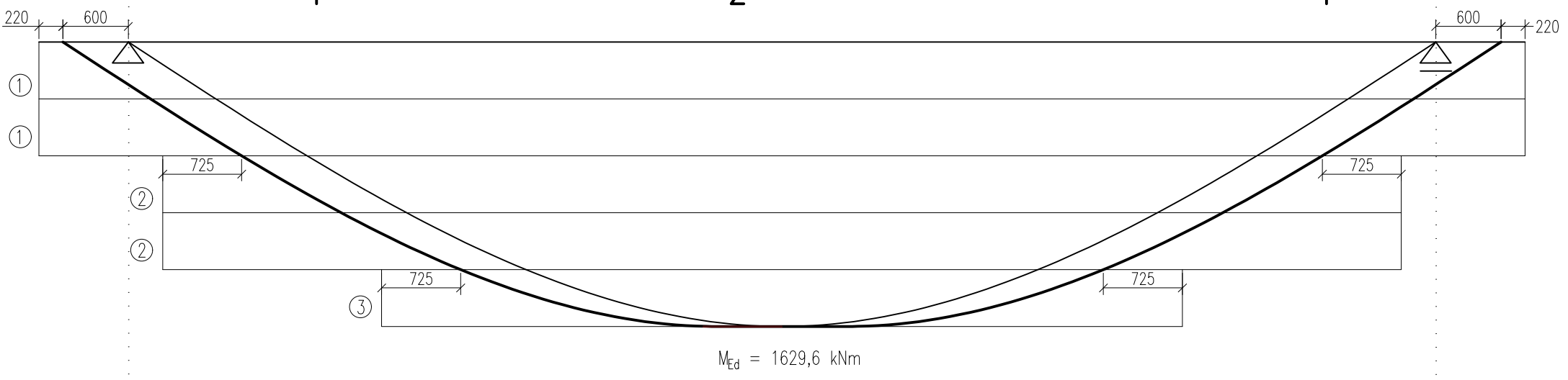
⑤ TŘØ8; l = 2900 mm

Zpracoval Valeria Kazmina	Školní rok 2021/ 2022	Fakulta stavební ČVUT	
Předmět 133BAPC		Datum 04/2022	
Úloha Železobetonová skladovací hala		Formát A4	
Výkres Výkres výztuže ozubu vazníku		Měřítko 1:30	
		Číslo výkresu 1b	

VÝKRES VÝZTUŽE PRŮVLAKU

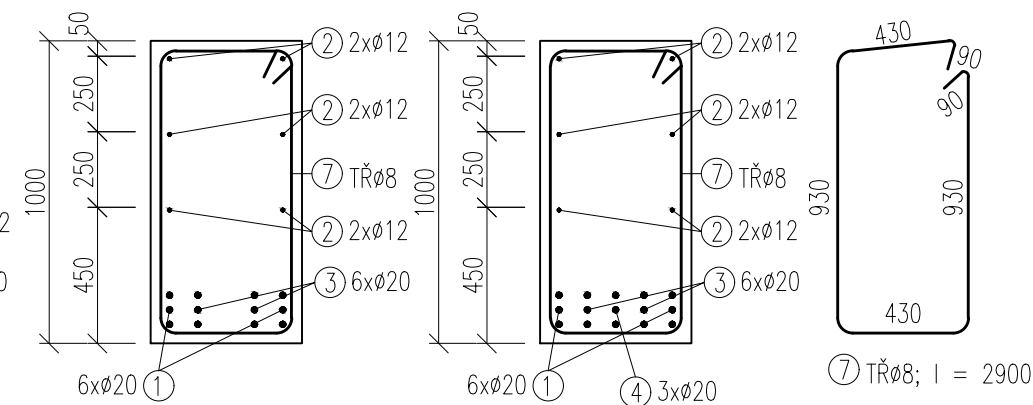


OBÁLKA MOMENTU



ŘEZ 1-1

ŘEZ 2-2



VÝKAZ VÝZTUŽE

Pol.	Profil	Délka [mm]	ks	Délka celkem [m]			
				φ 8	φ 12	φ 20	
1	20	11900	6			71,4	
2	12	11900	6		71,4		
3	20	11300	6			67,8	
4	20	7400	3			22,2	
5	20	3250	4			13	
6	12	1750	6		10,5		
7	8	2900	70	203			
Celková délka [m]					203	81,9	174,4
Hmotnost [kg]					80,1	72,7	430,1
Celková hmotnost [kg]						582,9	

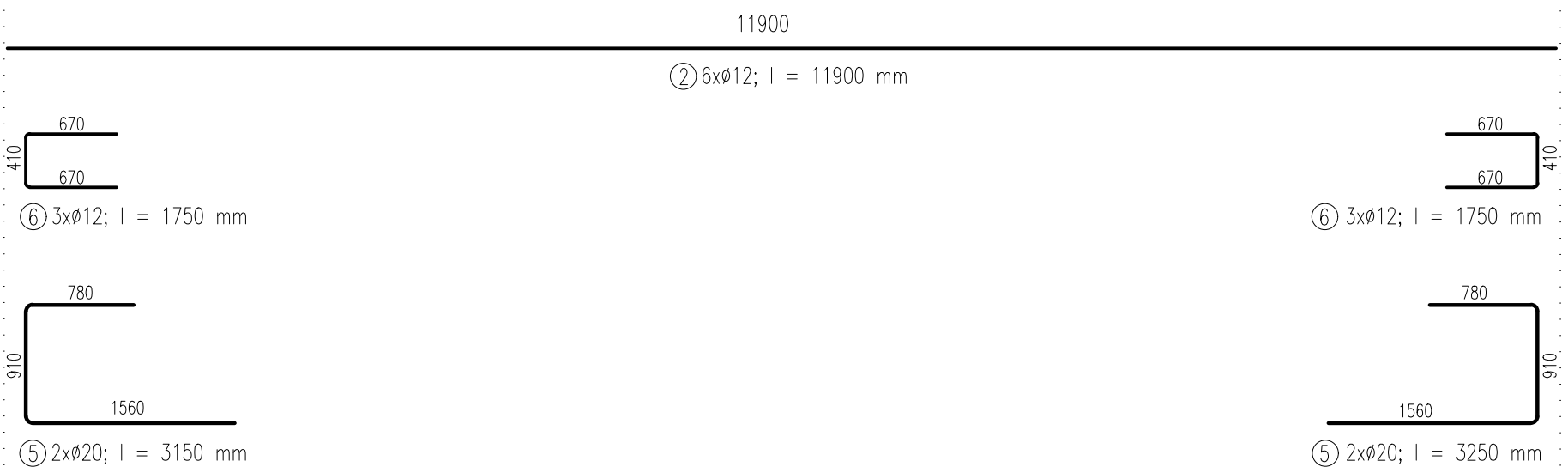
MANIPULAČNÍ ÚCHYTY

Pol.	Typ	Počet
8	Kotva DEHA s kulovou hlavou a okem 6000-7,5-0300	4

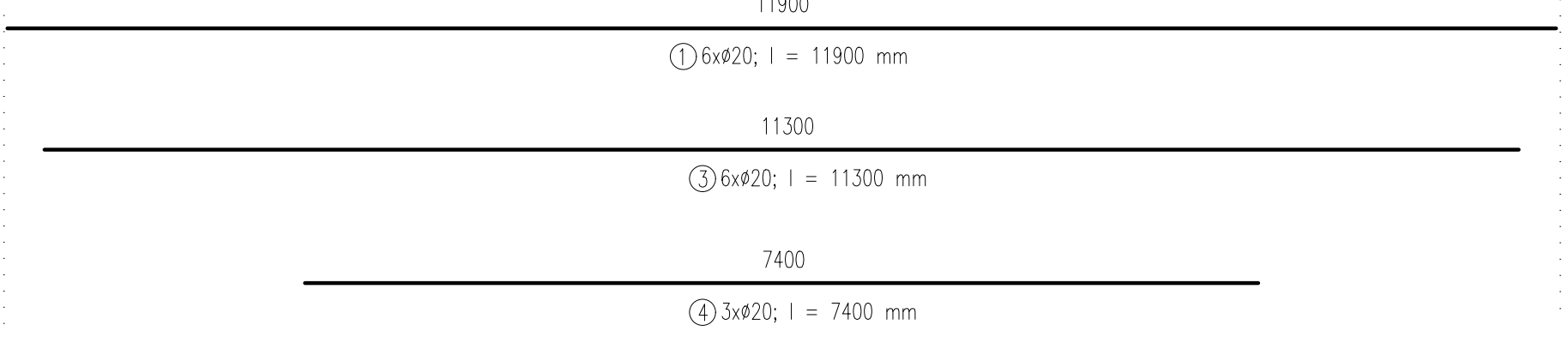
POZNÁMKY:

- KÓTOVANO V [mm]
- PRUTY JSOU KÓTOVÁNY NA OSU
- POSUN OBÁLKY: $a = 600$ mm
- KOTEVNÍ DÉLKY: $\phi 12 - L = 435$ mm
 $\phi 20 - L = 725$ mm
- STYKOVACÍ DÉLKY: $\phi 12 - L = 653$ mm
 $\phi 20 - L = 1485$ mm
- BETON: C30/37 XC2 - CI 0,2 - $D_{max} 16$ - S4
- BETONÁŘSKÁ OCEL: B500 B
- KRYTÍ VÝZTUŽE $c = 30$ mm

HORNÍ A STŘEDNÍ VRSTVA VÝZTUŽE

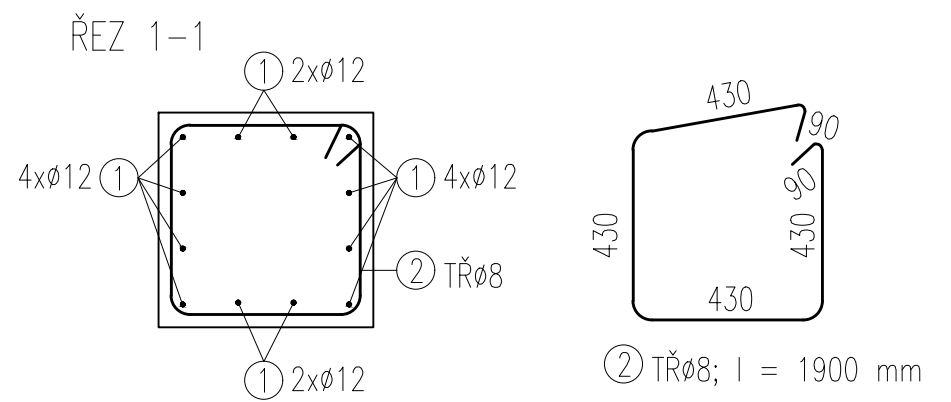
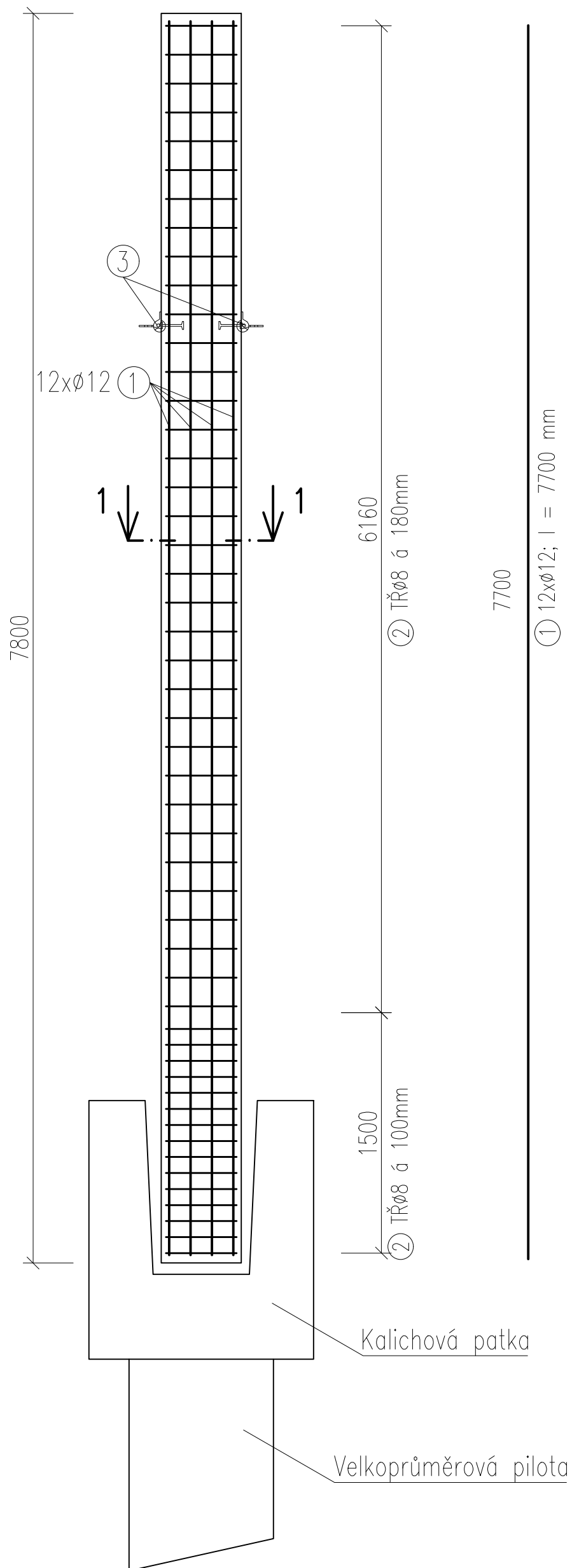


DOLNÍ VRSTVA VÝZTUŽE



Zpracoval	Valeriia Kazmina	Školní rok	2021/ 2022	Fakulta stavební	
Předmět	133BAPC			ČVUT	
Úloha	Železobetonová skladovací hala	Datum	03/2022		
Výkres	Výkres výztuže průvlaku	Formát	2xA4		
		Měřítko	1:50,1:25		
				Číslo výkresu	2

VÝKRES VÝZTUŽE SLOUPU



VÝKAZ VÝZTUŽE

Pol.	Profil	Délka [mm]	ks	Délka celkem [m]		
				Ø 8	Ø 12	
1	12	7700	12		92,4	
2	8	1900	50	89,3		
Celková délka [m]					89,3	92,4
Hmotnost [kg]					35,2	82,1
Celková hmotnost [kg]					117,3	

MANIPULAČNÍ ÚCHYTY

Pol.	Typ	Počet
3	Kotva DEHA s kulovou hlavou a okem 6000-4,0-0075	2

POZNÁMKY:

- KÓTOVÁNO V [mm]
- PRUTY JSOU KÓTOVÁNY NA OSU

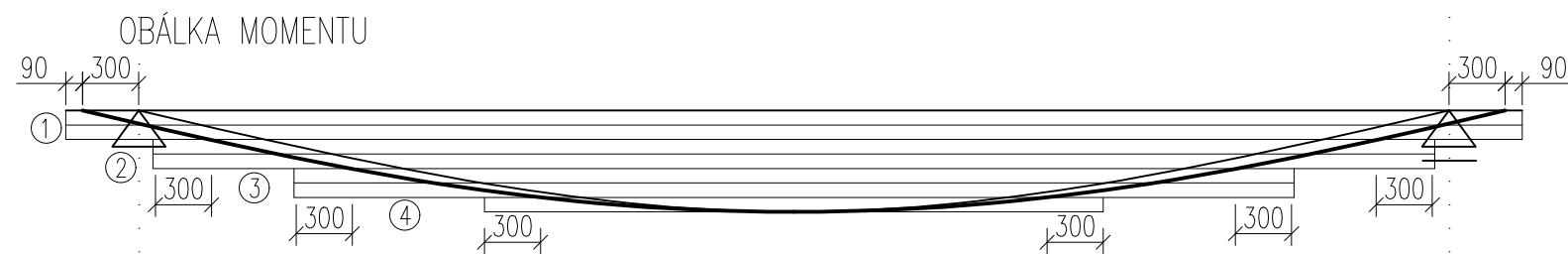
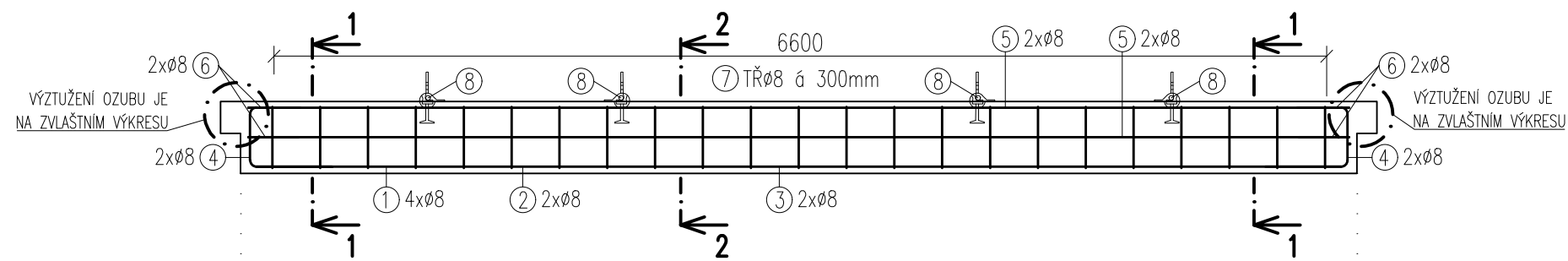
BETON: C30/37 XC2 - CI 0,2 - D_{max}16 - S4

BETONÁŘSKÁ OCEL: B500 B

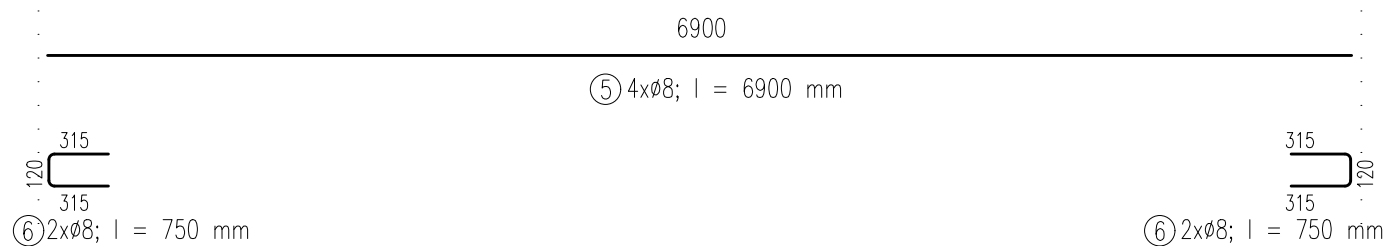
KRYTÍ VÝZTUŽE c = 30 mm

Zpracoval	Valeriia Kazmina	Školní rok	2021/ 2022	Fakulta stavební	
Předmět	133BAPC			ČVUT	
Úloha	Železobetonová skladovací hala	Datum	03/2022	Formát	2xA4
Výkres	Výkres výztuže sloupu	Měřítko	1:30,1:15	Číslo výkresu	3

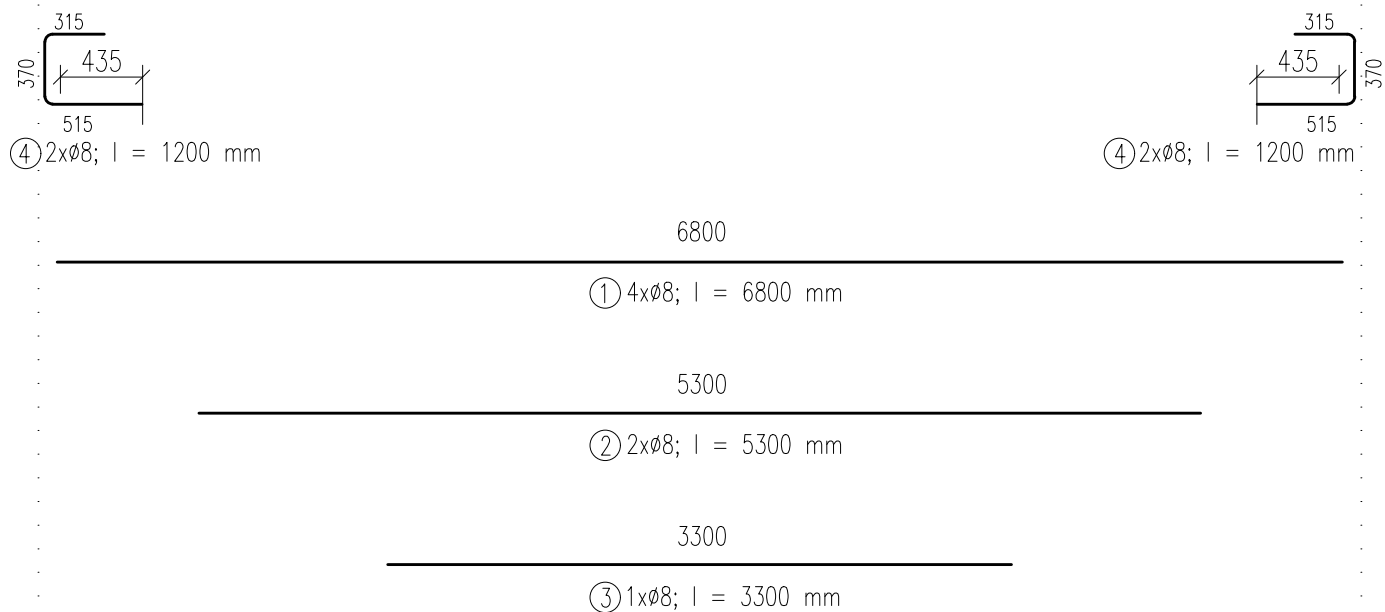
VÝKRES VÝZTUŽE VAZNÍKU



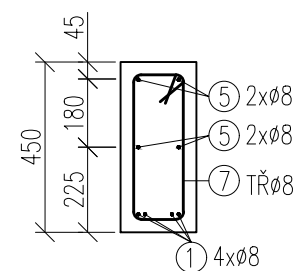
HORNÍ A STŘEDNÍ VRSTVA VÝZTUŽE



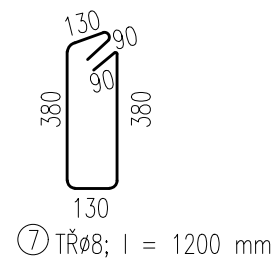
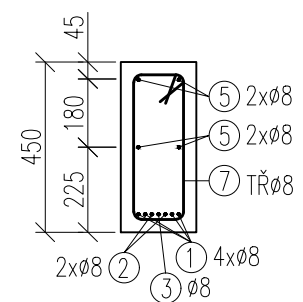
DOLNÍ VRSTVA VÝZTUŽE



ŘEZ 1-1



ŘEZ 2-2



VÝKAZ VÝZTUŽE

Pol.	Profil	Délka [mm]	ks	Délka celkem [m]
				Ø 8
1	8	6800	4	27,2
2	8	5300	2	10,6
3	8	3300	1	3,3
4	8	1200	4	4,8
5	8	6900	4	27,6
6	8	750	4	3
7	8	1200	22	26,4
Celková délka [m]				102,9
Hmotnost [kg]				64,1
Celková hmotnost [kg]				40,6

MANIPULAČNÍ ÚCHYTÝ

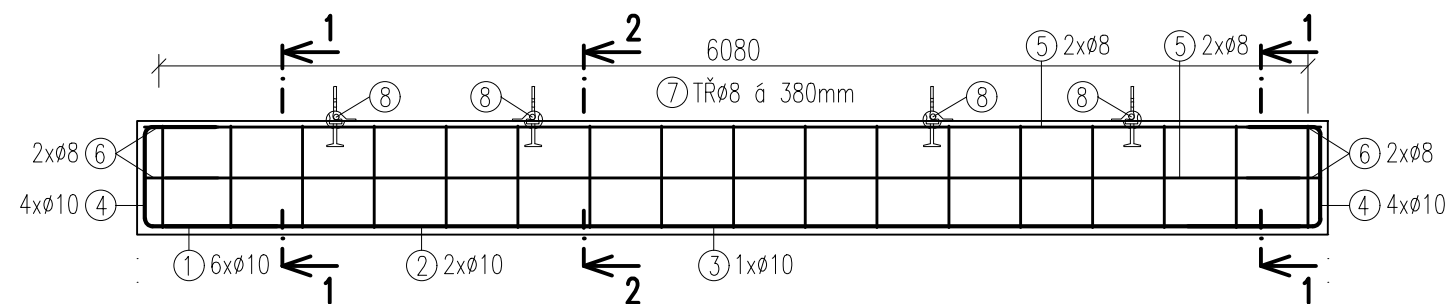
Pol.	Typ	Počet
8	Kotva DEHA s kulovou hlavou a okem 6000-2,5-0120	4

POZNÁMKY:

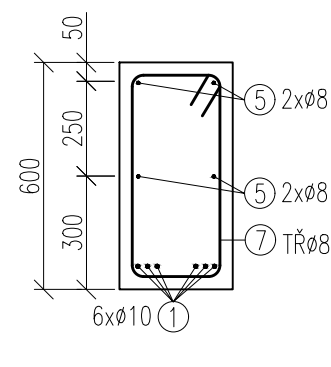
- KÓTOVÁNO V [mm]
- PRUTY JSOU KÓTOVÁNY NA OSU
- POSUN OBÁLKY: $a = 292$ mm
- KOTEVNÍ DÉLKY: $\text{Ø}8 - L = 290$ mm
- STYKOVACÍ DÉLKA: $\text{Ø}8 - L = 435$ mm

Zpracoval	Valeriia Kazmina	Školní rok	2021/ 2022	Fakulta stavební ČVUT
Předmět	133BAPC	Datum	03/2022	
Úloha	Železobetonová skladovací hala	Formát	2xA4	Měřítka 1:50,1:30 Číslo výkresu 4
Výkres	Výkres výztuže optimalizovaného vazníku			

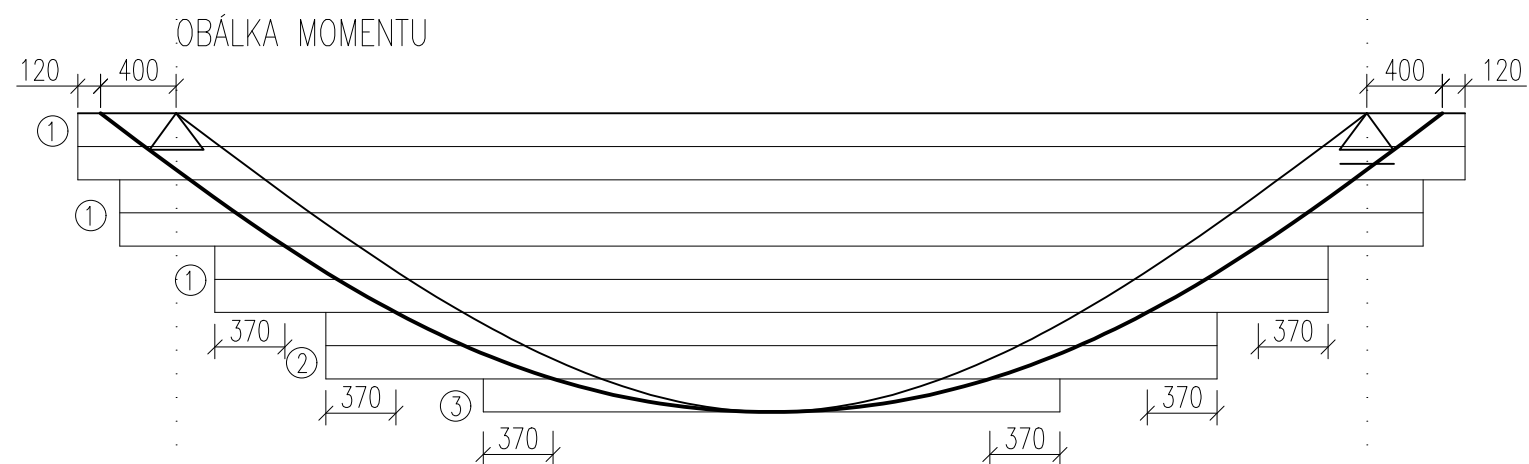
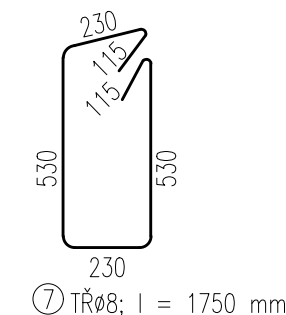
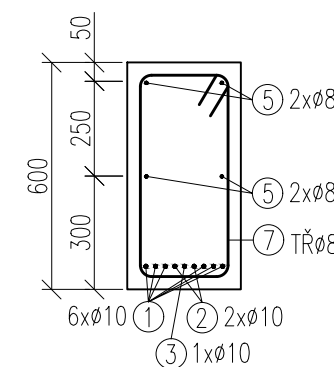
VÝKRES VÝZTUŽE PRŮVLAKU



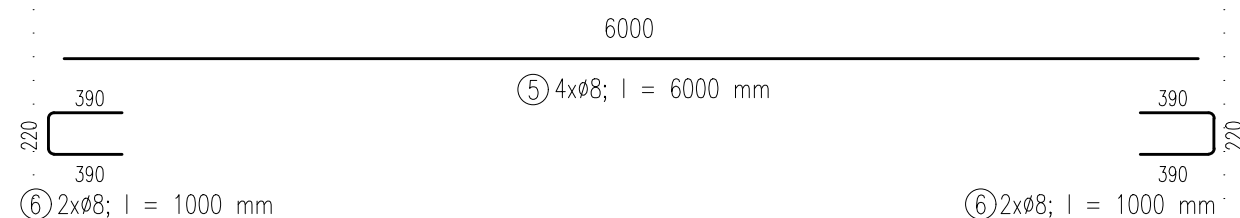
ŘEZ 1-1



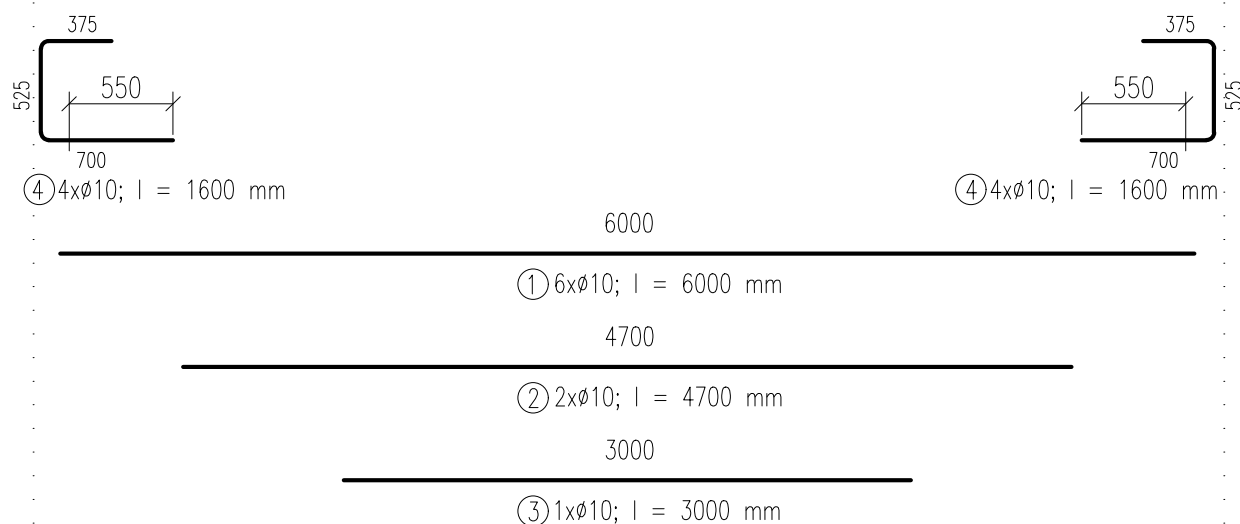
ŘEZ 2-2



HORNÍ A STŘEDNÍ VRSTVA VÝZTUŽE



DOLNÍ VRSTVA VÝZTUŽE



VÝKAZ VÝZTUŽE

Pol.	Profil	Délka [mm]	ks	Délka celkem [m]		
				Ø 8	Ø 10	
1	10	6000	6		36	
2	10	4700	2		9,4	
3	10	3000	1		3	
4	10	1600	8		12,8	
5	8	6000	4	24		
6	8	1000	4	4		
7	8	1750	16	28		
Celková délka [m]					56	61,2
Hmotnost [kg]					22,1	37,7
Celková hmotnost [kg]					59,8	

MANIPULAČNÍ ÚCHYTÝ

Pol.	Typ	Počet
8	Kotva DEHA s kulovou hlavou a okem 6000-2,5-0120	4

POZNÁMKY:

- KÓTOVÁNO V [mm]
- PRUTY JSOU KÓTOVÁNY NA OSU
- POSUN OBÁLKY: $a = 399$ mm
- KOTEVNÍ DÉLKY: $\text{Ø}8 - L = 290$ mm
 $\text{Ø}10 - L = 365$ mm
- STYKOVACÍ DÉLKA: $\text{Ø}8 - L = 435$ mm
 $\text{Ø}10 - L = 544$ mm

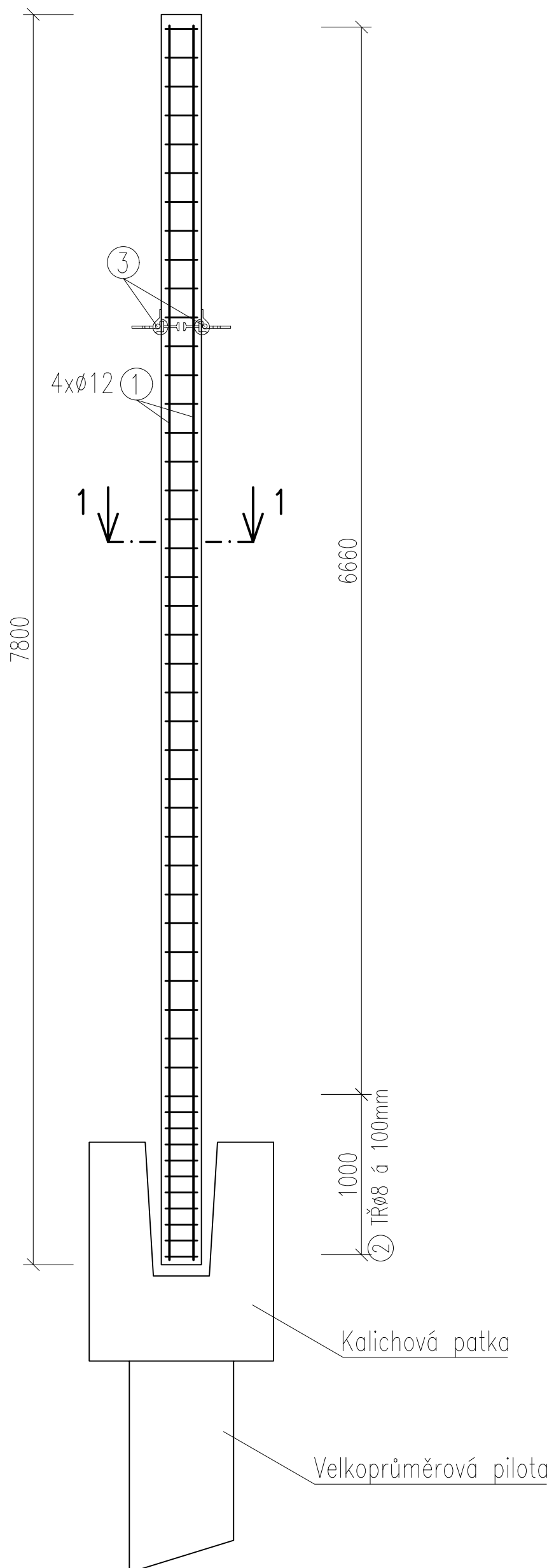
BETON: C30/37 XC2 - CI 0,2 - $D_{\text{max}}16$ - S4

BETONÁŘSKÁ OCEL: B500 B

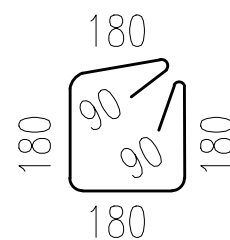
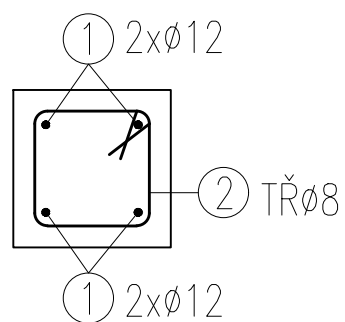
KRYTÍ VÝZTUŽE $c = 30$ mm

Zpracoval	Valeriia Kazmina	Školní rok	2021/ 2022	Fakulta stavební	
Předmět	133BAPC			ČVUT	
Úloha	Železobetonová skladovací hala	Datum	03/2022		
Výkres	Výkres výztuže optimalizovaného průvlaku	Formát	2xA4	Měřítko	1:50,1:30
		Číslo výkresu	5		

VÝKRES VÝZTUŽE SLOUPU



ŘEZ 1-1



② TŘØ8; l = 900 mm

VÝKAZ VÝZTUŽE

Pol.	Profil	Délka [mm]	ks	Délka celkem [m]	
				Ø 8	Ø 12
1	12	7700	4		30,8
2	8	900	50	45	
Celková délka [m]				45	30,8
Hmotnost [kg]				17,8	27,3
Celková hmotnost [kg]				45,1	

MANIPULAČNÍ ÚCHYTÝ

Pol.	Typ	Počet
3	Kotva DEHA s kulovou hlavou a okem 6000-1,3-0040	2

POZNÁMKY:

- KÓTOVANO V [mm]
- PRUTY JSOU KÓTOVÁNY NA OSU

BETON: C30/37 XC2 - CI 0,2 - D_{max}16 - S4
 BETONÁŘSKÁ OCEL: B500 B
 KRYTÍ VÝZTUŽE c = 30 mm

Zpracoval	Valeriia Kazmina	Školní rok	2021/ 2022	Fakulta stavební	
Předmět	133BAPC			ČVUT	
Úloha	Železobetonová skladovací hala	Datum	03/2022	Formát	2xA4
Výkres	Výkres výztuže optimalizovaného sloupu	Měřítko	1:30,1:15	Číslo výkresu	6