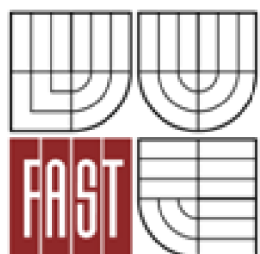




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

## **TĚLOCVIČNA - PREFABRIKOVANÝ SKELET**

GYM – PRECAST CONCRETE FRAME CONSTRUCTION

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. TOMÁŠ ČIHÁK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. PAVEL ŠULÁK, Ph.D.**

BRNO 2015



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3608T001 Pozemní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav betonových a zděných konstrukcí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	<b>Bc. Tomáš Čihák</b>
<b>Název</b>	Tělocvična - prefabrikovaný skelet
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	Ing. Pavel Šulák, Ph.D.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2014
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	16. 1. 2015
V Brně dne 31. 3. 2014	

.....  
prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.  
Vedoucí ústavu

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



## **Podklady a literatura**

Stavební podklady

Platné předpisy a normy (včetně změn a doplňků) zejména:

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-1 až 4: Zatížení stavebních konstrukcí

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí

Literatura doporučená vedoucím diplomové práce.

## **Zásady pro vypracování**

V rámci diplomové práce bude navržena železobetonová montovaná konstrukce tělocvičny. Pro analýzu nosné konstrukce bude použit výpočetní program MKP. Výsledky budou ověřeny zjednodušenou ruční metodou. Kromě statické analýzy bude vypracována i výkresová dokumentace v odpovídající kvalitě a rozsahu. Přesný rozsah práce bude upřesněn vedoucím práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady.

P2. Výkresy - tvaru a výztuže (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce).

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x).

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě podle směrnic a 1x na CD.

## **Předepsané přílohy**

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....  
Ing. Pavel Šulák, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

**Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá návrhem nosného systému prefabrikované skeletové konstrukce. Předmětem práce je příčný a podélný nosný rám konstrukce, skládající se z kalichových patek, sloupů, průvlaků a stropních panelů. Ostatní části konstrukce projekt neřeší.

Obsah diplomové práce se skládá ze statického výpočtu a výkresové dokumentace.

**Klíčová slova**

zatížení, vnitřní síly, beton, výztuž, železobeton, základová patka, sloup, průvlak, stropní panel, prefabrikovaný skelet, nosná konstrukce, výkresová dokumentace

**Abstract**

This master thesis deals with a draft of precast concrete frame structure on the case of gymnasium building. The major part of this work are transversal and longitudinal frames, consisted of footings, columns, girders and precast floor slab. Other parts of the building are not solved.

Thesis consists both static calculations and drawings.

**Keywords**

load, internal forces, concrete, reinforcement, reinforced concrete, foundation pad, girder, precast floor slab, precast concrete frame, load-bearing structure, drawings

## **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Tomáš Čihák *Tělocvična - prefabrikovaný skelet*. Brno, 2015. 135 s., 19 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Pavel Šulák, Ph.D.

**Prohlášení:**

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

V Brně dne 16.1.2015

.....

podpis autora

Bc. Tomáš Čihák

**Poděkování:**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat především vedoucímu mé diplomové práce Ing. Pavlu Šulákovi, Ph.D. za jeho trpělivost, ochotu a především za množství poskytnutých odborných rad a informací. Dále chci poděkovat mé rodině a blízkým za podporu při studiu.

# OBSAH

OBSAH.....	8
1 ÚVOD .....	10
2 TECHNICKÁ ZPRÁVA STATIKY.....	11
2.1 Zajištění stavební jámy.....	11
2.2 Vrchní nosné konstrukce.....	11
2.2.1 Svislé nosné konstrukce.....	11
2.2.2 Vodorovné nosné konstrukce .....	12
2.3 Schodiště .....	12
2.4 Zastřešení.....	12
2.5 Prostorová tuhost objektu .....	12
2.6 Styky konstrukčních prvků .....	12
2.7 Materiály .....	12
2.8 Obecné požadavky.....	13
3 Zatížení stavebních konstrukcí.....	15
3.1 Stálá zatížení.....	15
3.1.1 Zatížení střešní konstrukcí .....	15
3.1.2 Zatížení stropních panelů.....	15
3.1.3 Zatížení průvlaků .....	15
3.2 Užitečná zatížení .....	16
3.2.1 Proměnné zatížení sněhem .....	16
3.2.2 Proměnné zatížení větrem.....	16
3.3 Účinky větru na konstrukci .....	19
3.3.1 Vstupní parametry.....	19
3.3.2 Zatížení.....	19
3.3.3 Maximální posouvající síla v patě sloupu od zatížení větrem .....	20
3.3.4 Maximální moment v patě sloupu od zatížení větrem .....	20
3.3.5 Vnitřní síly v patě sloupu.....	20
4 Návrh a posouzení dílčích částí konstrukce .....	21
4.1 Vodorovné nosné konstrukce .....	21
4.1.1 Návrh a posouzení panelové stropní konstrukce .....	21
4.1.2 Návrh a posouzení průvlaku PR1 .....	24
4.1.3 Návrh a posouzení průvlaku PR2 .....	38
4.1.4 Návrh a posouzení průvlaku PR3 .....	52

4.1.5	Návrh a posouzení průvlastku PR4.....	63
4.2	Svislé nosné konstrukce.....	70
4.2.1	Návrh a posouzení sloupu SL4.....	73
4.2.2	Návrh a posouzení sloupu SL1.....	77
4.2.3	Návrh krátké konzoly sloupů.....	84
4.3	Základové konstrukce.....	87
4.3.1	Zvláštní zatížení základových patek .....	87
4.3.2	Návrh a posouzení kalichové základové patky KP4 pro sloup S4 .....	87
4.3.3	Posouzení únosnosti základové půdy .....	99
4.3.4	Návrh a posouzení kalicha základové patky KP1 pro sloup SL1 .....	101
5	Montážní stádia a manipulace s prvky.....	115
5.1	Síly potřebné pro odbednění a manipulaci s prvky.....	115
5.2	Manipulační úchyty .....	115
5.3	Posouzení průvlastků PR na vyjmutí z formy a manipulaci.....	116
5.4	Posouzení sloupu SL4 vyjmutí z formy a manipulaci .....	118
5.5	Posouzení sloupu SL1 na vyjmutí z formy a manipulaci.....	121
6	Výpočet zatížení schodiště.....	124
6.1.1	Výpočet maximálního namáhání prvku .....	124
6.1.2	Posouzení.....	125
7	Kotevní prvky.....	128
8	ZÁVĚR .....	129
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	130
9.1	Normy .....	130
9.2	Publikace, články, katalogy .....	130
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	131
10.1	Velká písmena latinské abecedy .....	131
10.2	Malá písmena latinské abecedy.....	132
10.3	Malá písmena řecké abecedy .....	133
10.4	Použité zkratky.....	134
11	SEZNAM PŘÍLOH .....	135

# 1 ÚVOD

Práce se zabývá řešením prefabrikované skeletové konstrukce. Stavba je určena ke sportovním účelům. Byl navržen prostor svou velikostí vhodný pro umístění tělocvičny, bowlingových drah a kavárny, včetně zázemí jak hygienického, tak provozního.

Předmětem práce bylo navrhnout konstrukční systém tak, aby vyhověl normovým a především provozním požadavkům. Staticky byla konstrukce rozdělena do jednotlivých rámců a zobecněna pomocí prutové soustavy. Posouzení konstrukce bylo provedeno ručním výpočtem.

Předmětem bylo navrhnout a posoudit stropní konstrukci, průvlaky, průběžné sloupy a kalichové patky na účinky zatížení působící po dobu životnosti konstrukce a vypracování stavební části projektové dokumentace.



## 2 TECHNICKÁ ZPRÁVA STATIKY

Stavba: Víceúčelová sportovní hala

Místo stavby: Dukovany, parcela č.kat. 319/1

Stupeň projektové dokumentace: Projekt pro provedení stavby

Datum: Leden 2015

Projekt statiky řeší nosné konstrukce víceúčelové sportovní haly včetně založení.

Parcela pro novostavbu se nachází v obci Dukovany, okres Třebíč, kraj Vysočina. Pozemek se nachází v centru obce s okolní zástavbou především rodinnými domy. Pozemek nevykazuje nerovnosti větší jak 5%.

Objekt se skládá ze tří částí - víceúčelové sportovní haly a bowlingové dráhy, technického a hygienického zázemí, venkovních tribun náležících k přilehlému fotbalovému hřišti. Je nepodsklepený, v celé ploše nad úrovní terénu, má dvě podlaží. Část víceúčelové haly je průběžná přes dvě podlaží.

Orientační půdorysné rozměry jsou 43,6 x 48,4 m, konstrukční výška prvního patra je 4,15 m druhého pak 4,05 m Minimální světlá výška místností je 2,6m.

Konstrukce zastřešení bude provedena z lepeného lamelového dřeva. Je navrhována dodavatelskou firmou. Podkladem pro návrh konstrukce je předběžný odhad zatížení. Konstrukce zastřešení bude ke sloupům montována kloubově pomocí ocelových styčných desek.

### 2.1 ZAJIŠTĚNÍ STAVEBNÍ JÁMY

Stavební jámy budou zajištěny svahováním. Sklon nutno zvolit dle doporučení geologa.

### 2.2 VRCHNÍ NOSNÉ KONSTRUKCE

#### 2.2.1 SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE

Svislou nosnou konstrukci tvoří železobetonový montovaný skelet. Jednotlivé prvky nosné konstrukce a jejich materiálovou specifikaci najdete na konci zprávy.

Zdivo plní především funkci výplňovou, s výhodou se uvažuje s jeho ztužujícími účinky na konstrukci jako celek. Obvodové stěny jsou navrženy z příčně děrovaných cihel pevnostní značky P10 tloušťky 400 mm, na vápenocementovou maltu MVC 2,5. Cihly budou maltovány pouze v ložných spárách. Vnitřní výplňové zdivo je navrženo z příčně děrovaných cihel pevnostní značky P10 tloušťky 300 mm na cementovou maltu MC 10. Přičemž **nesmí** být narušeny drážkou hlubší než 50 mm v míře větší, než je nezbytně nutné. Vnitřní příčky jsou navrženy z příčně děrovaných cihel pevnostní značky P10 tloušťky 100 mm na cementovou maltu MC 10.

Překlady ve všech stěnách budou zatíženy pouze vlastní tíhou a tíhou jimi přenášeného zdiva v daném podlaží. V žádném případě se neuvažuje s jejich dalším spolupůsobením při přenášení zatížení z vyšších pater. Autor této zprávy doporučuje používat systémové řešení odpovídající systému příslušného zdiva.

## 2.2.2 VODOROVNÉ NOSNÉ KONSTRUKCE

Stropní konstrukce prvního podlaží je sestavena z jednosměrně pnutých předpjatých prefabrikovaných dutinových stropních panelů výšky 250 mm, systém Goldbeck

Zálivková hmota je uvažována jako beton B 25/30 CX1. S vloženou výztuží ØR18 přivařenou ke styčným deskám na průvlacích, viz výkresová dokumentace.

Stropní panely jsou navrženy na zatížení vlastní tíhou, tíhou podlahy, zděných příček (0,8 kN/m<sup>2</sup>), tíhou vzduchotechniky, podhledové konstrukce a na užité zatížení o celkové hodnotě (3,0 kN/m<sup>2</sup>). Všechny výpočetní hodnoty jsou ve smyslu normy výpočtovými a provozními hodnotami.

## 2.3 SCHODIŠTĚ

Schodiště je navrženo jako přímočaré, železobetonové prefabrikované, pnuté mezi podestami. Mezipodesta bude tvořena prefabrikovaným železobetonovým panelem. Projekt se zabývá pouze orientačním návrhem schodiště.

## 2.4 ZASTŘEŠENÍ

Konstrukce zastřešení bude provedena z lepeného lamelového dřeva. Je navrhována dodavatelskou firmou. Podkladem pro návrh konstrukce je předběžný odhad zatížení. Konstrukce zastřešení bude ke sloupům montována kloubově pomocí ocelových styčných desek. Střešní konstrukce nebude vyvozovat přídavné momentové, ani vodorovné účinky v hlavě sloupu.

Vazníková konstrukce bude zakryta podhledem, výjimku tvoří část nad víceúčelovou sportovní halou, kde bude konstrukce přiznána do interiéru.

## 2.5 PROSTOROVÁ TUHOST OBJEKTU

Prostorová tuhost objektu je zajištěna obousměrně orientovaným výplňovým zdívkem ve svislé rovině a účinným spojením stropních panelů v rovině vodorovné a tuhostí střešního pláště.

## 2.6 STYKY KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ

Styky jednotlivých konstrukčních prvků budou vyplněny jemnozrnným betonem o výšce 20 mm, po konsolidaci uvažujeme 10 mm (v případě základových prahů až 50 mm po konsolidaci). Montážní otvory pro stykovací trny se vyplní jemnozrnným betonem.

V případě potřeby izolace kročejové neprůzvučnosti schodišťových ramen se doporučuje využít systémového řešení např. Schöck Tronsole® typ F.

## 2.7 MATERIÁLY

Třídy **betonu** pro jednotlivé konstrukce jsou navrženy podle normy ČSN EN 206 takto:

- podkladní betony prosté pod železobetonovými základy:

C 8/12 - X0,

- vyztužené podkladní betonové mazaniny pod vodorovnými hydroizolacemi:

C 16/20 – X0 - C1 0,4 - D<sub>max</sub> 16 – S3,

- železobetonové prefabrikované kalichové patky, základové prahy, sloupy:

C 30/37 – XC2 - Cl 0,4 - D<sub>max</sub> 16 – S3,

- železobetonové stropní konstrukce, průvlaky:

C 30/37 – XC1 - Cl 0,4 - D<sub>max</sub> 16 – S3,

- záливkový beton:

C 25/30 – XC1 - Cl 0,4 – D<sub>max</sub> 4 - S4,

- výplň styčných spar mezi jednotlivými konstrukčními prvky:

C 25/30 – XC1 - Cl 0,4 – D<sub>max</sub> 4 - S2,

**Ocel pro výztuž** železobetonových konstrukcí je navržena:

- prutová B500B (10 505 (R)).

**Ocel konstrukční:**

- S 235,
- elektrody E 44.83 (E B-121).

## 2.8 OBECNÉ POŽADAVKY

**Práce musí být prováděny odborně, za dodržování všech příslušných platných technických norem a bezpečnostních předpisů** (nařízení vlády č.591/2006 Sb. O bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích).

Všechny betonové konstrukce budou prováděny, přebírány a kontrolovány podle příslušných norem.

V Hradci Králové 16.1.2015

Bc. Tomáš Čihák

# STATICKÝ VÝPOČET

Stavba: Víceúčelová sportovní hala

Místo stavby: Dukovany, parcela č.kat. 319/1

Stupeň projektové dokumentace: Projekt pro provedení stavby

Datum: Leden 2015

Projekt statiky řeší nosné konstrukce víceúčelové sportovní haly včetně založení.

Parcela pro novostavbu se nachází v obci Dukovany, okres Třebíč, kraj Vysočina. Pozemek se nachází v centru obce s okolní zástavbou především rodinnými domy. Pozemek nevykazuje nerovnosti větší jak 5%.

Objekt se skládá ze tří částí - víceúčelové sportovní haly a bowlingové dráhy, technického a hygienického zázemí, venkovních tribun náležících k přilehlému fotbalovému hřišti. Je nepodsklepený, v celé ploše nad terénem, dvoupatrový. Část víceúčelové haly je průběžná přes dvě podlaží. Orientační půdorysné rozměry jsou 43,6 x 48,4 m, konstrukční výška prvního patra je 4,15 m druhého pak 4,05 m Minimální světlá výška místností 2,6m.

Konstrukce zastřešení bude provedena z lepeného lamelového dřeva. Je navrhována dodavatelskou firmou. Podkladem pro návrh konstrukce je předběžný odhad zatížení. Konstrukce zastřešení bude ke sloupům montována kloubově pomocí ocelových styčných desek.

## Statický model

Stavba je navržena jako montovaná konstrukce skládající se ze systému prostých nosníků uložených na sloupech vetknutých do základové konstrukce. Stropní konstrukce je z předpjatých panelů (systémové řešení dodavatele) osazených jako prosté nosníky na ozuby průvlaků. Průvlakky jsou opět osazeny jako prosté nosníky na krátkých konzolách sloupů. Jednoduchost řešení by měla omezit vliv dotvarování a sedání stavby na konstrukci jako celek.

Konstrukce zastřešení je řešena subdodavatelem jako sedlový, případně pultový vazník z lepeného lamelového dřeva. Podkladem pro řešení úlohy byli informace o předpokládané skladbě konstrukce a okrajové podmínky. Střešní konstrukce nebude v celém svém rozsahu vyvolávat na konstrukci momentové, ani vodorovné účinky. Stavbu budou zatěžovat pouze účinky od vlastní tíhy střešní konstrukce a klimatické účinky na konstrukci působící.

### 3 ZATÍŽENÍ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

Jednotlivé prvky jsou zatěžovány vlastní tíhou, tíhou navazujících konstrukcí a konstrukčních vrstev. Zatížení od střešních vazníků a opláštění střechy se uvažuje hodnotou z odborného odhadu, který bude vstupní podmínkou pro dodavatele střešní konstrukce. Nebudou-li tyto předpoklady splněny je nutno tuto skutečnost zohlednit dalším výpočtem.

#### 3.1 STÁLÁ ZATÍŽENÍ

##### 3.1.1 ZATÍŽENÍ STŘEŠNÍ KONSTRUKCÍ

Střešní konstrukce je řešena systémem vazníků z lepeného lamelového dřeva, dřevěných vaznic se systémem ztužení pomocí ocelových táhel. Orientační rozměry prvků a skladba střešního pláště viz tabulka zatížení.

Tabulka T1

Skladba	b*h [m <sup>2</sup> ]	gamam [kN/m <sup>3</sup> ]	gk [kN/m <sup>2</sup> ]	POZN.
Plechová střešní krytina	1*1	0,35	0,35	kN/m <sup>2</sup>
Tepelná izolace	1*0,30	2,5	0,75	kN/m <sup>2</sup>
Fošnový záklop	1*0,04	4	0,16	
Vaznice	0,15*0,2	4	0,12	po 1,0 m
Střešní vazník	0,3*1,2/6	4,4	0,26	
Stálé zatížení střešního vazníku:		gk	1,64	kN/m <sup>2</sup>

##### 3.1.2 ZATÍŽENÍ STROPNÍCH PANELŮ

Stropní panely jsou zatěžovány vlastní tíhou, tíhou podlahové konstrukce, podhledové konstrukce a pod stropem zavěšeným vedením TZB. Zatížení přemístitelnými příčkami je uvažováno hodnotou 0,8 kN/m<sup>2</sup>. Prostor tělocvičny je z hlediska užitného zatížení zařazena do kategorie C4 (5kN/m<sup>2</sup>), vzhledem k tomu, že se tyto plochy nacházejí výhradně na terénu můžeme objekt zařadit do kategorie C1 (3kN/m<sup>2</sup>). Rozpětí stropních panelů je 9,03 m.

Tabulka T2

Skladba	b*h [m]	gamam [kN/m <sup>3</sup> ]	gk [kN/m <sup>2</sup> ]	POZN.
Podlahová krytina	1*0,015	23	0,35	
Podkladní beton	1*0,06	24	1,44	
Polystyren	1*0,06	0,3	0,02	
Vlastní tíha panelu	1*1	3,17	3,17	
Tíha podhledu a vedení TZB	1*1	0,5	0,50	
Stálé zatížení stropního panelu:		gk	5,47	kN/m <sup>2</sup>

##### 3.1.3 ZATÍŽENÍ PRŮVLAKŮ

Průvlaky jsou zatěžovány tíhou stropní konstrukce a jejího zatížení tíhou výplňového zdiva, které současně působí jako prostorové ztužení rámové konstrukce. Výplňové zdivo je navrženo z

příčně děrovaných cihel pevnostní značky P10 tloušťky 300 mm a 400 mm, na vápenocementovou maltu MVC 2,5. Cihly budou maltovány pouze v ložných spárách.

Tabulka T3 PR1

Skladba	b*h*(l/2) [m]	gamam [kN/m <sup>3</sup> ]	gk,p [kN/m']	
Zatížení stropního panelu	1*1*9,03/2	5,47	24,70	
Výplňové, ztužující zdivo	1*3,5*0,4	8,68	12,15	
Vlastní tíha trámu	(0,6*0,55-0,26*0,15)	25	7,22	
Stálé zatížení průvlaku:		gk,p	44,08	kN/m'

Tabulka T4 PR2

Skladba	b*h*(l/2) [m]	gamam [kN/m <sup>3</sup> ]	gk,p [kN/m']	
Zatížení stropního panelu	1*1*5,43/2	5,47	14,85	
Výplňové, ztužující zdivo	1*3,5*0,4	8,68	12,15	
Vlastní tíha trámu	(0,6*0,55-0,26*0,15)	25	7,22	
Stálé zatížení průvlaku:		gk,p	34,23	kN/m'

### 3.2 UŽITNÁ ZATÍŽENÍ

Jednotlivé konstrukční prvky objektu budou dimenzovány na příslušná užitná zatížení specifikovaná v následujícím odstavci.

Z hlediska užitného zatížení se stavba řadí do kategorie C1 již odpovídá užitné zatížení o velikosti 3 kN/m<sup>2</sup>. Lokalita Dukovany spadá do druhé sněhové kategorie, která je charakterizována hodnotou 1kN/m<sup>2</sup>. Z hlediska zatížení větrem pak do kategorie III s rychlostí větru 27,5 m/s.

#### 3.2.1 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ SNĚHEM

$$S = \mu_i * c_e * c_t * s_k$$

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

#### 3.2.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ VĚTREM

Oblasti zatěžování rovnoměrně pokryté vegetací, budovami nebo překážkami (vesnice, předměstský terén, souvislý les), jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážky.

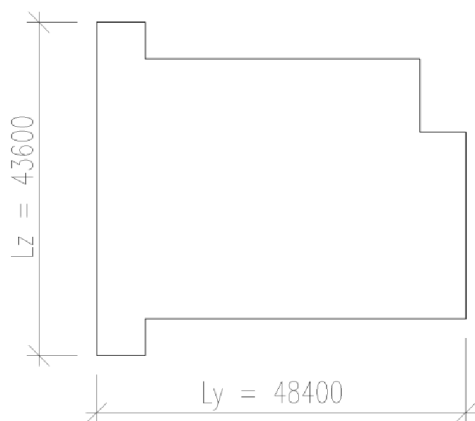
$$L_y = 48,40 \text{ m}$$

$$L_z = 43,60 \text{ m}$$

$$z = 11,0 \text{ m}$$

Základní rychlost větru:

$$v_b = C_{dir} * C_{season} * v_{b0}$$



$$v_b = 1 * 1 * 27,5 = 27,5 \text{ m/s}$$

**Střední rychlost větru:**

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

$$C_{r(z)} = k_r * \ln \frac{z}{z_0} = 0,1676 * \ln \frac{11}{0,3} = 0,6$$

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{0,05}\right)^{-0,07} = 0,19 * \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{-0,07} = 0,1676$$

$$v_{m(z)} * 0,6 * 1 * 27,5 = 16,6 \text{ m/s}$$

**Turbulence větru**

$$I_{v(z)} = \frac{k}{c_{0(z)} * \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1}{1 * \ln \frac{11}{0,3}} = 0,28$$

**Maximální dynamický tlak**

$$q_{p(z)} = [1 + 7 * I_{v(z)}] * \frac{1}{2} * \rho * (v_{m(z)})^2$$

$$q_{p(z)} = [1 + 7 * 0,28] * \frac{1}{2} * 1,25 * (16,6)^2 = 507 \text{ N/m}^2 \cong 0,51 \text{ kN/m}^2$$

**Výpočet tlaku na povrch stěny**

Maximální délka stěny je 48,40 m při její nejvyšší výšce 10,975 m (počítejme 11,0 m). Pro výpočet sání větru bude uvažována stejná plocha stěny. V kolmém směru uvažujme při zachování výšky s maximální délkou stěny 43,60 m.

**Zatřídění objektu**

**Kolmo na kratší stranu**

$$\frac{z}{d} = \frac{11}{48,40} = 0,23 ; \text{ uvažovány hodnoty odpovídající} = 0,25$$

$$e = \min\{b; 2 * z\} = \min\{48,45; 2 * 11\} = 22$$

$$e < d ; 22 < 48,40$$

**Kolmo na delší stranu**

$$\frac{z}{d} = \frac{11}{43,60} = 0,25 ; \text{ uvažovány hodnoty odpovídající} = 0,25$$

$$e = \min\{b; 2 * z\} = \min\{43,60; 2 * 11\} = 22$$

$$e < d ; 22 < 43,60$$

Tabulka hodnot pro  $C_{pe}$

Oblast	A	B	C	D	E
0,25	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
1	-1,2	-1,4	-0,5	0,8	-0,5

### Tlak větru na povrchy

$$w_e = q_{p(z)} * C_{pe}$$

Oblast	A	B	C	D	E
Kolmo na kratší stěnu	-0,61	-0,41	-0,26	0,36	-0,15
Kolmo na delší stěnu	-0,61	-0,41	-0,26	0,36	-0,15



### 3.3 ÚČINKY VĚTRU NA KONSTRUKCI

#### 3.3.1 VSTUPNÍ PARAMETRY

$$b = 6,00 \text{ m}$$

$$h_0 = 1,59 \text{ m}$$

$$h_1 = 3,87 \text{ m}$$

$$h_2 = 3,14 \text{ m}$$

$$h_3 = 2,52 \text{ m}$$

$$\Delta l_0 = 0,00 \text{ m}$$

$$\Delta l_1 = 3,69 \text{ m}$$

$$\Delta l_2 = 7,74 \text{ m}$$

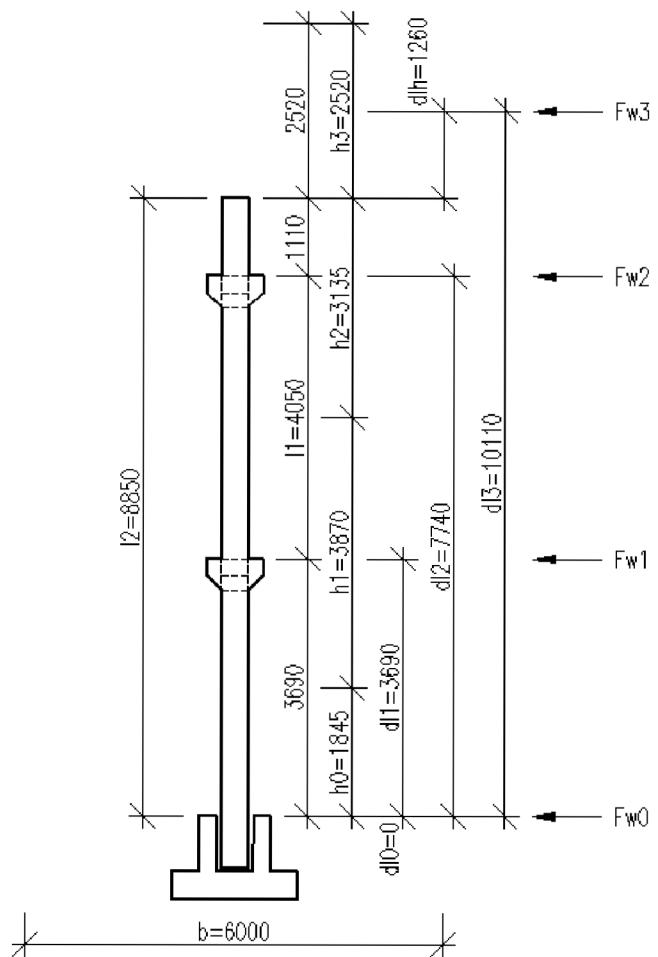
$$\Delta l_3 = 10,11 \text{ m}$$

$$\Delta l_h = 1,26 \text{ m}$$

Tlak větru

$$D = 0,36 \text{ kN/m}^2$$

$$E = -0,15 \text{ kN/m}^2$$



#### 3.3.2 ZATÍŽENÍ

$$F_{wd,n} = (D - E) * b * h_n * \gamma_Q$$

$$F_{wd,0} = (D - E) * b * h_0 * \gamma_Q = (0,36 + 0,15) * 6,0 * 1,59 * 1,5 = 7,30 \text{ kN}$$

$$F_{wd,1} = (D - E) * b * h_1 * \gamma_Q = (0,36 + 0,15) * 6,0 * 3,87 * 1,5 = 17,76 \text{ kN}$$

$$F_{wd,2} = (D - E) * b * h_2 * \gamma_Q = (0,36 + 0,15) * 6,0 * 3,14 * 1,5 = 14,41 \text{ kN}$$

$$F_{wd,3} = (D - E) * b * h_3 * \gamma_Q = (0,36 + 0,15) * 6,0 * 2,52 * 1,5 = 11,57 \text{ kN}$$

$$M_{wd,n} = F_{wd,n} * \sum \Delta l_n$$

$$M_{wd,0} = F_{wd,0} * \Delta l_0 = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{wd,1} = F_{wd,1} * \Delta l_1 = 17,76 * 3,69 = 65,55 \text{ kNm}$$

$$M_{wd,2} = F_{wd,2} * \Delta l_2 = 14,41 * 7,74 = 111,55 \text{ kNm}$$

$$M_{wd,3} = F_{wd,3} * \Delta l_3 = 11,57 * 10,11 = 116,94 \text{ kNm}$$

$$M_{wd,h} = F_{wd,3} * \Delta l_h = 11,57 * 1,26 = 14,57 \text{ kNm}$$

### 3.3.3 MAXIMÁLNÍ POSOUVAJÍCÍ SÍLA V PATĚ SLOUPU OD ZATÍŽENÍ VĚTREM

$$F_{wd,0,max} = \sum_{n=0}^3 F_{wd,n} = 7,30 + 17,76 + 14,41 + 11,57 = 51,04 \text{ kN}$$

### 3.3.4 MAXIMÁLNÍ MOMENT V PATĚ SLOUPU OD ZATÍŽENÍ VĚTREM

$$M_{wd,0,max} = \sum_{n=0}^3 M_{wd,n} = 0 + 65,55 + 111,55 + 116,94 = 294,04 \text{ kNm}$$

### 3.3.5 VNITŘNÍ SÍLY V PATĚ SLOUPU

$$M_{Ed,mni} = M_{Ed,mni} + \frac{M_{wd,ni,max}}{\text{počet sloupů podílejících se na přenosu zatížení}}$$

Z hlediska bezpečnosti se uvažuje roznoš zatížení maximálně na 2 sloupy. V určitých případech pak na sloup jeden.

## 4 NÁVRH A POSOUZENÍ DÍLČÍCH ČÁSTÍ KONSTRUKCE

### 4.1 VODOROVNÉ NOSNÉ KONSTRUKCE

#### 4.1.1 NÁVRH A POSOUZENÍ PANELOVÉ STROPNÍ KONSTRUKCE

Stropní konstrukce je navržena systémem dutinových předpínaných panelů firmy Goldbeck. Posouzení odpovídá porovnání výpočtových hodnot se statickými parametry udávanými výrobcem.

#### Stropní panel pro rozpětí P1

Parametry panelu:

Typ vyztužení: SPG 25406

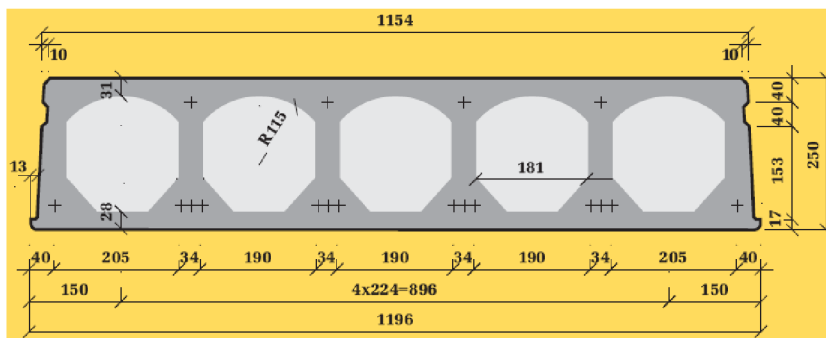
$h = 250 \text{ mm}$

$b = 1200 \text{ mm}$

$L_s = 9,03 \text{ m}$

$M_{RD,t} = 166 \text{ kNm/1,2m}$

$V_{Rdct1} = 107,4 \text{ kN/1,2m}$



Mezní stav únosnosti

Výpočet maximálního momentu od zatížení

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * (g_k * \gamma_G + q_k * \gamma_Q) * L_s^2$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * (5,47 * 1,35 + (3 + 0,8) * 1,5) * 9,03^2 = 133,37 \text{ kNm}$$

Posouzení stropního panelu na maximální ohybový moment

$$M_{Rd} = \frac{M_{RD,t}}{b} = \frac{166}{1,2} = 138,33 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$138,33 > 133,37 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Výpočet maximální posouvající síly od zatížení

$$v_{Ed} = \frac{1}{2} * (g_k * \gamma_G + q_k * \gamma_Q) * L_s$$

$$v_{Ed} = \frac{1}{2} * (5,47 * 1,35 + (3 + 0,8) * 1,5) * 9,03 = 62,00 \text{ kN}$$

Posouzení stropního panelu na maximální posouvající sílu

$$v_{Rd} = \frac{V_{Rdct1}}{b} = \frac{107,4}{1,2} = 89,5 \text{ kN}$$

$$v_{Rd} \geq v_{Ed}$$

$$89,5 > 62,00 \text{ kN}$$

Vyhovuje

### Konstrukční zásady výrobce

Konstrukční zásady výrobce panelů omezují maximální využití panelu na smykové účinky maximálně na 70%.

$$v_{Rd0,7} = v_{Rd} * 0,7$$

$$v_{Rd0,7} = 89,5 * 0,7 = 62,65 \text{ kN}$$

$$v_{Rd0,7} \geq v_{Ed}$$

$$62,65 > 62,00 \text{ kN}$$

Zatížení vyhovuje konstrukčním zásadám výrobce

### Posouzení na mezní stav použitelnosti

Mezní stav použitelnosti garantuje výrobce pod podmínkou dodržení jím stanovených konstrukčních zásad a technologických postupů.

### Stropní panel pro rozpětí P2

Parametry panelu:

Typ vyztužení: SPG 25042

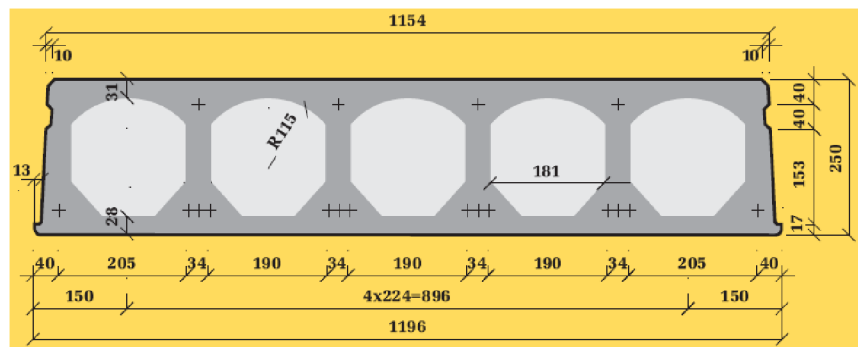
$$h = 250 \text{ mm}$$

$$b = 1200 \text{ mm}$$

$$L_s = 5,43 \text{ m}$$

$$M_{Rd,t} = 142,80 \text{ kNm/1,2m}$$

$$V_{Rdctl} = 93,50 \text{ kN/1,2m}$$



### Mezní stav únosnosti

Výpočet maximálního momentu od zatížení

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * (g_k * \gamma_G + q_k * \gamma_Q) * L_s^2$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * (5,47 * 1,35 + (3 + 0,8) * 1,5) * 5,43^2 = 48,22 \text{ kNm}$$

Posouzení stropního panelu na maximální ohybový moment

$$M_{Rd} = \frac{M_{RD,t}}{b} = \frac{142,80}{1,2} = 119,00 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$119,00 > 48,22 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

### Výpočet maximální posouvající síly od zatížení

$$v_{Ed} = \frac{1}{2} * (g_k * \gamma_G + q_k * \gamma_Q) * L_s$$

$$v_{Ed} = \frac{1}{2} * (5,47 * 1,35 + (3 + 0,8) * 1,5) * 5,43 = 37,28 \text{ kN}$$

### Posouzení stropního panelu na maximální posouvající sílu

$$v_{Rd} = \frac{V_{Rdct1}}{b} = \frac{93,5}{1,2} = 77,92 \text{ kN}$$

$$v_{Rd} \geq v_{Ed}$$

$$77,92 > 37,28 \text{ kN}$$

Vyhovuje

### Konstrukční zásady výrobce

Konstrukční zásady výrobce panelů omezují maximální využití panelu na smykové účinky maximálně na 70%.

$$v_{Rd0,7} = v_{Rd} * 0,7$$

$$v_{Rd0,7} = 77,92 * 0,7 = 54,54 \text{ kN}$$

$$v_{Rd0,7} \geq v_{Ed}$$

$$54,54 > 37,28 \text{ kN}$$

Zatížení vyhovuje konstrukčním zásadám výrobce

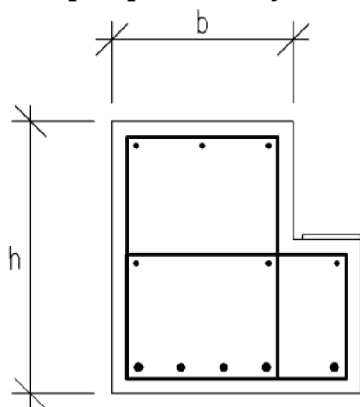
### Posouzení na mezní stav použitelnosti

Mezní stav použitelnosti garantuje výrobce pod podmínkou dodržení jím stanovených konstrukčních zásad a technologických postupů.

#### 4.1.2 NÁVRH A POSOUZENÍ PRŮVLAKU PR1

Průvlak PR1 je zatěžován vlastní tíhou, tíhou ztužující stěny a zatížením stropního panelu. V příčném řezu má maximální rozměr 600x550 mm oslabený zářezem pro uložení stropního panelu 150x260 mm.

#### Vstupní parametry



$$L_p = 5,38\text{m}$$

C 30/37 - XC1 - S3

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

B500B

$$h = 600\text{ mm}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20\text{ MPa}$$

$$L_s = 9,03\text{ m}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

$$A = 0,24\text{ m}^2$$

$$f_{yd} = \frac{500}{1,15} = 435\text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9\text{ MPa}$$

#### Zatížení

##### Výpočet ohybového momentu od kvazistálé kombinace

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * [g_k + (q_k * L_s / 2) * \psi_2] * L_p^2$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * \left[ 44,08 + \left( 3,8 * \frac{9,03}{2} \right) * 0,8 \right] * 5,38^2 = 212,35\text{ kNm}$$

##### Výpočet ohybového momentu od časté kombinace

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * [g_k + (q_k * L_s / 2)] * L_p^2$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * \left[ 44,08 + \left( 3,8 * \frac{9,03}{2} \right) \right] * 5,38^2 = 224,77\text{ kNm}$$

##### Výpočet maximálního ohybového momentu

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * [g_k * \gamma_G + (q_k * L_s / 2) * \gamma_Q] * L_p^2$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * \left[ 44,08 * 1,35 + \left( 3,8 * \frac{9,03}{2} \right) * 1,5 \right] * 5,38^2 = 312,75\text{ kNm}$$

#### Mezní stav únosnosti

##### Betonová krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\text{ mm}\}$$

$$c_{min} = \max\{25; 15 + 0 - 0 - 0; 10\text{ mm}\} = 25\text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 25 + 5 \cong 30\text{ mm}$$

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing_{Tr} + \frac{\varnothing}{2} = 30 + 8 + \frac{25}{2} \cong 50,5 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 0,6 - 0,0505 = 0,5495 \text{ m}$$

**Požadovaná plocha výztuže**

$$A_{s,req} = b * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}}} \right)$$

$$A_{s,req} = 0,40 * 0,5495 * \frac{20}{435} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 312,75}{0,40 * 0,5495^2 * 20 * 10^3}} \right) = 14,06 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Návrhová plocha výztuže na základě požadavku**

$$A_{s1} = 3\varnothing R20 + 2\varnothing R18 = (9,42 + 5,09) * 10^{-4} = 14,51 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Poloha neutrálné osy:**

$$F_s - F_c = 0$$

$$A_{s1} * f_{yd} = f_{cd} * \lambda * x * b$$

$$x = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{f_{cd} * b * \lambda} = \frac{14,51 * 10^{-4} * 435}{20 * 0,40 * 0,8} = 0,0986 \text{ m}$$

**Kontrola využití výztuže**

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x)$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,0035}{0,0986} (0,5495 - 0,0986) = 0,016$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{435}{200 * 10^3} = 0,002175$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$$

$$0,016 \geq 0,002175$$

Danou vrstvu výztuže lze považovat za plně využitou

**Rameno vnitřních sil**

$$z_c = d - 0,5 * \lambda * x$$

$$z_c = 0,5495 - 0,5 * 0,8 * 0,0986 = 0,51 \text{ m}$$

**Moment na mezi únosnosti**

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z_c$$

$$M_{Rd} = 14,51 * 10^{-4} * 435 * 10^3 * 0,51 = 321,93 \text{ kNm}$$

## Posouzení únosnosti

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$321,93 > 312,75 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

## Konstrukční zásady

### Kontrola míry vyztužení

$$A_{s,min1} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d$$

$$A_{s,min1} = 0,26 * \frac{2,9}{500} * 0,40 * 0,5495 = 3,32 * 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,min2} = 0,0013 * b * d$$

$$A_{s,min2} = 0,0013 * 0,40 * 0,5495 = 2,86 * 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 * b * h$$

$$A_{s,max} = 0,04 * 0,40 * 0,6 = 96 * 10^{-4} m^2$$

$$\max\{A_{s,min1}; A_{s,min2}\} \leq A_{s1} \leq A_{s,max}$$

$$3,32 < 14,51 < 96 [* 10^{-4} m^2]$$

Vyhovuje

## Návrh ozubu průvlastku pro uložení stropních panelů

### Vstupní hodnoty

Stálé

Nahodilé

Vlastní tíha  $g_{k,sl} = 43,72 \text{ kN}$

Užitné  $q_{k,u} = 3,8 \text{ kN/m}^2$

Průvlastek  $g_{k,pr} = 21,02 \text{ kN/m}'$

Strop  $g_{k,pan} = 5,47 \text{ kN/m}^2$

Rozměry:

$$b = 1,0 \text{ m}$$

$$h = 4,8 \text{ m}$$

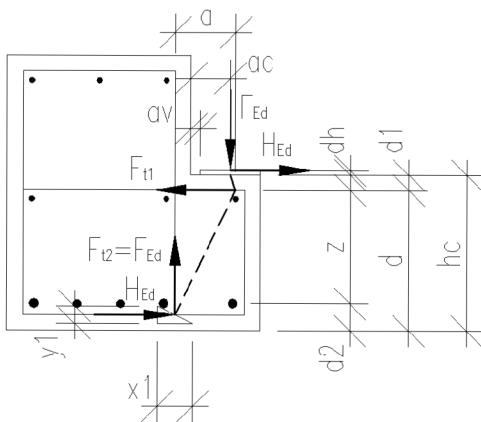
$$a_c = 0,085 \text{ m}$$

$$d_1 = 0,033 \text{ m}$$

$$d_2 = 0,048 \text{ m}$$

$$\Delta h = 0,01 \text{ m}$$

$$d = 0,307 \text{ m}$$





$$a_v = 0,02 \text{ m}$$

$$\Delta a = 0,034 \text{ m}$$

$$A = 0,13 \text{ m}^2$$

$$A_s = 4\text{Ø}R6 = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Zatížení konzoly

$$F_{Ed} = (g_{k,pan} \cdot b \cdot h) \cdot \gamma_G + b \cdot h \cdot g_{k,u} \cdot \gamma_Q$$

$$F_{Ed} = (5,47 \cdot 1,0 \cdot 4,8) \cdot 1,35 + 1,0 \cdot 4,8 \cdot 3,8 \cdot 1,5 = 91,18 \text{ kN}$$

$$H_{Ed} = 0,2 \cdot F_{Ed} = 0,2 \cdot 91,18 = 18,24 \text{ kN}$$

Posouzení

Styčnick CCT

$$v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{30}{250} = 0,88$$

$$\sigma_{Rd,max} = 0,85 \cdot v' \cdot f_{cd} = 0,85 \cdot 0,88 \cdot 20 = 14,96 \text{ MPa}$$

$$x_1 = \frac{F_{Ed}}{\sigma_{Rd,max} \cdot b} = \frac{91,18}{17600 \cdot 1,0} = 0,0061 \text{ m}$$

$$a = a_c + \Delta a + \frac{F_{Ed}}{H_{Ed}} \cdot (d' + \Delta h)$$

$$a = 0,085 + 0,034 + \frac{18,24}{91,18} \cdot (0,033 + 0,01) = 0,128 \text{ m}$$

$$z = d - d_2 = 0,307 - 0,0048 = 0,259 \text{ m}$$

$$y_1 = z - \sqrt{z^2 - 2 \cdot x_1 \cdot \left( a + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} \cdot (d_1 + \Delta h) \right)}$$

$$y_1 = 0,259 - \sqrt{0,259^2 - 2 \cdot 0,0061 \cdot \left( 0,128 + \frac{18,24}{91,18} \cdot (0,033 + 0,01) \right)} = 0,0032 \text{ m}$$

$$\theta = \tan \frac{d}{z} = \tan \frac{0,260}{0,26} = 1,11 \text{ rad}$$

$$F_c = \frac{F_{Ed}}{\sin \theta} = \frac{91,18}{\sin 1,11} = 101,69 \text{ kN}$$

$$F_{cy} = \cos \theta \cdot F_c = \cos 1,11 \cdot 101,69 = 45,03 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,y} = \frac{F_{cy}}{b \cdot y_1} = \frac{45,03}{1,0 \cdot 0,032} = 14,02 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd,max} \geq \sigma_{c,y}$$

$$14,96 > 14,02 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

$$w = \sqrt{x_1 + y_1} = \sqrt{0,0061 + 0,032} = 0,0069 \text{ m}$$

$$\sigma_c = \frac{F_c}{b * w} = \frac{91,18}{1,0 * 0,0069} = 14,76 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd,max} \geq \sigma_c$$

$$14,96 > 14,76 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

$$F_t = F_{Ed} * \frac{a}{z} + H_{Ed} = 91,18 * \frac{0,128}{0,26} + 18,24 = 63,26 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,req} = \frac{F_t}{f_{yd}} = \frac{63,26}{435000} = 1,46 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}$$

$$A_s = \emptyset R6/150 = 1,88 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Pro vzpěru s příčným tahem platí: tahová síla T dosahuje svého maxima ve čtvrtinách délky vzpěry H a je charakterizována hodnotou:

$$T = \frac{1}{4} * \frac{b - a}{b} * F_{Ed} = \frac{1}{4} * \frac{1,0 - 0,128}{1,0} * 91,18 = 19,89 \text{ kN}$$

$$H = \sqrt{a^2 + z^2} = \sqrt{0,128^2 + 0,26^2} = 0,29 \text{ m}$$

$$F_{t,Rd} = f_{ctd} * b * \frac{1}{2} * H = \frac{2900}{1,5} * 1,0 * \frac{1}{2} * 0,29 = 280,33 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} \geq T$$

$$280,33 > 19,66 \text{ kN}$$

Příčné tahy dokáže přenést beton

### Výpočet maximální posouvající síly

Smyková výztuže bude kromě smykových účinků přenášet i zatížení vyvozená krátkou konzolou, na které jsou uloženy stropní panely. Výpočet proveden alternativním způsobem pro jeden stříh třmínků (1/2 posouvajících sil pro dvojstřížný třmínek).

$$V_{Ed,pr} = \frac{1}{2} * (g_{k,pr} * \gamma_G) * L_p$$

$$V_{Ed,pr} = \frac{1}{2} * (19,37 * 1,35) * 5,38$$

$$V_{Ed,pr} = 70,34 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,pan} = \frac{1}{2} * F_{Ed} * L_p = \frac{1}{2} * 91,18 * 5,38 = 245,27 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * V_{Ed,pr} + V_{Ed,pan} = \frac{1}{2} * 70,34 + 245,27 = 280,45 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{V_{Ed} * \left[ \frac{L_p}{2} - (a_1 + d) \right]}{\frac{L_p}{2}}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{280,45 * \left( \frac{5,38}{2} - (0,09 + 0,5495) \right)}{\frac{5,38}{2}} = 213,77 \text{ kN}$$

### Smyková únosnost betonu bez podélné výztuže

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b * d$$

minimálně však:  $(v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b * d$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k_1 * \sigma_{cp} = 0,15 * \sigma_{cp} = 0 ; \text{ bez vlivu normálové síly}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{549,5}} = 1,60 ; \text{ maximálně } \leq 2$$

$$\rho_l = \frac{A_{s1}}{b * d} = \frac{9,42 * 10^{-4}}{0,4 * 0,5495} = 0,0043 ; \text{ maximálně } < 0,02$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 * 1,6^{\frac{3}{2}} * 30^{\frac{1}{2}} = 0,39 \text{ MPa}$$

$$(v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b * d = (0,39 + 0) * 0,4 * 0,5495 = 0,088 \text{ MN}$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 * 1,6 * (100 * 0,0043 * 30)^{\frac{1}{3}} + 0 \right] * 0,4 * 0,5495 = 0,108 \text{ MN}$$

$$V_{Rd,c} = 108 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed,1}$$

$$108 \not\geq 213,77 \text{ kN}$$

Nevyhoví. Je potřeba navrhnout smykovou výztuž.

### Smyková únosnost průřezu se smykovou výztuží

$$V_{Rd} = \min\{V_{Rd,max}; V_{Rd,s}\}$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} * b_w * z * v_l * f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$$v_l = 0,6 * \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 * \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1 * 0,4 * 0,51 * 0,528 * 20 * 10^3}{\cot 30 + \tan 30} = 932,90 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$$

$$932,90 > 280,45 \text{ kN}$$

Vyhovuje

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} * z * f_{ywd} * \cot \theta$$

$$s_{req} = \frac{A_{sw}}{V_{Ed,1}} * z * f_{ywd} * \cot \theta$$

$$s_{req} = \frac{0,5 * 10^{-4}}{2213,77} * 0,51 * 435 * \cot 30 = 0,0899 \text{ m}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{0,5 * 10^{-4}}{0,075} * 0,51 * 435 * \cot 30 = 256,20 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} > V_{Ed,1}$$

$$256,20 > 213,77 \text{ kN}$$

Vyhovuje

### Konstrukční zásady

#### Maximální podélná vzdálenost třmínků

$$s_{l,max} = 0,75 * d * (1 + \cot \alpha) = 0,75 * 0,5495 * (1 + \cot 90^\circ) = 0,412 \text{ m}$$

#### Maximální příčná vzdálenost větví třmínků

$$s_{t,max} = 0,75 * d = 0,75 * 0,5495 = 0,412 \text{ m}$$

### Stupeň vyztužení

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w * s} = \frac{1,01 * 10^{-4}}{0,4 * 0,075} = 0,0033$$

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 * \sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_w \geq \rho_{w,min}$$

$$0,0033 > 0,00088$$

Vyhovuje

Smyková výztuž je navržena z třmenů ØR8 po vzdálenosti 75 mm. Osová vzdálenost větví třmínku je 0,332 m.

#### Dílčí návrh

Pro úsporný návrh bude vzdálenost třmínků, ve vzdálenosti 1,5m od kraje průvlaku, zvětšena na 150 mm.

$$V_{Ed,1,5} = \frac{V_{Ed} * \left[ \frac{L_p}{2} - 1,5 \right]}{\frac{L_p}{2}} = \frac{280,45 * \left( \frac{5,38}{2} - 1,5 \right)}{\frac{5,38}{2}} = 124,06 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s,1,5} = \frac{0,5 * 10^{-4}}{0,15} * 0,51 * 435 * \cot 30 = 128,10 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s,1,5} > V_{Ed,1,5}$$

$$128,10 > 124,06 \text{ kN}$$

Vyhovuje

#### Konstrukční zásady

##### Maximální podélná vzdálenost třmínků

$$s_{l,max} = 0,75 * d * (1 + \cot \alpha) = 0,75 * 0,5495 * (1 + \cot 90^\circ) = 0,412 \text{ m}$$

##### Maximální příčná vzdálenost větví třmínků

$$s_{t,max} = 0,75 * d = 0,75 * 0,5495 = 0,412 \text{ m}$$

#### Stupeň vyztužení

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w * s} = \frac{1,01 * 10^{-4}}{0,4 * 0,15} = 0,0017$$

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 * \sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_w \geq \rho_{w,min}$$

$$0,0017 > 0,00088$$

Vyhovuje

## Návrh smykové výztuže nutné k zachycení krouticích sil

### Vstupní parametry

$$b = 0,45 \text{ m}$$

$$h = 0,6 \text{ m}$$

$$a_1 = 0,085 \text{ m}$$

$$A = b * h = 0,45 * 0,6 = 0,27 \text{ m}^2$$

$$u = 2 * (b + h) = 2 * (0,45 + 0,6) = 2,1 \text{ m}$$

$$t_{ef} = \frac{A}{u} = \frac{0,27}{2,1} = 0,129 \text{ m}$$

$$b_k = b - t_{ef} = 0,45 - 0,129 = 0,321 \text{ m}$$

$$h_k = h - t_{ef} = 0,6 - 0,129 = 0,471 \text{ m}$$

$$u_k = 2 * (b_k + h_k) = 1,586 \text{ m}$$

$$A_k = b_k * h_k = 0,1586 \text{ m}^2$$

### Průřezové charakteristiky

#### Těžiště

$$y_t = \frac{b_1 * h_1 * y_{1l} - \Delta b_2 * \Delta h_2 * y_{2l}}{A}$$

$$y_t = \frac{0,6 * 0,55 * \frac{0,55}{2} - 0,15 * 0,260 * (0,55 - \frac{0,15}{2})}{0,291} = 0,248 \text{ m}$$

$$z_t = \frac{b_1 * h_1 * z_{1d} - \Delta b_2 * \Delta h_2 * z_{2d}}{A}$$

$$z_t = \frac{0,6 * 0,55 * \frac{0,6}{2} - 0,15 * 0,260 * (0,6 - \frac{0,26}{2})}{0,291} = 0,277 \text{ m}$$

#### Krouticí moment

$$t_{Ed} = v_{Ed} * [b - y_t + a_1]$$

$$t_{Ed} = 62,00 * [0,4 - 0,248 + 0,085] = 14,69 \text{ kNm}$$

### Návrhový krouticí moment na mezi únosnosti

$$t_{Rd,c} = 2 * A_k * t_{ef,i} * f_{ctd}$$

$$t_{Rd,c} = 2 * 0,1586 * 0,129 * 1,33 * 10^3 = 54,42 \text{ kNm}$$

$$v = 0,6 * (1 - f_{ck}/250) = 0,6 * (1 - 30/250) = 0,528$$

$$t_{Rd,max} = 2 * v * f_{cd} * A_k * t_{ef} * \sin \theta * \cos \theta$$

$$t_{Rd,max} = 2 * 0,528 * 20 * 10^3 * 0,1586 * 0,129 * \sin 30^\circ * \cos 30^\circ = 187,10 \text{ kNm}$$

#### Posouzení

$$t_{Rd,c} \geq t_{Ed}$$

$$54,42 > 14,69 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

$$t_{Rd,max} \geq t_{Ed}$$

$$187,1 > 14,69 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

### Posouzení tlačných diagonál

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} + \frac{t_{Ed}}{t_{Rd,max}} < 1$$

$$\frac{280,45}{932,91} + \frac{14,69}{187,10} < 1$$

$$0,38 < 1$$

Vyhovuje, není třeba navrhovat výztuž na kroucení, pouze dodržet konstrukční zásady.

### Mezní stav použitelnosti

#### Omezení průhybu

Součinitel dotvarování pro suché prostředí při  $h_o$ :

$$h_o = \frac{2 * A_c}{u} = \frac{2 * h * b}{2 * (b + h)} = \frac{0,6 * 0,4}{0,4 + 0,6} = 0,24 \text{ m}$$

Zatížení:  $t_o = 28 \text{ dní: } \varphi_{(\infty; t_o)} = 2,2$

Smršťování:  $t_o = 7 \text{ dní: } \varphi_{(\infty; t_o)} = 2,7$

Poměrné smršťování:  $\varepsilon_{cs} = -0,0006$

#### Dílce bez trhlin

$$A_c = b * h = 0,40 * 0,6 = 0,24 \text{ m}^2$$

$$S_{c0} = A_c * \frac{h}{2} = 0,27 * \frac{0,6}{2} = 0,072 \text{ m}^3$$

$$I_{c0} = \frac{b * h^3}{3} = \frac{0,4 * 0,6^3}{3} = 0,0288 \text{ m}^4$$

$$A_s = 0,001451 \text{ m}^2$$

$$S_{s0} = A_s * d = 0,001451 * 0,5495 = 0,000797 \text{ m}^3$$

$$I_{s0} = S_{s0} * d = 0,000797 * 0,5495 = 0,00044 \text{ m}^4$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi_c)} = \frac{32}{(1 + 2,2)} = 10 \text{ GPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{10} = 20$$

$$A_i = A_c + \alpha_e * A_s = 0,24 + 20 * 0,001451 = 0,269m^2$$

$$a_{gi} = \frac{S_{c0} + \alpha_e * S_{s0}}{A_i} = \frac{0,072 + 20 * 0,000797}{0,269} = 0,327$$

$$I_i = I_{c0} + \alpha_e * I_{s0} - A_i * a_{gi}^2$$

$$I_i = 0,0288 + 20 * 0,00044 - 0,269 * 0,327^2 = 0,0088m^4$$

**Ohybová poddajnost**

$$C_{I,lt} = \frac{1}{E_{c,eff} * 1000 * I_i} = \frac{1}{10 * 1000 * 0,0088} = 0,0113 (MN)^{-1}m^{-2}$$

**Ohybový moment při vzniku trhlin**

$$M_{cr,lt} = f_{ctm} * \frac{I_i}{h - a_{gi}} = 2,9 * \frac{0,0088}{0,6 - 0,327} = 93,574 kNm$$

**Ideální průřez s vyloučeným taženým betonem**

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{10} = 20$$

Platí:

$$\varepsilon_{s1} = -\varepsilon_c * (d - x)/x$$

$$F_{cc} = 0,5 * b * x * \varepsilon_c * E_{cm}$$

$$F_{s1} = A_{s1} * \varepsilon_{s1} * E_s$$

$$F_{cc} + F_{s1} = 0$$

$$0,5 * b * x * \varepsilon_c * E_{cm} - A_{s1} * \frac{\varepsilon_c(d - x)}{x} * E_s = 0$$

$$x^2 + \frac{2\alpha_e}{b} A_{s1}x - \frac{2\alpha_e}{b} A_{s1}d = 0$$

$$x^2 + \frac{2 * 20}{0,4} * 0,001451 * x - \frac{2 * 20}{0,4} * 0,001451 * 0,5495 = 0$$

$$x = 0,219 m$$

$$I_i = \frac{1}{3} * b * x^3 + \alpha_e * [A_{s1} * (d - x)^2]$$

$$I_i = \frac{1}{3} * 0,4 * 0,219^3 + 20 * [0,001451 * (0,5495 - 0,219)^2] = 0,00457m^4$$

**Ohybová poddajnost**

$$C_{II,lt} = \frac{1}{E_{c,eff} * 1000 * I_i} = \frac{1}{10000 * 0,00457} = 0,0219(MN)^{-1}m^{-2}$$



### Křivost ohybové čáry vlivem smršťování

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi_{cs})} = \frac{32}{(1 + 2,7)} = 8,65 \text{ GPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{8,65} = 23,125$$

### Dílce bez trhlin

$$A_i = A_c + \alpha_e * A_s = 0,24 + 23,125 * 0,001451 = 0,274 \text{ m}^2$$

$$a_{gi} = \frac{S_{c0} + \alpha_e * S_{s0}}{A_i} = \frac{0,072 + 23,125 * 0,000797}{0,274} = 0,3306 \text{ m}$$

$$I_i = I_{c0} + \alpha_e * I_{s0} - A_i * a_{gi}^2$$

$$I_i = 0,0288 + 23,125 * 0,00044 - 0,269 * 0,3306^2 = 0,00903 \text{ m}^4$$

### Křivost od smršťování

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs,I} = -\varepsilon_{cs} * \alpha_e * \frac{S_{s0} - A_s * a_{gi}}{I_i}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs,I} = 0,0006 * 23,125 * \frac{0,000797 - 0,001451 * 0,3306}{0,00903} = 0,000488$$

### Dílce s plně rozvinutými trhlinami

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{8,65} = 23,125$$

$$x^2 + \frac{2 * \alpha_e}{b} * A_{s1} * x - \frac{2\alpha_e}{b} * A_{s1} * d = 0$$

$$x^2 + \frac{2 * 23,125}{0,4} * 0,001451 * x - \frac{2 * 23,125}{0,4} * 0,001451 * 0,5495 = 0$$

$$x = 0,23 \text{ m}$$

$$I_i = \frac{1}{3} b x^3 + \alpha_e * [A_{s1} (d - x)^2]$$

$$I_i = \frac{1}{3} 0,4 * 0,23^3 + 23,125 * [0,001451 * (0,5495 - 0,23)^2] = 0,00505 \text{ m}^4$$

### Křivost od smršťování

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs,II} = -\varepsilon_{cs\infty} * \alpha_e * \frac{S_{s0} - A_s x}{I_i}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs,II} = 0,0006 * 23,125 * \frac{0,000797 - 0,001451 * 0,23}{0,00505} = 0,00127 \text{ m}^{-1}$$

### Výsledná křivost od smršťování

$$\beta = 0,5$$

$$\xi = 1 - \beta * \left( \frac{M_{cr,lt}}{M_{gk}} \right)^2 = 1 - 0,5 * \left( \frac{93,57}{212,35} \right)^2 = 0,903$$

$$\left( \frac{1}{r} \right)_{cs} = (1 - \xi) * \left( \frac{1}{r} \right)_{cs,I} + \xi * \left( \frac{1}{r} \right)_{cs,II}$$

$$\left( \frac{1}{r} \right)_{cs} = (1 - 0,903) * 0,000488 + 0,903 * 0,00127 = 0,0012 m^{-1}$$

#### Zatížení do vzniku trhlin

$$\left( \frac{1}{r} \right)_{cr,lt} = M_{cr,lt} * C_{I,lt} = 93,57 * 0,0113 = 0,001062$$

#### Zatížení po vzniku trhlin

$$\beta = 0,5$$

$$\xi_{cr,lt} = 1 - \beta * \left( \frac{M_{cr,lt}}{M_{ik}} \right)^2 = 1 - 0,5 * \left( \frac{93,57}{93,57} \right)^2 = 0,5$$

$$\left( \frac{1}{r} \right)_{cr,lt} = M_{ik} * [(1 - \xi_{cr,lt}) * C_{I,lt} + \xi_{cr,lt} * C_{II,lt}]$$

$$\left( \frac{1}{r} \right)_{cr,lt} = 93,57 * [(1 - 0,5) * 0,0113 + 0,5 * 0,0219] = 0,00155 m^{-1}$$

$$\xi_{g,lt} = 1 - \beta * \left( \frac{M_{cr,lt}}{M_{gk}} \right)^2 = 1 - 0,5 * \left( \frac{102,33}{207,85} \right)^2 = 0,903$$

$$\left( \frac{1}{r} \right)_{g,lt} = M_{gk} * [(1 - \xi_{g,lt}) * C_{I,lt} + \xi_{g,lt} * C_{II,lt}]$$

$$\left( \frac{1}{r} \right)_{g,lt} = 207,85 * [(1 - 0,903) * 0,0113 + 0,903 * 0,0219] = 0,00443 m^{-1}$$

#### Výpočet průhybu

Při výpočtu průhybu se předpokládá konstantní tuhost nosníku, určená pro průřez uprostřed rozpětí, po celé délce rozpětí:

$$f_{cs} = \frac{1}{8} * \left( \frac{1}{r} \right)_{cs} * l^2 = \frac{1}{8} * 0,0012 * 5,38^2 = 0,00432 m$$

$$f_{g,lt} = \frac{5}{48} * \left( \frac{1}{r} \right)_{g,lt} * l^2 = \frac{5}{48} * 0,00443 * 5,38^2 = 0,0134 m$$

#### Dlouhodobý průhyb od kvazistálého zatížení včetně smršťování:

$$f_{lt} = f_{cs} + f_{g,lt} = 0,00432 + 0,0134 = 0,01772 m$$

$$f_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{5,38}{250} = 0,021 m$$

$$f_{lim} \geq f_{lt}$$

$$0,021 > 0,01772 \text{ m}$$

Vyhovuje

Omezení šířky trhlin

$$\sigma_s = f_{yd} * \frac{M_{Ek,\psi 2}}{M_{Rd}} = 435 * \frac{212,35}{321,94} = 286,79 \text{ MPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{32} = 6,25$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5 * (h - d); (h - x)/3; h/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5 * (0,6 - 0,5495); (0,6 - 0,23)/3; 0,6/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{0,126; 0,123; 0,3\} = 0,123 \text{ m}$$

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} * b = 0,123 * 0,4 = 0,05 \text{ m}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}} = \frac{0,001451}{0,05} = 0,0295$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t * \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e * \rho_{p,eff})}{E_s}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{286,79 - 0,4 * \frac{2,9}{0,0295} (1 + 6,25 * 0,0295)}{200000} = 0,0012$$

$$c = c_{nom} + \phi_{tr} = 30 + 8 = 38 \text{ mm}$$

$$\phi = \frac{n_1 * \phi_1^2 + n_2 * \phi_2^2}{n_1 * \phi_1 + n_2 * \phi_2} = \frac{2 * 18^2 + 3 * 20^2}{2 * 18 + 3 * 20} = 19,25 \text{ mm}$$

$$s_{r,max} = k_3 * c + k_1 * k_2 * k_4 * \phi / \rho_{p,eff}$$

$$s_{r,max} = 3,4 * 38 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * \frac{19,25}{0,0295} = 240,13 \text{ mm}$$

$$w_k = s_{r,max} * (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 240,13 * 0,0012 = 0,288 \text{ mm}$$

Doporučená šířka trhliny  $w_{lim}$  pro beton třídy prostředí XC1 je 0,4 mm.

$$w_k \leq w_{lim}$$

$$0,288 < 0,4 \text{ mm}$$

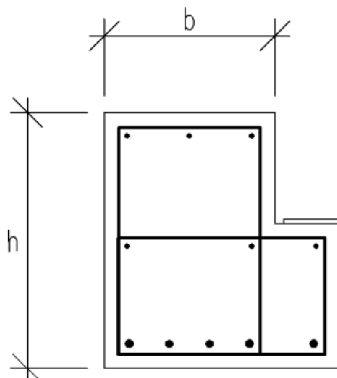
Vyhovuje

Navrhovaný prvek vyhoví na mezní stav únosnosti i použitelnosti.

### 4.1.3 NÁVRH A POSOUZENÍ PRŮVLAKU PR2

Průvlak PR2 je zatěžován vlastní tíhou, tíhou ztužující stěny a zatížením stropního panelu. V příčném řezu má maximální rozměr 600x550 mm oslabený zářezem pro uložení stropního panelu 150x260 mm.

#### Vstupní hodnoty



$$L_p = 5,38 \text{ m}$$

C 30/37 - XC1 - S3

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

B500B

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$L_s = 5,43 \text{ m}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

$$A = 0,24 \text{ m}^2$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

#### Zatížení

##### Výpočet ohybového momentu od kvazistálé kombinace

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * [g_k + (q_k * L_s / 2) * \psi_2] * L_p^2$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * \left[ 34,23 + \left( 3,8 * \frac{5,43}{2} \right) * 0,8 \right] * 5,38^2 = 153,71 \text{ kNm}$$

##### Výpočet ohybového momentu od časté kombinace

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * [g_k + (q_k * L_s / 2)] * L_p^2$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * \left[ 34,23 + \left( 3,8 * \frac{5,43}{2} \right) \right] * 5,38^2 = 161,17 \text{ kNm}$$

##### Výpočet maximálního ohybového momentu

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * [g_k * \gamma_G + (q_k * L_s / 2) * \gamma_Q] * L_p^2$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * \left[ 34,23 * 1,35 + \left( 3,8 * \frac{5,43}{2} \right) * 1,5 \right] * 5,38^2 = 223,18 \text{ kNm}$$

#### Mezní stav únosnosti

##### Betonová krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$c_{min} = \max\{25; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 25 + 5 \cong 30 \text{ mm}$$

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing_{Tr} + \frac{\varnothing}{2} = 30 + 8 + \frac{25}{2} \cong 50,5 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 0,6 - 0,0505 = 0,5495 \text{ m}$$

**Požadovaná plocha výztuže**

$$A_{s,req} = b * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}}} \right)$$

$$A_{s,req} = 0,40 * 0,5495 * \frac{20}{435} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 223,18}{0,40 * 0,5495^2 * 20 * 10^3}} \right) = 9,81 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Návrhová plocha výztuže na základě požadavku**

$$A_{s1} = 3\varnothing R20 + 2\varnothing R12 = (9,42 + 2,26) * 10^{-4} = 11,68 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Poloha neutrálné osy:**

$$F_s - F_c = 0$$

$$A_{s1} * f_{yd} = f_{cd} * \lambda * x * b$$

$$x = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{f_{cd} * b * \lambda} = \frac{11,68 * 10^{-4} * 435}{20 * 0,40 * 0,8} = 0,079 \text{ m}$$

**Kontrola využití výztuže**

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x)$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,0035}{0,079} (0,5495 - 0,079) = 0,0207$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{435}{200 * 10^3} = 0,002175$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$$

$$0,0207 \geq 0,002175$$

Danou vrstvu výztuže lze považovat za plně využitou

**Rameno vnitřních sil**

$$z_c = d - 0,5 * \lambda * x$$

$$z_c = 0,5495 - 0,5 * 0,8 * 0,079 = 0,52 \text{ m}$$

**Moment na mezi únosnosti**

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z_c$$

$$M_{Rd} = 11,68 * 10^{-4} * 435 * 10^3 * 0,52 = 263,05 \text{ kNm}$$

## Posouzení únosnosti

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$263,05 > 223,18 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

## Konstrukční zásady

### Kontrola míry vyztužení

$$A_{s,min1} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d$$

$$A_{s,min1} = 0,26 * \frac{2,9}{500} * 0,40 * 0,5495 = 3,32 * 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,min2} = 0,0013 * b * d$$

$$A_{s,min2} = 0,0013 * 0,40 * 0,5495 = 2,86 * 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 * b * h$$

$$A_{s,max} = 0,04 * 0,40 * 0,6 = 96 * 10^{-4} m^2$$

$$\max\{A_{s,min1}; A_{s,min2}\} \leq A_{s1} \leq A_{s,max}$$

$$3,32 < 11,68 < 96 [* 10^{-4} m^2]$$

Vyhovuje

## Návrh ozubu průvlaku pro uložení stropních panelů

### Vstupní hodnoty

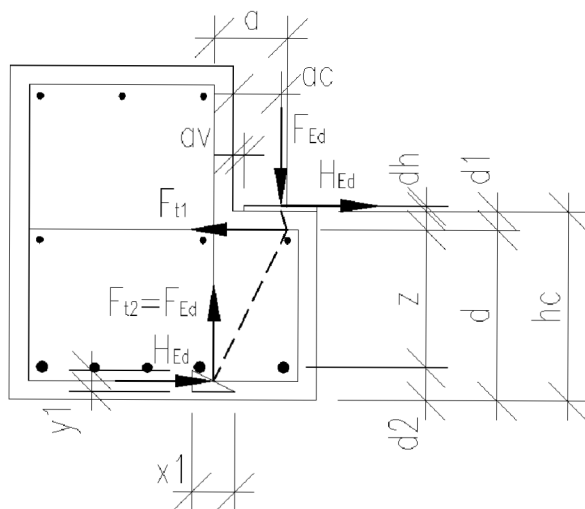
Stálé

Nahodilé

Průvlak  $g_{k,pr} = 21,02 \text{ kN/m}'$

Užitné  $q_{k,u} = 3,8 \text{ kN/m}^2$

Strop  $g_{k,pan} = 5,47 \text{ kN/m}^2$



Rozměry:

$$b = 1,0 \text{ m}$$

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

$$a_c = 0,085 \text{ m}$$

$$d_1 = 0,033 \text{ m}$$

$$d_2 = 0,048 \text{ m}$$

$$\Delta h = 0,01 \text{ m}$$

$$d = 0,307 \text{ m}$$

$$a_v = 0,02 \text{ m}$$

$$A_s = 5\text{Ø}R6 = 1,41 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A = 0,13 \text{ m}^2$$

$$\Delta a = 0,034 \text{ m}$$

Zatížení konzoly

$$F_{Ed} = (g_{k,pan} * b * h) * \gamma_G + b * h * g_{k,u} * \gamma_Q$$

$$F_{Ed} = (5,47 * 1,0 * 3,0) * 1,35 + 1,0 * 3,0 * 3,8 * 1,5 = 67,63 \text{ kN}$$

$$H_{Ed} = 0,2 * F_{Ed} = 0,2 * 67,63 = 13,53 \text{ kN}$$

Posouzení

Styčnick CCT

$$v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{30}{250} = 0,88$$

$$\sigma_{Rd,max} = 0,85 * v' * f_{cd} = 0,85 * 0,88 * 20 = 14,96 \text{ MPa}$$

$$x_1 = \frac{F_{Ed}}{\sigma_{Rd,max} * b} = \frac{67,63}{17600 * 1,0} = 0,0045 \text{ m}$$

$$a = a_c + \Delta a + \frac{F_{Ed}}{H_{Ed}} * (d' + \Delta h)$$

$$a = 0,085 + 0,034 + \frac{18,24}{91,18} * (0,033 + 0,01) = 0,128 \text{ m}$$

$$z = d - d_2 = 0,307 - 0,048 = 0,259 \text{ m}$$

$$y_1 = z - \sqrt{z^2 - 2 * x_1 * \left( a + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} * (d_1 + \Delta h) \right)}$$

$$y_1 = 0,259 - \sqrt{0,259^2 - 2 * 0,0045 * \left( 0,128 + \frac{18,24}{91,18} * (0,033 + 0,01) \right)} = 0,0024 \text{ m}$$

$$\theta = \tan \frac{d}{z} = \tan \frac{0,260}{0,26} = 1,11 \text{ rad}$$

$$F_c = \frac{F_{Ed}}{\sin \theta} = \frac{67,63}{\sin 1,11} = 75,40 \text{ kN}$$

$$F_{cy} = \cos \theta * F_c = \cos 1,11 * 75,40 = 33,34 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,y} = \frac{F_{cy}}{b * y_1} = \frac{33,34}{1,0 * 0,0024} = 14,02 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd,max} \geq \sigma_{c,y}$$

$$14,96 > 14,02 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

$$w = \sqrt{x_1 + y_1} = \sqrt{0,0045 + 0,0024} = 0,0051 \text{ m}$$

$$\sigma_c = \frac{F_c}{b * w} = \frac{75,40}{1,0 * 0,0051} = 14,76 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd,max} \geq \sigma_c$$

$$14,96 > 14,76 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

$$F_t = F_{Ed} * \frac{a}{z} + H_{Ed} = 67,63 * \frac{0,128}{0,26} + 18,24 = 46,87 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,req} = \frac{F_t}{f_{yd}} = \frac{46,87}{435000} = 1,08 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}$$

$$A_s = \emptyset R6/200 = 1,41 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Pro vzpěru s příčným tahem platí: tahová síla T dosahuje svého maxima ve čtvrtinách délky vzpěry H a je charakterizována hodnotou:

$$T = \frac{1}{4} * \frac{b - a}{b} * F_{Ed} = \frac{1}{4} * \frac{1,0 - 0,128}{1,0} * 67,63 = 14,75 \text{ kN}$$

$$H = \sqrt{a^2 + z^2} = \sqrt{0,128^2 + 0,26^2} = 0,29 \text{ m}$$

$$F_{t,Rd} = f_{ctd} * b * \frac{1}{2} * H = \frac{2600}{1,5} * 1,0 * \frac{1}{2} * 0,29 = 278,94 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} \geq T$$

$$278,94 > 14,75 \text{ kN}$$

Příčné tahy dokáže přenést beton

### Výpočet maximální posouvající síly

Smyková výztuže bude kromě smykových účinků přenášet i zatížení vyvozená krátkou konzolou, na které jsou uloženy stropní panely. Výpočet proveden alternativním způsobem pro jeden stříh třmínků (1/2 posouvajících sil pro dvojstřížný třmínek).

$$V_{Ed,pr} = \frac{1}{2} * (g_{k,pr} * \gamma_G) * L_p$$

$$V_{Ed,pr} = \frac{1}{2} * (19,37 * 1,35) * 5,38$$

$$V_{Ed,pr} = 70,34 \text{ kN}$$



$$V_{Ed,pan} = \frac{1}{2} * F_{Ed} * L_p = \frac{1}{2} * 67,63 * 5,38 = 181,93 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * V_{Ed,pr} + V_{Ed,pan} = \frac{1}{2} * 70,34 + 181,93 = 217,10 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{V_{Ed} * \left[ \frac{L_p}{2} - (a_1 + d) \right]}{\frac{L_p}{2}}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{217,10 * \left( \frac{5,38}{2} - (0,09 + 0,5495) \right)}{\frac{5,38}{2}} = 165,49 \text{ kN}$$

### Smyková únosnost betonu bez podélné výztuže

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b * d$$

*minimálně však:  $(v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b * d$*

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k_1 * \sigma_{cp} = 0,15 * \sigma_{cp} = 0 ; \text{ bez vlivu normálové síly}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{549,5}} = 1,60 ; \text{ maximálně } \leq 2$$

$$\rho_l = \frac{A_{s1}}{b * d} = \frac{9,42 * 10^{-4}}{0,4 * 0,5495} = 0,0043 ; \text{ maximálně } < 0,02$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 * 1,6^{\frac{3}{2}} * 30^{\frac{1}{2}} = 0,39 \text{ MPa}$$

$$(v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b * d = (0,39 + 0) * 0,4 * 0,5495 = 0,088 \text{ MN}$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 * 1,6 * (100 * 0,0043 * 30)^{\frac{1}{3}} + 0 \right] * 0,4 * 0,5495 = 0,108 \text{ MN}$$

$$V_{Rd,c} = 108 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed,1}$$

$$108 \not\geq 165,49 \text{ kN}$$

Nevyhoví. Je potřeba navrhnout smykovou výztuž.

### Smyková únosnost průřezu se smykovou výztuží

$$V_{Rd} = \min\{V_{Rd,max}; V_{Rd,s}\}$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} * b_w * z * v_l * f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$$v_l = 0,6 * \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 * \left[ 1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1 * 0,4 * 0,52 * 0,528 * 20 * 10^3}{\cot 30 + \tan 30} = 946,98 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$$

$$946,98 > 217,10 \text{ kN}$$

Vyhovuje

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} * z * f_{ywd} * \cot \theta$$

$$s_{req} = \frac{A_{sw}}{V_{Ed,1}} * z * f_{ywd} * \cot \theta$$

$$s_{req} = \frac{0,5 * 10^{-4}}{165,49} * 0,52 * 435 * \cot 30 = 0,118 \text{ m}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{0,5 * 10^{-4}}{0,10} * 0,52 * 435 * \cot 30 = 195,05 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} > V_{Ed,1}$$

$$195,05 > 165,49 \text{ kN}$$

Vyhovuje

### Konstrukční zásady

#### Maximální podélná vzdálenost třmíneků

$$s_{l,max} = 0,75 * d * (1 + \cot \alpha) = 0,75 * 0,5495 * (1 + \cot 90^\circ) = 0,412 \text{ m}$$

#### Maximální příčná vzdálenost větví třmíneků

$$s_{t,max} = 0,75 * d = 0,75 * 0,5495 = 0,412 \text{ m}$$

#### Stupeň vyztužení

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w * s} = \frac{1,01 * 10^{-4}}{0,4 * 0,1} = 0,0025$$

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 * \sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_w \geq \rho_{w,min}$$

$$0,0025 > 0,00088$$

Vyhovuje

Smyková výztuž je navržena z třmenů ØR8 po vzdálenosti 100 mm. Osová vzdálenost větví třmínku je 0,332 m.

### Dílčí návrh

Pro úsporný návrh bude vzdálenost třmínků, ve vzdálenosti 1,5m od kraje průvlaku, zvětšena na 200 mm.

$$V_{Ed,1,5} = \frac{V_{Ed} * \left[ \frac{L_p}{2} - 1,5 \right]}{\frac{L_p}{2}} = \frac{217,10 * \left( \frac{5,38}{2} - 1,5 \right)}{\frac{5,38}{2}} = 96,04 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s,1,5} = \frac{0,5 * 10^{-4}}{0,2} * 0,52 * 435 * \cot 30 = 97,52 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s,1,5} > V_{Ed,1,5}$$

$$97,52 > 96,04 \text{ kN}$$

Vyhovuje

### Konstrukční zásady

#### Maximální podélná vzdálenost třmínků

$$s_{l,max} = 0,75 * d * (1 + \cot \alpha) = 0,75 * 0,5495 * (1 + \cot 90^\circ) = 0,412 \text{ m}$$

#### Maximální příčná vzdálenost větví třmínků

$$s_{t,max} = 0,75 * d = 0,75 * 0,5495 = 0,412 \text{ m}$$

### Stupeň vyztužení

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w * s} = \frac{1,01 * 10^{-4}}{0,4 * 0,2} = 0,00125$$

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 * \sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_w \geq \rho_{w,min}$$

$$0,00125 > 0,00088$$

Vyhovuje

### Návrh smykové výztuže nutné k zachycení kroutících sil.

#### Charakteristiky průřezu

$$b = 0,45 \text{ m}$$

$$u = 2 * (b + h) = 2 * (0,45 + 0,6) = 2,1 \text{ m}$$

$$h = 0,6 \text{ m}$$

$$a_1 = 0,085 \text{ m}$$

$$t_{ef} = \frac{A}{u} = \frac{0,27}{2,1} = 0,129 \text{ m}$$

$$A = b * h = 0,45 * 0,6 = 0,27 \text{ m}^2$$

$$b_k = b - t_{ef} = 0,45 - 0,129 = 0,321 \text{ m}$$

$$u_k = 2 * (b_k + h_k) = 1,586 \text{ m}$$

$$h_k = h - t_{ef} = 0,6 - 0,129 = 0,471 \text{ m}$$

$$A_k = b_k * h_k = 0,1586 \text{ m}^2$$

**Kroutící moment**

$$t_{Ed} = v_{Ed} * [b - y_t + a_1]$$

$$t_{Ed} = 37,28 * [0,4 - 0,248 + 0,085] = 8,86 \text{ kNm}$$

**Návrhový kroutící moment na mezi únosnosti**

$$t_{Rd,c} = 2 * A_k * t_{ef,i} * f_{ctd}$$

$$t_{Rd,c} = 2 * 0,1586 * 0,129 * 1,33 * 10^3 = 54,42 \text{ kNm}$$

$$v = 0,6 * (1 - f_{ck}/250) = 0,6 * (1 - 30/250) = 0,528$$

$$t_{Rd,max} = 2 * v * f_{cd} * A_k * t_{ef} * \sin \theta * \cos \theta$$

$$t_{Rd,max} = 2 * 0,528 * 20 * 10^3 * 0,1586 * 0,129 * \sin 30^\circ * \cos 30^\circ = 187,10 \text{ kNm}$$

**Posouzení**

$$t_{Rd,c} \geq t_{Ed}$$

$$54,42 > 8,86 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

$$t_{Rd,max} \geq t_{Ed}$$

$$187,1 > 8,86 \text{ kNm}$$

Vyhovuje, není třeba navrhovat výztuž na kroucení, pouze dodržet konstrukční zásady.

**Posouzení tlačných diagonál**

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} + \frac{t_{Ed}}{t_{Rd,max}} < 1$$

$$\frac{217,10}{946,98} + \frac{8,86}{187,10} < 1$$

$$0,28 < 1$$

Vyhovuje

## Mezní stav použitelnosti

### Omezení průhybu

Součinitel dotvarování pro suché prostředí při  $h_o$ :

$$h_o = \frac{2 * A_c}{u} = \frac{2 * h * b}{2 * (b + h)} = \frac{0,6 * 0,4}{0,4 + 0,6} = 0,24 \text{ m}$$

Zatížení:  $t_o = 28 \text{ dní: } \varphi_{(\infty; t_o)} = 2,2$

Smršťování:  $t_o = 7 \text{ dní: } \varphi_{(\infty; t_o)} = 2,7$

Poměrné smršťování:  $\varepsilon_{cs} = -0,0006$

### Dílce bez trhlin

$$A_c = b * h = 0,40 * 0,6 = 0,24 \text{ m}^2$$

$$S_{c0} = A_c * \frac{h}{2} = 0,24 * \frac{0,6}{2} = 0,072 \text{ m}^3$$

$$I_{c0} = \frac{b * h^3}{3} = \frac{0,4 * 0,6^3}{3} = 0,0288 \text{ m}^4$$

$$A_s = 0,0011,68 \text{ m}^2$$

$$S_{s0} = A_s * d = 0,001168 * 0,5495 = 0,00064 \text{ m}^3$$

$$I_{s0} = S_{s0} * d = 0,00064 * 0,5495 = 0,00035 \text{ m}^4$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi_c)} = \frac{32}{(1 + 2,2)} = 10 \text{ GPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{10} = 20$$

$$A_i = A_c + \alpha_e * A_s = 0,24 + 20 * 0,001168 = 0,263 \text{ m}^2$$

$$a_{gi} = \frac{S_{c0} + \alpha_e * S_{s0}}{A_i} = \frac{0,072 + 20 * 0,00064}{0,263} = 0,322 \text{ m}$$

$$I_i = I_{c0} + \alpha_e * I_{s0} - A_i * a_{gi}^2$$

$$I_i = 0,0288 + 20 * 0,00035 - 0,322 * 0,263^2 = 0,0085 \text{ m}^4$$

### Ohybová poddajnost

$$C_{l,lt} = \frac{1}{E_{c,eff} * 1000 * I_i} = \frac{1}{10 * 1000 * 0,0085} = 0,0117 \text{ (MN)}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

### Ohybový moment při vzniku trhlin

$$M_{cr,lt} = f_{ctm} * \frac{I_i}{h - a_{gi}} = 2,9 * \frac{0,0085}{0,6 - 0,322} = 88,97 \text{ kNm}$$

### Ideální průřez s vyloučeným taženým betonem

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{10} = 20$$

Platí:

$$\varepsilon_{s1} = -\varepsilon_c * (d - x)/x$$

$$F_{cc} = 0,5 * b * x * \varepsilon_c * E_{cm}$$

$$F_{s1} = A_{s1} * \varepsilon_{s1} * E_s$$

$$F_{cc} + F_{s1} = 0$$

$$0,5 * b * x * \varepsilon_c * E_{cm} - A_{s1} * \frac{\varepsilon_c (d - x)}{x} * E_s = 0$$

$$x^2 + \frac{2\alpha_e}{b} A_{s1} x - \frac{2\alpha_e}{b} A_{s1} d = 0$$

$$x^2 + \frac{2 * 20}{0,4} * 0,001168 * x - \frac{2 * 20}{0,4} * 0,001168 * 0,5495 = 0$$

$$x = 0,202 \text{ m}$$

$$I_i = \frac{1}{3} * b * x^3 + \alpha_e * [A_{s1} * (d - x)^2]$$

$$I_i = \frac{1}{3} * 0,4 * 0,202^3 + 20 * [0,001168 * (0,5495 - 0,202)^2] = 0,00392 \text{ m}^4$$

**Ohybová poddajnost**

$$C_{II,lt} = \frac{1}{E_{c,eff} * 1000 * I_i} = \frac{1}{10000 * 0,00392} = 0,0255 (\text{MN})^{-1} \text{ m}^{-2}$$

**Křivost ohybové čáry vlivem smršťování**

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi_{cs})} = \frac{32}{(1 + 2,7)} = 8,65 \text{ GPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{8,65} = 23,125$$

**Dílce bez trhlin**

$$A_i = A_c + \alpha_e * A_s = 0,24 + 23,125 * 0,001168 = 0,267 \text{ m}^2$$

$$a_{gi} = \frac{S_{c0} + \alpha_e * S_{s0}}{A_i} = \frac{0,072 + 23,125 * 0,00064}{0,267} = 0,325 \text{ m}$$

$$I_i = I_{c0} + \alpha_e * I_{s0} - A_i * a_{gi}^2$$

$$I_i = 0,0288 + 23,125 * 0,00035 - 0,267 * 0,325^2 = 0,0087 \text{ m}^4$$

**Křivost od smršťování**

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs,l} = -\varepsilon_{cs} * \alpha_e * \frac{S_{s0} - A_s * a_{gi}}{I_i}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs,I} = 0,0006 * 23,125 * \frac{0,00064 - 0,001168 * 0,325}{0,0087} = 0,000417$$

**Dílce s plně rozvinutými trhlinami**

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{8,65} = 23,125$$

$$x^2 + \frac{2 * \alpha_e}{b} * A_{s1} * x - \frac{2\alpha_e}{b} * A_{s1} * d = 0$$

$$x^2 + \frac{2 * 23,125}{0,4} * 0,001168 * x - \frac{2 * 23,125}{0,4} * 0,001168 * 0,5495 = 0$$

$$x = 0,213 \text{ m}$$

$$I_i = \frac{1}{3} b x^3 + \alpha_e * [A_{s1} (d - x)^2]$$

$$I_i = \frac{1}{3} 0,4 * 0,213^3 + 23,125 * [0,001168 * (0,5495 - 0,213)^2] = 0,00435 \text{ m}^4$$

**Křivost od smršťování**

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs,II} = -\varepsilon_{cs\infty} * \alpha_e * \frac{S_{s0} - A_s x}{I_i}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs,II} = 0,0006 * 23,125 * \frac{0,00064 - 0,001168 * 0,213}{0,00435} = 0,00125 \text{ m}^{-1}$$

**Výsledná křivost od smršťování**

$$\beta = 0,5$$

$$\xi = 1 - \beta * \left(\frac{M_{cr,lt}}{M_{gk}}\right)^2 = 1 - 0,5 * \left(\frac{88,97}{99,94}\right)^2 = 0,604$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs} = (1 - \xi) * \left(\frac{1}{r}\right)_{cs,I} + \xi * \left(\frac{1}{r}\right)_{cs,II}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs} = (1 - 0,604) * 0,000417 + 0,604 * 0,00125 = 0,00092 \text{ m}^{-1}$$

**Zatížení do vzniku trhlin**

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cr,lt} = M_{cr,lt} * C_{I,lt} = 88,97 * 0,0117 = 0,00166$$

**Zatížení po vzniku trhlin**

$$\beta = 0,5$$

$$\xi_{cr,lt} = 1 - \beta * \left(\frac{M_{cr,lt}}{M_{ik}}\right)^2 = 1 - 0,5 * \left(\frac{88,97}{88,97}\right)^2 = 0,5$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cr,lt} = M_{ik} * [(1 - \xi_{cr,lt}) * C_{I,lt} + \xi_{cr,lt} * C_{II,lt}]$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cr,lt} = 88,97 * [(1 - 0,5) * 0,0117 + 0,5 * 0,0255] = 0,00155 \text{ m}^{-1}$$

$$\xi_{g,lt} = 1 - \beta * \left(\frac{M_{cr,lt}}{M_{gk}}\right)^2 = 1 - 0,5 * \left(\frac{88,97}{99,94}\right)^2 = 0,604$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{g,lt} = M_{gk} * [(1 - \xi_{g,lt}) * C_{I,lt} + \xi_{g,lt} * C_{II,lt}]$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{g,lt} = 99,94 * [(1 - 0,604) * 0,0117 + 0,604 * 0,0255] = 0,002 \text{ m}^{-1}$$

### Výpočet průhybu

Při výpočtu průhybu se předpokládá konstantní tuhost nosníku, určená pro průřez uprostřed rozpětí, po celé délce rozpětí:

$$f_{cs} = \frac{1}{8} * \left(\frac{1}{r}\right)_{cs} l^2 = \frac{1}{8} * 0,00092 * 5,38^2 = 0,0033 \text{ m}$$

$$f_{g,lt} = \frac{5}{48} * \left(\frac{1}{r}\right)_{g,lt} l^2 = \frac{5}{48} * 0,002 * 5,38^2 = 0,0061 \text{ m}$$

### Dlouhodobý průhyb od kvazistálého zatížení včetně smršťování:

$$f_{lt} = f_{cs} + f_{g,lt} = 0,0033 + 0,0061 = 0,0094 \text{ m}$$

$$f_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{5,38}{250} = 0,021 \text{ m}$$

$$f_{lim} \geq f_{lt}$$

$$0,021 > 0,0094 \text{ m}$$

Vyhovuje

### Omezení šířky trhlin

$$\sigma_s = f_{yd} * \frac{M_{Ek,\psi 2}}{M_{Rd}} = 435 * \frac{99,94}{263,06} = 165,19 \text{ MPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{32} = 6,25$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5 * (h - d); (h - x)/3; h/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5 * (0,6 - 0,5495); (0,6 - 0,213)/3; 0,6/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{0,126; 0,129; 0,3\} = 0,129 \text{ m}$$

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} * b = 0,129 * 0,4 = 0,0516 \text{ m}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}} = \frac{0,001168}{0,0516} = 0,023$$



$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t * \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e * \rho_{p,eff})}{E_s}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{165,18 - 0,4 * \frac{2,9}{0,023} (1 + 6,25 * 0,023)}{200000} = 0,00054$$

$$c = c_{nom} + \phi_{tr} = 30 + 8 = 38 \text{ mm}$$

$$\phi = \frac{n_1 * \phi_1^2 + n_2 * \phi_2^2}{n_1 * \phi_1 + n_2 * \phi_2} = \frac{2 * 12^2 + 3 * 20^2}{2 * 12 + 3 * 20} = 17,71 \text{ mm}$$

$$s_{r,max} = k_3 * c + k_1 * k_2 * k_4 * \phi / \rho_{p,eff}$$

$$s_{r,max} = 3,4 * 38 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * \frac{17,71}{0,023} = 259,40 \text{ mm}$$

$$w_k = s_{r,max} * (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 259,40 * 0,00054 = 0,139 \text{ mm}$$

Doporučená šířka trhliny  $w_{lim}$  pro beton třídy prostředí XC1 je 0,4 mm.

$$w_k \leq w_{lim}$$

$$0,139 < 0,4 \text{ mm}$$

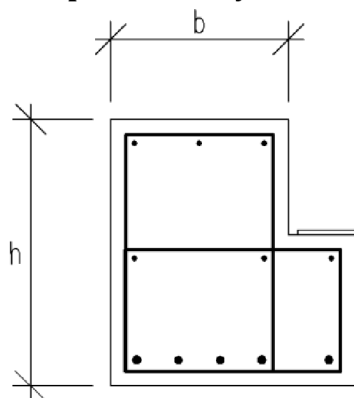
Vyhovuje

Navrhovaný prvek vyhoví na mezní stav únosnosti i použitelnosti.

#### 4.1.4 NÁVRH A POSOUZENÍ PRŮVLAKU PR3

Průvlak PR2 je zatěžován vlastní tíhou, tíhou ztužující stěny a zatížením stropního panelu. V příčném řezu má maximální rozměr 600x550 mm oslabený zářezem pro uložení stropního panelu 150x260 mm.

#### Vstupní hodnoty



$$L_p = 4,18 \text{ m}$$

C 30/37 - XC1 - S3

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

B500B

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$L_s = 5,43 \text{ m}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

$$A = 0,24 \text{ m}^2$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

#### Zatížení

##### Výpočet ohybového momentu od kvazistálé kombinace

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * [g_k + (q_k * L_s / 2) * \psi_2] * L_p^2$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * \left[ 34,23 + \left( 3,8 * \frac{5,43}{2} \right) * 0,8 \right] * 4,18^2 = 92,79 \text{ kNm}$$

##### Výpočet ohybového momentu od časté kombinace

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * [g_k + (q_k * L_s / 2)] * L_p^2$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * \left[ 34,23 + \left( 3,8 * \frac{5,43}{2} \right) \right] * 4,18^2 = 97,30 \text{ kNm}$$

##### Výpočet maximálního ohybového momentu

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * [g_k * \gamma_G + (q_k * L_s / 2) * \gamma_Q] * L_p^2$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * \left[ 34,23 * 1,35 + \left( 3,8 * \frac{5,43}{2} \right) * 1,5 \right] * 4,18^2 = 134,73 \text{ kNm}$$

#### Mezní stav únosnosti

##### Betonová krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$c_{min} = \max\{25; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 25 + 5 \cong 30 \text{ mm}$$

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing_{Tr} + \frac{\varnothing}{2} = 30 + 8 + \frac{14}{2} \cong 45 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 0,6 - 0,045 = 0,555 \text{ m}$$

**Požadovaná plocha výztuže**

$$A_{s,req} = b * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}}} \right)$$

$$A_{s,req} = 0,40 * 0,555 * \frac{20}{435} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 134,73}{0,40 * 0,555^2 * 20 * 10^3}} \right) = 5,75 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Návrhová plocha výztuže na základě požadavku**

$$A_{s1} = 3\varnothing R14 + 2\varnothing R10 = (4,62 + 1,57) * 10^{-4} = 6,19 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Poloha neutrálné osy:**

$$F_s - F_c = 0$$

$$A_{s1} * f_{yd} = f_{cd} * \lambda * x * b$$

$$x = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{f_{cd} * b * \lambda} = \frac{6,19 * 10^{-4} * 435}{20 * 0,40 * 0,8} = 0,042 \text{ m}$$

**Kontrola využití výztuže**

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x)$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,0035}{0,042} (0,555 - 0,042) = 0,0422$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{435}{200 * 10^3} = 0,002175$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$$

$$0,0422 \geq 0,002175$$

Danou vrstvou výztuže lze považovat za plně využitou

**Rameno vnitřních sil**

$$z_c = d - 0,5 * \lambda * x$$

$$z_c = 0,555 - 0,5 * 0,8 * 0,042 = 0,54 \text{ m}$$

**Moment na mezi únosnosti**

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z_c$$

$$M_{Rd} = 6,19 * 10^{-4} * 435 * 10^3 * 0,54 = 144,91 \text{ kNm}$$

## Posouzení únosnosti

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$144,91 > 134,73 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

## Konstrukční zásady

### Kontrola míry vyztužení

$$A_{s,min1} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d$$

$$A_{s,min1} = 0,26 * \frac{2,9}{500} * 0,40 * 0,555 = 3,34 * 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,min2} = 0,0013 * b * d$$

$$A_{s,min2} = 0,0013 * 0,40 * 0,555 = 2,89 * 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 * b * h$$

$$A_{s,max} = 0,04 * 0,40 * 0,6 = 96,00 * 10^{-4} m^2$$

$$\max\{A_{s,min1}; A_{s,min2}\} \leq A_{s1} \leq A_{s,max}$$

$$3,34 < 6,19 < 96,00 [* 10^{-4} m^2]$$

Vyhovuje

## Výpočet maximální posouvající síly

Smyková výztuže bude kromě smykových účinků přenášet i zatížení vyvozená krátkou konzolou, na které jsou uloženy stropní panely. Výpočet proveden alternativním způsobem pro jeden stříh třmínků (1/2 posouvajících sil pro dvojstřížný třmínek).

$$V_{Ed,pr} = \frac{1}{2} * (g_{k,pr} * \gamma_G) * L_p$$

$$V_{Ed,pr} = \frac{1}{2} * (19,37 * 1,35) * 4,18$$

$$V_{Ed,pr} = 54,65 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,pan} = \frac{1}{2} * F_{Ed} * L_p = \frac{1}{2} * 67,63 * 4,18 = 141,35 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * V_{Ed,pr} + V_{Ed,pan} = \frac{1}{2} * 54,65 + 141,35 = 168,67 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{V_{Ed} * \left[ \frac{L_p}{2} - (a_1 + d) \right]}{\frac{L_p}{2}}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{168,67 * \left( \frac{5,38}{2} - (0,09 + 0,555) \right)}{\frac{5,38}{2}} = 116,62 \text{ kN}$$

### Smyková únosnost betonu bez podélné výztuže

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b * d$$

*minimálně však:  $(v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b * d$*

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k_1 * \sigma_{cp} = 0,15 * \sigma_{cp} = 0 ; \text{ bez vlivu normálové síly}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{555}} = 1,60 ; \text{ maximálně } \leq 2$$

$$\rho_l = \frac{A_{s1}}{b * d} = \frac{4,62 * 10^{-4}}{0,4 * 0,555} = 0,0021 ; \text{ maximálně } < 0,02$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 * 1,6^{\frac{3}{2}} * 30^{\frac{1}{2}} = 0,39 \text{ MPa}$$

$$(v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b * d = (0,39 + 0) * 0,4 * 0,555 = 0,089 \text{ MN}$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 * 1,6 * (100 * 0,0021 * 30)^{\frac{1}{3}} + 0 \right] * 0,4 * 0,555 = 0,085 \text{ MN}$$

$$V_{Rd,c} = 89 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed,1}$$

$$89 \not\geq 116,62 \text{ kN}$$

Nevyhoví. Je potřeba navrhnout smykovou výztuž.

### Smyková únosnost průřezu se smykovou výztuží

$$V_{Rd} = \min\{V_{Rd,max} ; V_{Rd,s}\}$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} * b_w * z * v_l * f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$$v_l = 0,6 * \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 * \left[ 1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1 * 0,4 * 0,54 * 0,528 * 20 * 10^3}{\cot 30 + \tan 30} = 984,34 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$$

$$984,34 > 168,67 \text{ kN}$$

Vyhovuje

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} * z * f_{ywd} * \cot \theta$$

$$s_{req} = \frac{A_{sw}}{V_{Ed,1}} * z * f_{ywd} * \cot \theta$$

$$s_{req} = \frac{0,5 * 10^{-4}}{116,62} * 0,54 * 435 * \cot 30 = 0,174 \text{ m}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{0,5 * 10^{-4}}{0,150} * 0,54 * 435 * \cot 30 = 135,16 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} > V_{Ed,1}$$

$$135,16 > 116,62 \text{ kN}$$

Vyhovuje

### Konstrukční zásady

#### Maximální podélná vzdálenost třmíneků

$$s_{l,max} = 0,75 * d * (1 + \cot \alpha) = 0,75 * 0,555 * (1 + \cot 90^\circ) = 0,416 \text{ m}$$

#### Maximální příčná vzdálenost větví třmíneků

$$s_{t,max} = 0,75 * d = 0,75 * 0,555 = 0,416 \text{ m}$$

#### Stupeň vyztužení

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w * s} = \frac{1,01 * 10^{-4}}{0,4 * 0,15} = 0,0017$$

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 * \sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_w \geq \rho_{w,min}$$

$$0,0017 > 0,00088$$

Vyhovuje

Smyková výztuž je navržena z třmenů ØR8 po vzdálenosti 150 mm. Osová vzdálenost větví třmínku je 0,332 m.

## Dílčí návrh

Pro úsporný návrh bude vzdálenost třmínek, ve vzdálenosti 1,5m od kraje průvlaku, zvětšena na 300 mm.

$$V_{Ed,1,5} = \frac{V_{Ed} * \left[ \frac{L_p}{2} - 1,5 \right]}{\frac{L_p}{2}} = \frac{168,67 * \left( \frac{5,38}{2} - 1,5 \right)}{\frac{5,38}{2}} = 47,62 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s,1,5} = \frac{0,5 * 10^{-4}}{0,3} * 0,52 * 435 * \cot 30 = 67,58 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s,1,5} > V_{Ed,1,5}$$

$$67,58 > 47,62 \text{ kN}$$

Vyhovuje

## Konstrukční zásady

### Maximální podélná vzdálenost třmínek

$$s_{l,max} = 0,75 * d * (1 + \cot \alpha) = 0,75 * 0,555 * (1 + \cot 90^\circ) = 0,416 \text{ m}$$

### Maximální příčná vzdálenost větví třmínek

$$s_{t,max} = 0,75 * d = 0,75 * 0,555 = 0,416 \text{ m}$$

## Stupeň vyztužení

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w * s} = \frac{1,01 * 10^{-4}}{0,4 * 0,3} = 0,00083$$

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 * \sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_w \geq \rho_{w,min}$$

$$0,00083 > 0,00088$$

Nevyhovuje.

Z hlediska konstrukčních zásad bude maximální rozteč třmínek zmenšena na 250 mm.

## Návrh smykové vyztuže nutné k zachycení krotících sil.

### Charakteristiky průřezu

$$b = 0,45 \text{ m}$$

$$t_{ef} = \frac{A}{u} = \frac{0,27}{2,1} = 0,129 \text{ m}$$

$$h = 0,6 \text{ m}$$

$$b_k = b - t_{ef} = 0,45 - 0,129 = 0,321 \text{ m}$$

$$a_1 = 0,085 \text{ m}$$

$$h_k = h - t_{ef} = 0,6 - 0,129 = 0,471 \text{ m}$$

$$A = b * h = 0,45 * 0,6 = 0,27 \text{ m}^2$$

$$u_k = 2 * (b_k + h_k) = 1,586 \text{ m}$$

$$u = 2 * (b + h) = 2 * (0,45 + 0,6) = 2,1 \text{ m}$$

$$A_k = b_k * h_k = 0,1586 \text{ m}^2$$

### Kroutící moment

$$t_{Ed} = v_{Ed} * [b - y_t + a_1]$$

$$t_{Ed} = 37,28 * [0,4 - 0,248 + 0,085] = 8,86 \text{ kNm}$$

### Návrhový kroutící moment na mezi únosnosti

$$t_{Rd,c} = 2 * A_k * t_{ef,i} * f_{ctd}$$

$$t_{Rd,c} = 2 * 0,1586 * 0,129 * 1,33 * 10^3 = 54,42 \text{ kNm}$$

$$v = 0,6 * (1 - f_{ck}/250) = 0,6 * (1 - 30/250) = 0,528$$

$$t_{Rd,max} = 2 * v * f_{cd} * A_k * t_{ef} * \sin \theta * \cos \theta$$

$$t_{Rd,max} = 2 * 0,528 * 20 * 10^3 * 0,1586 * 0,129 * \sin 30^\circ * \cos 30^\circ = 187,10 \text{ kNm}$$

### Posouzení

$$t_{Rd,c} \geq t_{Ed}$$

$$54,42 > 8,86 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

$$t_{Rd,max} \geq t_{Ed}$$

$$187,1 > 8,86 \text{ kNm}$$

Vyhovuje, není třeba navrhovat výztuž na kroucení, pouze dodržet konstrukční zásady.

### Posouzení tlačných diagonál

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} + \frac{t_{Ed}}{t_{Rd,max}} < 1$$

$$\frac{217,10}{946,98} + \frac{8,86}{187,10} < 1$$

$$0,28 < 1$$

Vyhovuje

### Mezní stav použitelnosti

#### Omezení průhybu

#### Součinitel dotvarování pro suché prostředí při $h_o$ :

$$h_o = \frac{2 * A_c}{u} = \frac{2 * h * b}{2 * (b + h)} = \frac{0,6 * 0,4}{0,4 + 0,6} = 0,24 \text{ m}$$

Zatížení:  $t_o = 28 \text{ dní: } \varphi_{(\infty;t_o)} = 2,2$

Smršťování:  $t_o = 7 \text{ dní: } \varphi_{(\infty;t_o)} = 2,7$

Poměrné smršťování:  $\varepsilon_{cs} = -0,0006$



### Dílce bez trhlin

$$A_c = b * h = 0,40 * 0,6 = 0,24 \text{ m}^2$$

$$S_{c0} = A_c * \frac{h}{2} = 0,24 * \frac{0,6}{2} = 0,072 \text{ m}^3$$

$$I_{c0} = \frac{b * h^3}{3} = \frac{0,4 * 0,6^3}{3} = 0,0288 \text{ m}^4$$

$$A_s = 0,0011,68 \text{ m}^2$$

$$S_{s0} = A_s * d = 0,001168 * 0,5495 = 0,00064 \text{ m}^3$$

$$I_{s0} = S_{s0} * d = 0,00064 * 0,5495 = 0,00035 \text{ m}^4$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi_c)} = \frac{32}{(1 + 2,2)} = 10 \text{ GPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{10} = 20$$

$$A_i = A_c + \alpha_e * A_s = 0,24 + 20 * 0,001168 = 0,263 \text{ m}^2$$

$$a_{gi} = \frac{S_{c0} + \alpha_e * S_{s0}}{A_i} = \frac{0,072 + 20 * 0,00064}{0,263} = 0,322 \text{ m}$$

$$I_i = I_{c0} + \alpha_e * I_{s0} - A_i * a_{gi}^2$$

$$I_i = 0,0288 + 20 * 0,00035 - 0,263 * 0,322^2 = 0,0085 \text{ m}^4$$

### Ohybová poddajnost

$$C_{I,lt} = \frac{1}{E_{c,eff} * 1000 * I_i} = \frac{1}{10 * 1000 * 0,0085} = 0,0117 \text{ (MN)}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

### Ohybový moment při vzniku trhlin

$$M_{cr,lt} = f_{ctm} * \frac{I_i}{h - a_{gi}} = 2,9 * \frac{0,0085}{0,6 - 0,322} = 88,97 \text{ kNm}$$

### Ideální průřez s vyloučeným taženým betonem

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{10} = 20$$

Platí:

$$\varepsilon_{s1} = -\varepsilon_c * (d - x) / x$$

$$F_{cc} = 0,5 * b * x * \varepsilon_c * E_{cm}$$

$$F_{s1} = A_{s1} * \varepsilon_{s1} * E_s$$

$$F_{cc} + F_{s1} = 0$$

$$0,5 * b * x * \varepsilon_c * E_{cm} - A_{s1} * \frac{\varepsilon_c(d-x)}{x} * E_s = 0$$

$$x^2 + \frac{2\alpha_e}{b} A_{s1} x - \frac{2\alpha_e}{b} A_{s1} d = 0$$

$$x^2 + \frac{2 * 20}{0,4} * 0,001168 * x - \frac{2 * 20}{0,4} * 0,001168 * 0,5495 = 0$$

$$x = 0,202 \text{ m}$$

$$I_i = \frac{1}{3} * b * x^3 + \alpha_e * [A_{s1} * (d-x)^2]$$

$$I_i = \frac{1}{3} * 0,4 * 0,202^3 + 20 * [0,001168 * (0,5495 - 0,202)^2] = 0,00392 \text{ m}^4$$

### Ohybová poddajnost

$$C_{II,lt} = \frac{1}{E_{c,eff} * 1000 * I_i} = \frac{1}{10000 * 0,00392} = 0,0255 (\text{MN})^{-1} \text{ m}^{-2}$$

### Křivost ohybové čáry vlivem smršťování

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi_{cs})} = \frac{32}{(1 + 2,7)} = 8,65 \text{ GPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{8,65} = 23,125$$

### Dílce bez trhlin

$$A_i = A_c + \alpha_e * A_s = 0,24 + 23,125 * 0,001168 = 0,267 \text{ m}^2$$

$$a_{gi} = \frac{S_{c0} + \alpha_e * S_{s0}}{A_i} = \frac{0,072 + 23,125 * 0,00064}{0,267} = 0,325 \text{ m}$$

$$I_i = I_{c0} + \alpha_e * I_{s0} - A_i * a_{gi}^2$$

$$I_i = 0,0288 + 23,125 * 0,00035 - 0,267 * 0,325^2 = 0,0087 \text{ m}^4$$

### Křivost od smršťování

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs,l} = -\varepsilon_{cs} * \alpha_e * \frac{S_{s0} - A_s * a_{gi}}{I_i}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs,l} = 0,0006 * 23,125 * \frac{0,00064 - 0,001168 * 0,325}{0,0087} = 0,000417$$

### Dílce s plně rozvinutými trhlinami

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{8,65} = 23,125$$

$$x^2 + \frac{2 * \alpha_e}{b} * A_{s1} * x - \frac{2\alpha_e}{b} * A_{s1} * d = 0$$

$$x^2 + \frac{2 * 23,125}{0,4} * 0,001168 * x - \frac{2 * 23,125}{0,4} * 0,001168 * 0,5495 = 0$$

$$x = 0,213 \text{ m}$$

$$I_i = \frac{1}{3} b x^3 + \alpha_e * [A_{s1} (d - x)^2]$$

$$I_i = \frac{1}{3} 0,4 * 0,213^3 + 23,125 * [0,001168 * (0,5495 - 0,213)^2] = 0,00435 \text{ m}^4$$

#### Křivost od smršťování

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs,II} = -\varepsilon_{cs\infty} * \alpha_e * \frac{S_{s0} - A_s x}{I_i}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs,II} = 0,0006 * 23,125 * \frac{0,00064 - 0,001168 * 0,213}{0,00435} = 0,00125 \text{ m}^{-1}$$

#### Výsledná křivost od smršťování

$$\beta = 0,5$$

$$\xi = 1 - \beta * \left(\frac{M_{cr,lt}}{M_{gk}}\right)^2 = 1 - 0,5 * \left(\frac{88,97}{99,94}\right)^2 = 0,604$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs} = (1 - \xi) * \left(\frac{1}{r}\right)_{cs,I} + \xi * \left(\frac{1}{r}\right)_{cs,II}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs} = (1 - 0,604) * 0,000417 + 0,604 * 0,00125 = 0,00092 \text{ m}^{-1}$$

#### Zatížení do vzniku trhlin

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cr,lt} = M_{cr,lt} * C_{I,lt} = 88,97 * 0,0117 = 0,00166$$

#### Zatížení po vzniku trhlin

$$\beta = 0,5$$

$$\xi_{cr,lt} = 1 - \beta * \left(\frac{M_{cr,lt}}{M_{ik}}\right)^2 = 1 - 0,5 * \left(\frac{88,97}{88,97}\right)^2 = 0,5$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cr,lt} = M_{ik} * [(1 - \xi_{cr,lt}) * C_{I,lt} + \xi_{cr,lt} * C_{II,lt}]$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cr,lt} = 88,97 * [(1 - 0,5) * 0,0117 + 0,5 * 0,0255] = 0,00155 \text{ m}^{-1}$$

$$\xi_{g,lt} = 1 - \beta * \left(\frac{M_{cr,lt}}{M_{gk}}\right)^2 = 1 - 0,5 * \left(\frac{88,97}{99,94}\right)^2 = 0,604$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{g,lt} = M_{gk} * [(1 - \xi_{g,lt}) * C_{I,lt} + \xi_{g,lt} * C_{II,lt}]$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{g,lt} = 99,94 * [(1 - 0,604) * 0,0117 + 0,604 * 0,0255] = 0,002 \text{ m}^{-1}$$

### Výpočet průhybu

Při výpočtu průhybu se předpokládá konstantní tuhost nosníku, určená pro průřez uprostřed rozpětí, po celé délce rozpětí:

$$f_{cs} = \frac{1}{8} * \left(\frac{1}{r}\right)_{cs} l^2 = \frac{1}{8} * 0,00092 * 5,38^2 = 0,0033 \text{ m}$$

$$f_{g,lt} = \frac{5}{48} * \left(\frac{1}{r}\right)_{g,lt} l^2 = \frac{5}{48} * 0,002 * 5,38^2 = 0,0061 \text{ m}$$

### Dlouhodobý průhyb od kvazistálého zatížení včetně smršťování:

$$f_{lt} = f_{cs} + f_{g,lt} = 0,0033 + 0,0061 = 0,0094 \text{ m}$$

$$f_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{5,38}{250} = 0,021 \text{ m}$$

$$f_{lim} \geq f_{lt}$$

$$0,021 > 0,0094 \text{ m}$$

Vyhovuje

### Omezení šířky trhlin

$$\sigma_s = f_{yd} * \frac{M_{Ek,\psi 2}}{M_{Rd}} = 435 * \frac{99,94}{263,06} = 165,19 \text{ MPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{32} = 6,25$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5 * (h - d); (h - x)/3; h/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{2,5 * (0,6 - 0,5495); (0,6 - 0,213)/3; 0,6/2\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{0,126; 0,129; 0,3\} = 0,129 \text{ m}$$

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} * b = 0,129 * 0,4 = 0,0516 \text{ m}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s1}}{A_{c,eff}} = \frac{0,001168}{0,0516} = 0,023$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t * \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e * \rho_{p,eff})}{E_s}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{165,18 - 0,4 * \frac{2,9}{0,023} (1 + 6,25 * 0,023)}{200000} = 0,00054$$

$$c = c_{nom} + \phi_{tr} = 30 + 8 = 38 \text{ mm}$$

$$\phi = \frac{n_1 * \phi_1^2 + n_2 * \phi_2^2}{n_1 * \phi_1 + n_2 * \phi_2} = \frac{2 * 12^2 + 3 * 20^2}{2 * 12 + 3 * 20} = 17,71 \text{ mm}$$

$$s_{r,max} = k_3 * c + k_1 * k_2 * k_4 * \phi / \rho_{p,eff}$$

$$s_{r,max} = 3,4 * 38 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * \frac{17,71}{0,023} = 259,40 \text{ mm}$$

$$w_k = s_{r,max} * (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 259,40 * 0,00054 = 0,139 \text{ mm}$$

Doporučená šířka trhliny  $w_{lim}$  pro beton třídy prostředí XC1 je 0,4 mm.

$$w_k \leq w_{lim}$$

$$0,139 < 0,4 \text{ mm}$$

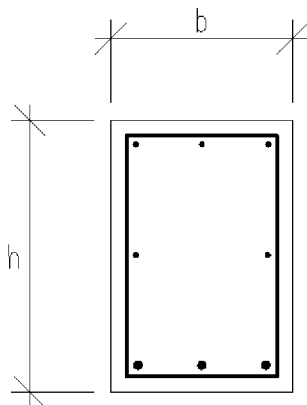
Vyhovuje

Navrhovaný prvek vyhoví na mezní stav únosnosti i použitelnosti.

#### 4.1.5 NÁVRH A POSOUZENÍ PRŮVLAKU PR4

Průvlak PR1 je zatěžován vlastní tíhou, tíhou ztužující stěny a zatížením stropního panelu. V příčném řezu má maximální rozměr 600x550 mm.

#### Vstupní hodnoty



Rozměry:

$$L_p = 5,38 \text{ m}$$

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

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$A = 0,24 \text{ m}^2$$

Materiálové charakteristiky:

C 30/37 - XC1 - S3

B500B

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

#### Zatížení

Výpočet ohybového momentu od kvazistálé i časté kombinace

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * [g_k] * L_p^2$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * [19,37] * 5,38^2 = 70,08 \text{ kNm}$$

Výpočet maximálního ohybového momentu

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * [g_k * \gamma_G] * L_p^2$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * [19,37 * 1,35] * 5,38^2 = 94,61 \text{ kNm}$$

## Mezní stav únosnosti

### Betonová krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$c_{min} = \max\{25; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 25 + 5 \cong 30 \text{ mm}$$

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing_{Tr} + \frac{\varnothing}{2} = 30 + 8 + \frac{14}{2} \cong 45 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 0,6 - 0,045 = 0,555 \text{ m}$$

### Požadovaná plocha výztuže

$$A_{s,req} = b * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}}} \right)$$

$$A_{s,req} = 0,40 * 0,555 * \frac{20}{435} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 94,61}{0,40 * 0,555^2 * 20 * 10^3}} \right) = 4,00 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

### Návrhová plocha výztuže na základě požadavku

$$A_{s1} = 3\varnothing R14 = 4,62 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

### Poloha neutrálné osy: $F_s - F_c = 0$

$$A_{s1} * f_{yd} = f_{cd} * \lambda * x * b$$

$$x = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{f_{cd} * b * \lambda} = \frac{4,62 * 10^{-4} * 435}{20 * 0,40 * 0,8} = 0,0314 \text{ m}$$

### Kontrola využití výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x)$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,0035}{0,0314} (0,555 - 0,0314) = 0,058$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{435}{200 * 10^3} = 0,002175$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$$

$$0,058 \geq 0,002175$$

Danou vrstvu výztuže lze považovat za plně využitou

#### Rameno vnitřních sil

$$z_c = d - 0,5 * \lambda * x$$

$$z_c = 0,555 - 0,5 * 0,8 * 0,0314 = 0,54 \text{ m}$$

#### Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z_c$$

$$M_{Rd} = 4,62 * 10^{-4} * 435 * 10^3 * 0,54 = 109,01 \text{ kNm}$$

#### Posouzení únosnosti

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$109,01 > 94,61 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

#### Konstrukční zásady

##### Kontrola míry vyztužení

$$A_{s,min1} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d$$

$$A_{s,min1} = 0,26 * \frac{2,9}{500} * 0,40 * 0,555 = 3,34 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min2} = 0,0013 * b * d$$

$$A_{s,min2} = 0,0013 * 0,40 * 0,555 = 2,89 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 * b * h$$

$$A_{s,max} = 0,04 * 0,40 * 0,6 = 96 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\max\{A_{s,min1}; A_{s,min2}\} \leq A_{s1} \leq A_{s,max}$$

$$3,34 < 4,62 < 96 [* 10^{-4} \text{ m}^2]$$

Vyhovuje

#### Výpočet maximální posouvající síly

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * (g_k * \gamma_G) * L_p$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * (19,37 * 1,35) * 5,38$$

$$V_{Ed} = 70,34 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{V_{Ed} * \left[ \frac{L_p}{2} - (a_1 + d) \right]}{\frac{L_p}{2}}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{70,34 * \left( \frac{5,38}{2} - (0,09 + 0,555) \right)}{\frac{5,38}{2}} = 53,48 \text{ kN}$$

### Smyková únosnost betonu bez podélné výztuže

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b * d$$

minimálně však:  $(v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b * d$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k_1 * \sigma_{cp} = 0,15 * \sigma_{cp} = 0 ; \text{ bez vlivu normálové síly}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{555}} = 1,60 ; \text{ maximálně } \leq 2$$

$$\rho_l = \frac{A_{s1}}{b * d} = \frac{4,62 * 10^{-4}}{0,4 * 0,555} = 0,00208 ; \text{ maximálně } < 0,02$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 * 1,6^{\frac{3}{2}} * 30^{\frac{1}{2}} = 0,39 \text{ MPa}$$

$$(v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b * d = (0,39 + 0) * 0,4 * 0,555 = 0,089 \text{ MN}$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 * 1,6 * (100 * 0,00208 * 30)^{\frac{1}{3}} + 0 \right] * 0,4 * 0,555 = 0,085 \text{ MN}$$

$$V_{Rd,c} = 89,00 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed,1}$$

$$89,00 > 53,48 \text{ kN}$$

Vyhoví, smyková výztuž bude navržena z hlediska konstrukčních zásad.

### Konstrukční zásady

#### Maximální podélná vzdálenost třmínků

$$s_{l,max} = 0,75 * d * (1 + \cot \alpha) = 0,75 * 0,5495 * (1 + \cot 90^\circ) = 0,412 \text{ m}$$

#### Maximální příčná vzdálenost větví třmínků

$$s_{t,max} = 0,75 * d = 0,75 * 0,5495 = 0,412 \text{ m}$$

### Stupeň vyztužení

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w * s} = \frac{1,01 * 10^{-4}}{0,4 * 0,25} = 0,001$$



$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 * \sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_w \geq \rho_{w,min}$$

$$0,001 > 0,00088$$

Vyhovuje

Smyková výztuž je navržena z třmenů ØR8 po vzdálenosti 250 mm. Osová vzdálenost větví třmenů je 0,332 m.

## Mezní stav použitelnosti

Omezení průhybu

Součinitel dotvarování pro suché prostředí při  $h_o$ :

$$h_o = \frac{2 * A_c}{u} = \frac{2 * h * b}{2 * (b + h)} = \frac{0,6 * 0,4}{0,4 + 0,6} = 0,24 \text{ m}$$

Zatížení:  $t_o = 28 \text{ dní: } \varphi_{(\infty; t_o)} = 2,2$

Smršťování:  $t_o = 7 \text{ dní: } \varphi_{(\infty; t_o)} = 2,7$

Poměrné smršťování:  $\varepsilon_{cs} = -0,0006$

## Dílce bez trhlin

$$A_c = b * h = 0,40 * 0,6 = 0,24 \text{ m}^2$$

$$S_{c0} = A_c * \frac{h}{2} = 0,24 * \frac{0,6}{2} = 0,072 \text{ m}^3$$

$$I_{c0} = \frac{b * h^3}{3} = \frac{0,4 * 0,6^3}{3} = 0,0288 \text{ m}^4$$

$$A_s = 0,000462 \text{ m}^2$$

$$S_{s0} = A_s * d = 0,000462 * 0,555 = 0,000256 \text{ m}^3$$

$$I_{s0} = S_{s0} * d = 0,000256 * 0,555 = 0,00014 \text{ m}^4$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi_c)} = \frac{32}{(1 + 2,2)} = 10 \text{ GPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{10} = 20$$

$$A_i = A_c + \alpha_e * A_s = 0,24 + 20 * 0,000462 = 0,25 \text{ m}^2$$

$$a_{gi} = \frac{S_{c0} + \alpha_e * S_{s0}}{A_i} = \frac{0,072 + 20 * 0,000256}{0,25} = 0,31$$

$$I_i = I_{c0} + \alpha_e * I_{s0} - A_i * a_{gi}^2$$

$$I_i = 0,0288 + 20 * 0,00014 - 0,25 * 0,31^2 = 0,0078m^4$$

### Ohybová poddajnost

$$C_{I,lt} = \frac{1}{E_{c,eff} * 1000 * I_i} = \frac{1}{10 * 1000 * 0,0078} = 0,0129 (MN)^{-1}m^{-2}$$

### Ohybový moment při vzniku trhlin

$$M_{cr,lt} = f_{ctm} * \frac{I_i}{h - a_{gi}} = 2,9 * \frac{0,0078}{0,6 - 0,31} = 77,64 kNm$$

$$M_{cr,lt} > M_{Ed,kva}$$

$$77,64 > 70,08 kNm$$

Prvek je navržen tak, že při kvazistálém zatížení trhliny nevznikají.

### Křivost ohybové čáry vlivem smršťování

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi_{cs})} = \frac{32}{(1 + 2,7)} = 8,65 GPa$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{8,65} = 23,125$$

### Dílce bez trhlin

$$A_i = A_c + \alpha_e * A_s = 0,24 + 23,125 * 0,000462 = 0,25 m^2$$

$$a_{gi} = \frac{S_{c0} + \alpha_e * S_{s0}}{A_i} = \frac{0,072 + 23,125 * 0,000256}{0,25} = 0,311 m$$

$$I_i = I_{c0} + \alpha_e * I_{s0} - A_i * a_{gi}^2$$

$$I_i = 0,0288 + 23,125 * 0,00014 - 0,25 * 0,311^2 = 0,0079 m^4$$

### Křivost od smršťování

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs,l} = -\varepsilon_{cs} * \alpha_e * \frac{S_{s0} - A_s * a_{gi}}{I_i}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs,l} = 0,0006 * 23,125 * \frac{0,000256 - 0,000462 * 0,311}{0,0079} = 0,000199$$

### Zatížení do vzniku trhlin

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cr,lt} = M_{cr,lt} * C_{I,lt} = 93,57 * 0,0113 = 0,001062$$

### Výpočet průhybu

Při výpočtu průhybu se předpokládá konstantní tuhost nosníku, určená pro průřez uprostřed rozpětí, po celé délce rozpětí:

$$f_{cs} = \frac{1}{8} * \left(\frac{1}{r}\right)_{cs,l} * l^2 = \frac{1}{8} * 0,000199 * 5,38^2 = 0,00072 m$$

$$f_{g,lt} = \frac{5}{48} * \left(\frac{1}{r}\right)_{g,lt} l^2 = \frac{5}{48} * 0 * 5,38^2 = 0 \text{ m}$$

**Dlouhodobý průhyb od kvazistálého zatížení včetně smršťování:**

$$f_{lt} = f_{cs} + f_{g,lt} = 0,00072 + 0 = 0,00072 \text{ m}$$

$$f_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{5,38}{250} = 0,021 \text{ m}$$

$$f_{lim} \geq f_{lt}$$

$$0,021 > 0,00072 \text{ m}$$

Vyhovuje

*Omezení šířky trhlin*

$$M_{cr,lt} > M_{Ed,kva}$$

$$77,64 > 70,08 \text{ kNm}$$

Prvek je navržen tak, že při kvazistálém zatížení trhliny nevznikají.

Navrhovaný prvek vyhoví na mezní stav únosnosti i použitelnosti. Vzhledem k absenci trhlin může být prvek s výhodou použit jako základový práh.

Průvlak P5 je vůči průvlaku P4 cca o 1,2 m kratší. Z hlediska statického bude vyztužen stejně jako průvlak P4, tak aby vyhověl konstrukčním zásadám. Oba tyto prvky budou po jejich rozměrové korekci použity jako základové prahy.

## 4.2 SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE

### Výpočet vnitřních sil

Vstupní parametry

$$l_1 = 6,0 \text{ m}$$

$$l_2 = 4,8 \text{ m}$$

$$\Delta l_{s1} = 1,11 \text{ m}$$

$$\Delta l_{s2} = 4,05 \text{ m}$$

$$\Delta l_{s2} = 3,69 \text{ m}$$

Zatížení sloupu

Stálé

Střešní plášť  $g_{k,spl} = 1,64 \text{ kN/m}^2$

Vlastní tíha  $g_{k,sl0,4} = 4,55 \text{ kN/m}'$

Vlastní tíha  $g_{k,sl1,0} = 10,56 \text{ kN/m}'$

Průvlak  $g_{k,pr} = 19,37 \text{ kN/m}'$

Strop 1NP  $g_{k,pan1} = 5,47 \text{ kN/m}^2$

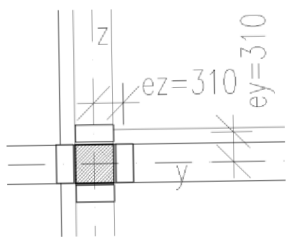
Strop 2NP  $g_{k,pan2} = 3,67 \text{ kN/m}^2$

Nahodilé

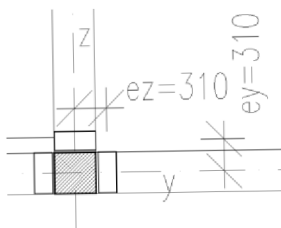
Klimatické  $q_{k,s} = 0,8 \text{ kN/m}^2$

Užitné  $q_{k,u} = 3,8 \text{ kN/m}^2$

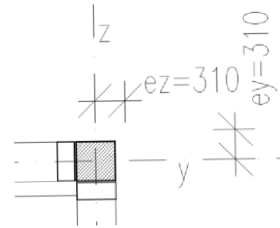
Případ 1.



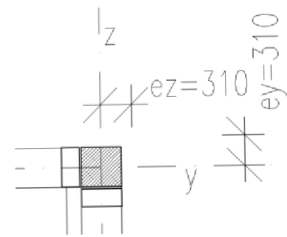
Případ 2.



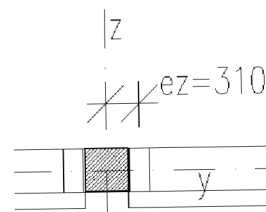
Případ 3.max



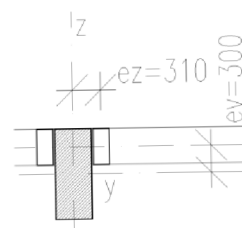
Případ 3.min



Případ 4.



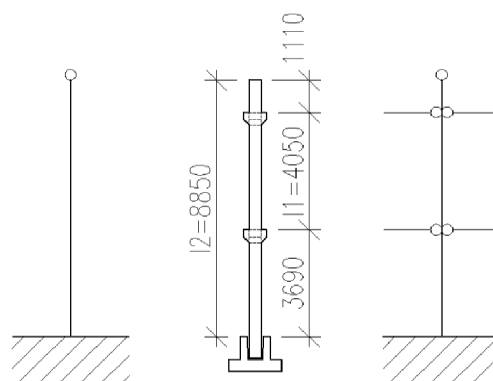
Případ 5



Vzpěrná délka

$$l_{0,1} = 1,0 * l_1 = 1,0 * 4,05 = 4,05 \text{ m}$$

$$l_{0,2} = 1,0 * l_2 = 2,0 * 8,85 = 17,70 \text{ m}$$



Minimální excentricita ve sloupu

Sloup ve směru šířky 0,4 m

$$e_i = \max \left\{ \frac{l_n}{400}; \frac{h}{30}; 20 \right\}$$

$$e_i = \max \left\{ \frac{l_0}{400}; \frac{h}{30}; 20 \right\} = \max \left\{ \frac{4050}{400}; \frac{400}{30}; 20 \right\} = \max \{10; 13; 20\} = 20 \text{ mm}$$

Sloup ve směru šířky 1,0 m

$$e_i = \max \left\{ \frac{l_n}{400}; \frac{h}{30}; 20 \right\}$$

$$e_i = \max \left\{ \frac{l_0}{400}; \frac{h}{30}; 20 \right\} = \max \left\{ \frac{17700}{400}; \frac{400}{30}; 20 \right\} = \max \{44,25; 13; 20\} = 44,25 \text{ mm}$$

Případ 1.

Typ zatížení	NEd,0	MEd,0y	MEd,0z	MEw,y	MEw,z	MEd,y	MEd,z
<b>Max NEd</b>	<b>1546,74</b>	50,61	111,34	147,02	147,02	197,63	258,36
Min NEd	926,94	30,84	59,34	147,02	147,02	177,86	206,36
Max MEd	1505,70	62,51	110,52	147,02	147,02	209,53	257,54

Případ 2.

Typ zatížení	NEd,0	MEd,0y	MEd,0z	MEw,y	MEw,z	MEd,y	MEd,z
Max NEd	1097,62	60,75	102,36	147,02	147,02	207,77	249,38
Min NEd	662,65	42,08	54,05	147,02	147,02	189,10	201,07
Max MEd	1097,62	60,75	102,36	147,02	147,02	207,77	249,38

Případ 3.

Typ zatížení	NEd,0	MEd,0y	MEd,0z	MEw,y	MEw,z	MEd,y	MEd,z
Max NEd	744,07	53,67	143,93	147,02	147,02	200,69	290,95
<b>Min NEd</b>	<b>368,44</b>	56,59	43,40	147,02	147,02	203,61	190,42
<b>Max MEd</b>	<b>744,07</b>	<b>53,67</b>	<b>143,93</b>	<b>147,02</b>	<b>147,02</b>	<b>200,69</b>	<b>290,95</b>

Případ 4.

Typ zatížení	NEd,0	MEd,0y	MEd,0z	MEw,y	MEw,z	MEd,y	MEd,z
Max NEd	1231,86	24,52	24,52	147,02	147,02	171,54	171,54
Min NEd	437,40	8,75	8,75	147,02	147,02	155,77	155,77
Max MEd	1149,78	22,88	48,32	147,02	147,02	169,90	195,34

Případ 5.

Typ zatížení	NEd,0	MEd,0y	MEd,0z	MEw,y	MEw,z	MEd,y	MEd,z
<b>Max NEd</b>	<b>734,90</b>	125,07	13,98	294,04	147,02	419,11	161,00
<b>Min NEd</b>	<b>325,87</b>	83,17	6,07	294,04	147,02	377,21	153,09
<b>Max MEd</b>	734,90	125,07	13,98	294,04	147,02	<b>419,11</b>	<b>161,00</b>

#### 4.2.1 NÁVRH A POSOUZENÍ SLOUPU SL4

Sloupy přenášejí zatížení střešní konstrukce ve všech stádiích zatěžování, vlastní tíhu a montážní zatížení průvlaků. Rovněž pomáhají přenášet klimatická zatížení.

#### Mezní stav únosnosti

Vstupní parametry

$$c_y = c_z = b = h = 0,4 \text{ m}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$l = l_0 = 4,05 \text{ m}$$

$$N_{Ed} = -1546,74 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$M_1 = M_{top} = 21,45 \text{ kNm}$$

$$M_2 = M_{bot} = 258,36 \text{ kNm}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

Štíhlost prvku

$$r_m = \frac{M_1}{M_2} = \frac{21,45}{258,36} = 0,083$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - 0,083 = 1,617$$

$$n = \frac{|N_{Ed}|}{A_c * f_{cd}} = \frac{1546,74}{0,4 * 0,4 * 20000} = 0,2325$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 * A * B * C}{\sqrt{n}} = \frac{20 * 0,7 * 1,1 * 1,617}{\sqrt{0,2325}} = 51,64$$

$$\lambda = \frac{l_0 * \sqrt{12}}{h} = \frac{4,05 * \sqrt{12}}{0,4} = 35,07$$

$$\lambda_{lim} \geq \lambda$$

$$51,64 > 35,07$$

Prvek můžeme považovat za masivní

Konstrukční zásady

Betonová krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$c_{min} = \max\{25; 25 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 25 + 5 \cong 30 \text{ mm}$$

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing_{Tr} + \frac{\varnothing}{2} = 30 + 6 + \frac{25}{2} \cong 48,5 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 0,40 - 0,0485 = 0,3515 \text{ m}$$

$$z = d - \frac{b}{2} = 0,3515 - \frac{0,4}{2} = 0,1515 \text{ m}$$

**Plochy výztuží a odpovídající síly:**

$$A_{s1} = 19,63 * 10^{-4} m^2 \text{ odpovídá } 4\varnothing R25$$

$$F_s = A_{s1} * f_{yd} = 19,63 * 10^{-4} * 435 * 10^3 = 854,12 \text{ kN}$$

**Kontrola vyztužení**

$$A_{s,min1} = \frac{0,1 * |N_{Ed}|}{f_{yd}} = \frac{0,1 * 1546,74}{435000} = 0,000356 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min2} = 0,002 * A_c = 0,002 * 0,4 * 0,4 = 0,00032 \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * 0,4 * 0,4 = 0,0064 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min2} < A_{s1} < A_{s,max}$$

$$0,000356 < 0,001963 < 0,0064 \text{ m}^2$$

vyhovuje

**Interakční diagram**

**Bod 0**

$$\sigma_s = \varepsilon_{c3} * E_s = 0,002 * 200000 = 400 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd0} = b * h * f_{cd} + \Sigma A_s * \sigma_s$$

$$N_{Rd0} = -0,4 * 0,4 * 20000 - 2 * 0,001018 * 400000 = -3202,36 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

**Bod 1**

$$N_{Rd1} = -(b * \lambda * d * f_{cd} + F_{s2})$$

$$N_{Rd1} = -(0,4 * 0,8 * 0,3515 * 20000 + 854,15) = -3103,72 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b * \lambda * d * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * d) + F_s * z$$

$$M_{Rd1} = 0,4 * 0,8 * 0,3515 * 20000 * 0,5 * (0,4 - 0,8 * 0,3515) + 854,15 * 0,1515$$

$$M_{Rd1} = 263,05 \text{ kNm}$$

**Bod 2**

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,002175$$



$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 + 0,002175} = 0,617$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 - 0,002175} = 2,641$$

$$\xi_{bal,1} * d \geq \xi_{bal,2} * d_1$$

$$0,617 * 0,3515 \geq 2,641 * 0,0485$$

$$0,217 > 0,128 \text{ m}$$

$$N_{Ed,bal} = -(\lambda * \xi_{bal,1} * b * d * f_{cd} + \Delta F_s)$$

$$N_{Ed,bal} = -(0,8 * 0,617 * 0,4 * 0,3515 * 20000 + 0) = -1387,42 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,bal} = \lambda * \xi_{bal,1} * b * d * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * \xi_{bal,1} * d) + 2 * F_s * z$$

$$M_{Rd,bal} = 0,8 * 0,617 * 0,4 * 0,3515 * 20000 * 0,5 * (0,4 - 0,8 * 0,617 * 0,3505) + \\ + 2 * 854,15 * 0,1515 = 415,97 \text{ kNm}$$

### Bod 3

$$x = \frac{F_s}{\lambda * b * f_{cd}} = \frac{854,12}{0,8 * 0,4 * 20000} = 0,133 \rightarrow \text{bez započítání tlačené výztuže}$$

$$N_{Ed3} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd3} = F_{s1} * (d - 0,5 * \lambda * x)$$

$$M_{Rd3} = 854,12 * (0,315 - 0,5 * 0,8 * 0,133) = 254,63 \text{ kNm}$$

### Bod 4

$$N_{Rd,bal} = F_s = 854,12 \text{ kN}$$

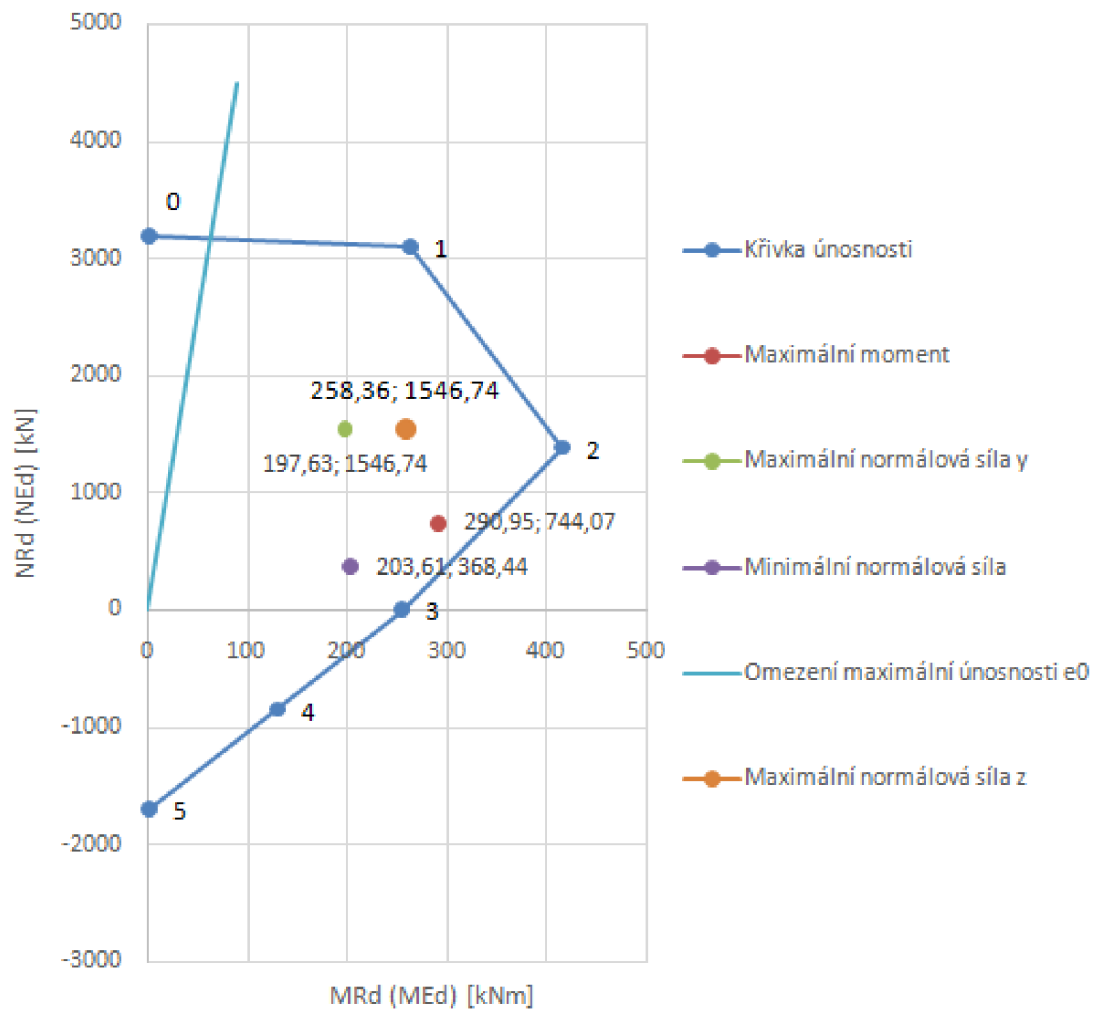
$$M_{Rd,bal} = F_s * z = 854,12 * 0,1515 = 129,4 \text{ kNm}$$

### Bod 5

$$N_{Rd,t} = 2 * F_s = 2 * 854,12 = 1708,24 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,t} = 0 \text{ kNm}$$

### Interakční diagram sloupu SL4



#### 4.2.2 NÁVRH A POSOUZENÍ SLOUPU SL1

Sloupy přenášejí zatížení střešní konstrukce ve všech stádiích zatěžování, vlastní tíhu a montážní zatížení průvlaků. Rovněž pomáhají přenášet klimatická zatížení.

##### Mezní stav únosnosti

Vstupní parametry

$$c_y = 0,4 \text{ m}$$

$$N_{Edy} = -734,90 \text{ kN}$$

$$c_z = 1,0 \text{ m}$$

$$M_{1y} = M_{top} = 27,63 \text{ kNm}$$

$$l_{0y} = 2 * l_y = 2 * 8,85 = 17,70 \text{ m}$$

$$M_{2y} = M_{bot} = 419,11 \text{ kNm}$$

$$l_{0z} = l_z = 4,05 \text{ m}$$

$$N_{Edz} = -734,90 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$M_{1z} = M_{top} = 20,47 \text{ kNm}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

$$M_{2z} = M_{bot} = 161,00 \text{ kNm}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

Ve směru momentu  $M_y$

Štíhlost prvku

$$r_m = \frac{M_1}{M_2} = \frac{27,63}{419,11} = 0,066$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - 0,066 = 1,634$$

$$n = \frac{|N_{Ed}|}{A_c * f_{cd}} = \frac{734,90}{0,4 * 1,0 * 20000} = 0,092$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 * A * B * C}{\sqrt{n}} = \frac{20 * 0,7 * 1,1 * 1,634}{\sqrt{0,092}} = 83,03 > 75$$

$$\lambda_y = \frac{l_0 * \sqrt{12}}{h} = \frac{17,70 * \sqrt{12}}{1,0} = 61,31$$

$$\lambda_{lim} \geq \lambda$$

$$75 > 61,31$$

Prvek můžeme považovat za masivní

Konstrukční zásady

Betonová krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$c_{min} = \max\{18; 25 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 25 + 5 \cong 30 \text{ mm}$$

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing_{Tr} + \frac{\varnothing}{2} = 30 + 6 + \frac{18}{2} \cong 45 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 1,0 - 0,045 = 0,955 \text{ m}$$

$$z = d - \frac{h}{2} = 0,955 - \frac{1,0}{2} = 0,455 \text{ m}$$

### Plochy výztuží a odpovídající síly:

$$A_{s1} = 10,18 * 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ odpovídá } 4\varnothing R18$$

$$F_s = A_{s1} * f_{yd} = 10,18 * 10^{-4} * 435 * 10^3 = 442,78 \text{ kN}$$

### Kontrola vyztužení

$$A_{s,min1} = \frac{0,1 * |N_{Ed}|}{f_{yd}} = \frac{0,1 * 734,90}{435000} = 0,000169 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min2} = 0,002 * A_c = 0,002 * 0,4 * 1,0 = 0,0008 \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * 0,4 * 1,0 = 0,016 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min2} < A_{s1} < A_{s,max}$$

$$0,0008 < 0,001018 < 0,016 \text{ m}^2$$

vyhovuje

### Interakční diagram

#### Bod 0

$$\sigma_s = \varepsilon_{c3} * E_s = 0,002 * 200000 = 400 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd0} = b * h * f_{cd} + \Sigma A_s * \sigma_s$$

$$N_{Rd0} = -0,4 * 1,0 * 20000 - 3 * 0,001018 * 400000 = -8001,22 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

#### Bod 1

$$N_{Rd1} = -(b * \lambda * d * f_{cd} + F_{s2})$$

$$N_{Rd1} = -(0,4 * 0,8 * 0,955 * 20000 + 442,78) = -6554,78 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b * \lambda * d * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * d) + F_s * z$$

$$M_{Rd1} = 0,4 * 0,8 * 0,955 * 20000 * 0,5 * (0,4 - 0,8 * 0,955) + 442,78 * 0,455$$

$$M_{Rd1} = 922,68 \text{ kNm}$$

### Bod 2

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,002175$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 + 0,002175} = 0,617$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 - 0,002175} = 2,641$$

$$\xi_{bal,1} * d \geq \xi_{bal,2} * d_1$$

$$0,617 * 0,955 \geq 2,641 * 0,045$$

$$0,59 > 0,12 \text{ m}$$

$$N_{Ed,bal} = -(\lambda * \xi_{bal,1} * b * d * f_{cd} + \Delta F_s)$$

$$N_{Ed,bal} = -(0,8 * 0,617 * 0,4 * 0,955 * 20000 + 0) = -3769,52 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,bal} = \lambda * \xi_{bal,1} * b * d * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * \xi_{bal,1} * d) + 2 * F_s * z$$

$$M_{Rd,bal} = 0,8 * 0,617 * 0,4 * 0,955 * 20000 * 0,5 * (1,0 - 0,8 * 0,617 * 0,955) + 2 * 442,78 * 0,455 = 1399,61 \text{ kNm}$$

### Bod 3

$$x = \frac{F_s}{\lambda * b * f_{cd}} = \frac{442,78}{0,8 * 0,4 * 20000} = 0,069 \rightarrow \text{bez započítání tlačené výztuže}$$

$$N_{Ed3} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd3} = F_{s1} * (d - 0,5 * \lambda * x)$$

$$M_{Rd3} = 442,78 * (0,955 - 0,5 * 0,8 * 0,069) = 410,60 \text{ kNm}$$

### Bod 4

$$N_{Rd,bal} = F_s = 442,78 \text{ kN}$$

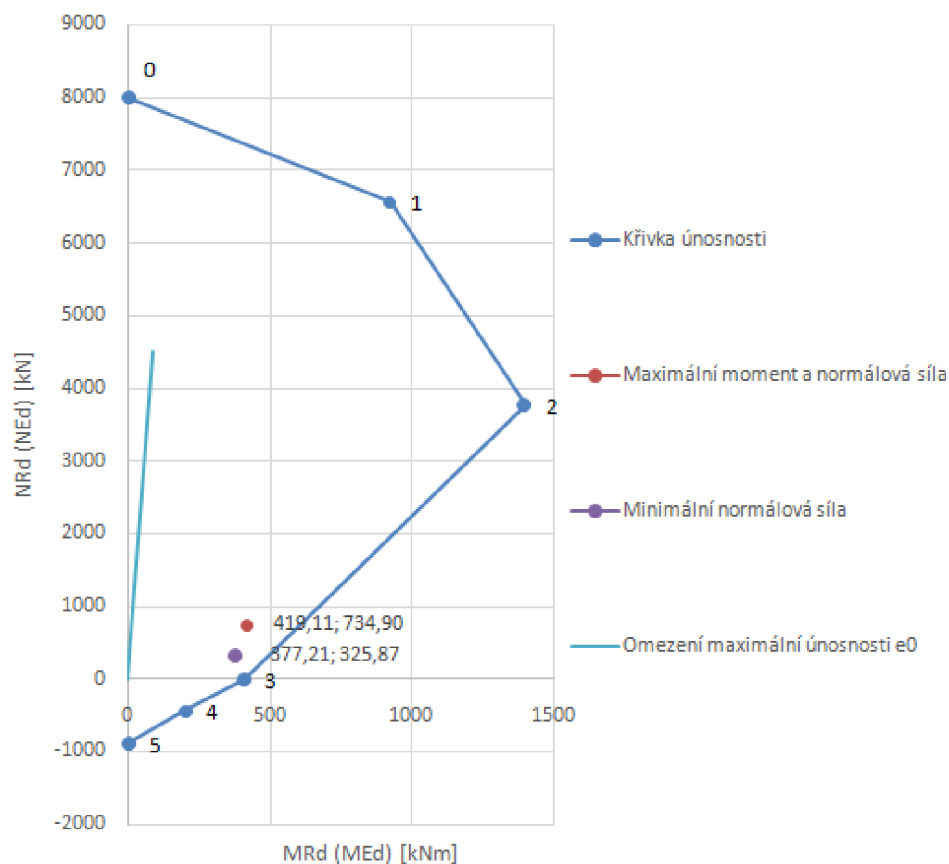
$$M_{Rd,bal} = F_s * z = 442,78 * 0,455 = 201,46 \text{ kNm}$$

### Bod 5

$$N_{Rd,t} = 2 * F_s = 2 * 442,78 = 885,56 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,t} = 0 \text{ kNm}$$

### Interakční diagram sloupu SL1 ve směru momentu $M_y$



### Ve směru momentu $M_z$

Štíhlost prvku

$$r_m = \frac{M_1}{M_2} = \frac{2,82}{555,06} = 0,005$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - 0,0051 = 1,695$$

$$n = \frac{|N_{Ed}|}{A_c * f_{cd}} = \frac{1121,82}{0,4 * 1,0 * 20000} = 0,14$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 * A * B * C}{\sqrt{n}} = \frac{20 * 0,7 * 1,1 * 1,695}{\sqrt{0,14}} = 79,92 > 75$$

$$\lambda_z = \frac{l_0 * \sqrt{12}}{h} = \frac{4,05 * \sqrt{12}}{0,4} = 35,07$$

$$\lambda_{lim} \geq \lambda_z$$

$$75 > 35,07$$

Prvek můžeme považovat za masivní

**Konstrukční zásady**  
**Betonová krycí vrstva**

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$c_{min} = \max\{18; 25 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 25 + 5 \cong 30 \text{ mm}$$

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing_{Tr} + \frac{\varnothing}{2} = 30 + 6 + \frac{18}{2} \cong 45 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 0,4 - 0,045 = 0,355 \text{ m}$$

$$z = d - \frac{h}{2} = 0,355 - \frac{0,4}{2} = 0,155 \text{ m}$$

**Plochy výztuží a odpovídající síly:**

$$A_{s1} = 10,18 * 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ odpovídá } 4\varnothing R18$$

$$F_s = A_{s1} * f_{yd} = 10,18 * 10^{-4} * 435 * 10^3 = 442,78 \text{ kN}$$

**Kontrola vyztužení**

$$A_{s,min1} = \frac{0,1 * |N_{Ed}|}{f_{yd}} = \frac{0,1 * 734,90}{435000} = 0,000169 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min2} = 0,002 * A_c = 0,002 * 0,4 * 1,0 = 0,0008 \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * 0,4 * 1,0 = 0,016 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min2} < A_{s1} < A_{s,max}$$

$$0,0008 < 0,001018 < 0,016 \text{ m}^2$$

vyhovuje

**Interakční diagram**

**Bod 0**

$$\sigma_s = \varepsilon_{c3} * E_s = 0,002 * 200000 = 400 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd0} = b * h * f_{cd} + \Sigma A_s * \sigma_s$$

$$N_{Rd0} = -1,0 * 0,4 * 20000 - 3 * 0,001018 * 400000 = -8001,35 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

**Bod 1**

$$N_{Rd1} = -(b * \lambda * d * f_{cd} + F_{s2})$$

$$N_{Rd1} = -(1,0 * 0,8 * 0,355 * 20000 + 442,78) = -6122,78 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b * \lambda * d * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * d) + F_s * z$$

$$M_{Rd1} = 1,0 * 0,8 * 0,355 * 20000 * 0,5 * (1,0 - 0,8 * 0,355) + 442,78 * 0,155$$

$$M_{Rd1} = 398,07 \text{ kNm}$$

### Bod 2

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,002175$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 + 0,002175} = 0,617$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 - 0,002175} = 2,641$$

$$\xi_{bal,1} * d \geq \xi_{bal,2} * d_1$$

$$0,617 * 0,355 \geq 2,641 * 0,045$$

$$0,22 > 0,12 \text{ m}$$

$$N_{Ed,bal} = -(\lambda * \xi_{bal,1} * b * d * f_{cd} + \Delta F_s)$$

$$N_{Ed,bal} = -(0,8 * 0,617 * 1,0 * 0,355 * 20000 + 0) = -3503,08 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,bal} = \lambda * \xi_{bal,1} * b * d * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * \xi_{bal,1} * d) + 2 * F_s * z$$

$$M_{Rd,bal} = 0,8 * 0,617 * 1,0 * 0,355 * 20000 * 0,5 * (0,4 - 0,8 * 0,617 * 0,355) + 2 * 442,78 * 0,155 = 531,09 \text{ kNm}$$

### Bod 3

$$x = \frac{F_s}{\lambda * b * f_{cd}} = \frac{442,78}{0,8 * 0,4 * 20000} = 0,028 \rightarrow \text{bez započítání tlačené výztuže}$$

$$N_{Ed3} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd3} = F_{s1} * (d - 0,5 * \lambda * x)$$

$$M_{Rd3} = 442,78 * (0,355 - 0,5 * 0,8 * 0,028) = 167,70 \text{ kNm}$$

### Bod 4

$$N_{Rd,bal} = F_s = 442,78 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,bal} = F_s * z = 442,78 * 0,155 = 68,63 \text{ kNm}$$

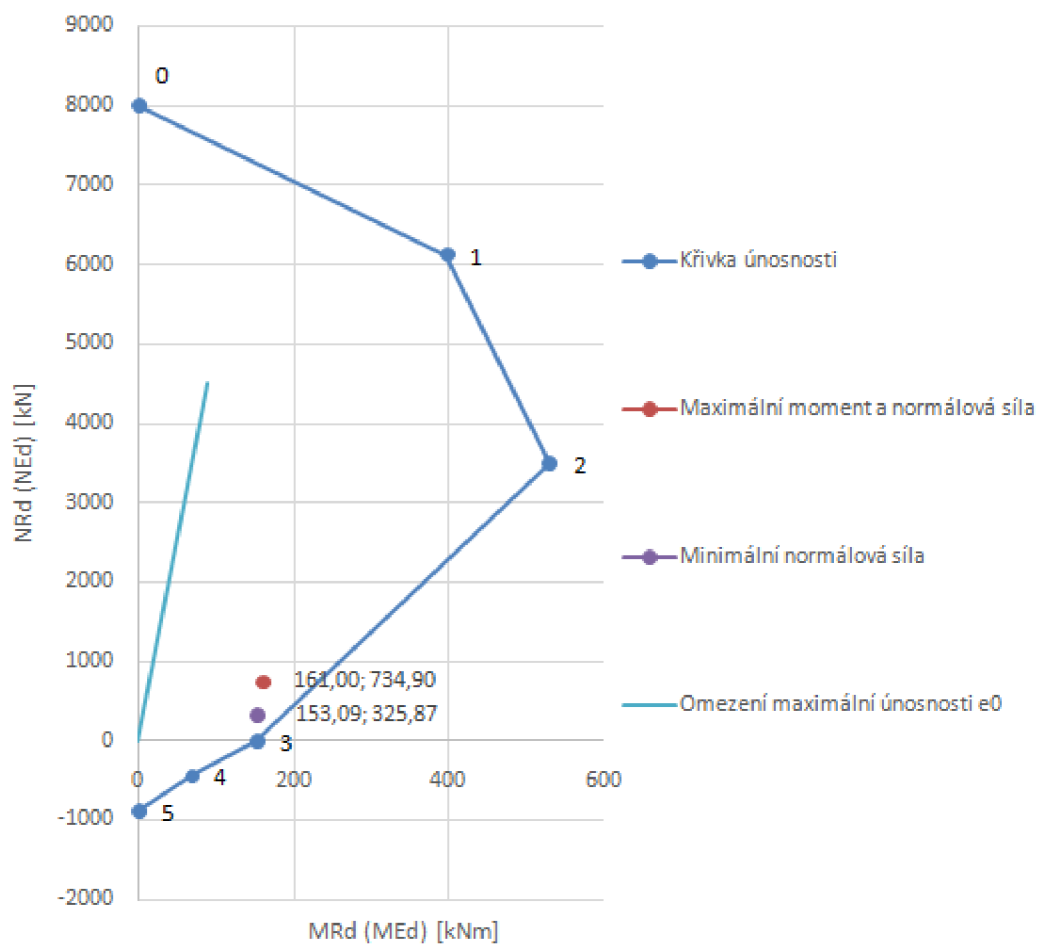
### Bod 5

$$N_{Rd,t} = 2 * F_s = 2 * 442,78 = 885,55 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,t} = 0 \text{ kNm}$$



Interakční diagram sloupu SL1 ve směru momentu  $M_y$



#### 4.2.3 NÁVRH KRÁTKÉ KONZOLY SLOUPŮ

##### Vstupní parametry

Zatížení konzoly

Rozměry:

Stálé

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

Průvlak

$$g_{k,pr} = 19,37 \text{ kN/m'}$$

$$h = 4,8 \text{ m}$$

Strop

$$g_{k,pan} = 5,47 \text{ kN/m}^2$$

$$a_c = 0,11 \text{ m}$$

$$d' = 0,057 \text{ m}$$

Nahodilé

$$\Delta h = 0,01 \text{ m}$$

Klimatické

$$q_{k,s} = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$d = 0,393 \text{ m}$$

Užitné

$$q_{k,u} = 3,8 \text{ kN/m}^2$$

$$a_v = 0,02 \text{ m}$$

$$A = 0,052 \text{ m}^2$$

$$A_s = 4\emptyset R14 = 6,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$b_k = 0,4 \text{ m}$$

##### Zatížení

##### Maximální působící síla

$$F_{Ed} = (g_{k,pr} \cdot b + g_{k,pan} \cdot b \cdot h) \cdot \gamma_G + b \cdot h \cdot g_{k,u} \cdot \gamma_Q$$

$$F_{Ed} = (19,37 \cdot 3 + 5,47 \cdot 3 \cdot 4,8) \cdot 1,35 + 3 \cdot 4,8 \cdot 3,8 \cdot 1,5 = 273,55 \text{ kN}$$

$$H_{Ed} = 0,2 \cdot F_{Ed} + F_{wd,1} = 0,2 \cdot 273,55 + 17,76 = 72,47 \text{ kN}$$

##### Posouzení

##### Styčnick CCC

$$v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{30}{250} = 0,88$$

$$\sigma_{Rd,max} = 1,0 \cdot v' \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,88 \cdot 20 = 17,60 \text{ MPa}$$

$$x_1 = \frac{F_{Ed}}{\sigma_{Rd,max} \cdot b} = \frac{273,55}{17600 \cdot 0,4} = 0,039 \text{ m}$$

$$a = a_c + 0,5 \cdot x_1 + \frac{F_{Ed}}{H_{Ed}} \cdot (d' + \Delta h)$$

$$a = 0,11 + 0,5 \cdot 0,039 + \frac{273,55}{72,47} \cdot (0,057 + 0,01) = 0,116 \text{ m}$$

$$y_1 = d - \sqrt{d^2 - 2 \cdot x_1 \cdot \left( a + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} \cdot (d' + \Delta h) \right)}$$

$$y_1 = 0,393 - \sqrt{0,393^2 - 2 * 0,039 * \left(0,116 + \frac{72,47}{273,55} * (0,057 + 0,01)\right)} = 0,0198 \text{ m}$$

$$z = d - 0,5 * y_1 = 0,393 - 0,5 * 0,0198 = 0,25 \text{ m}$$

$$\theta = \tan \frac{d}{z} = \tan \frac{0,393}{0,25} = 1,137 \text{ rad}$$

$$F_c = \frac{F_{Ed}}{\sin \theta} = \frac{273,55}{\sin 1,137} = 301,45 \text{ kN}$$

$$F_{cy} = \cos \theta * F_c = \cos 1,137 * 301,45 = 126,67 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,y} = \frac{F_{cy}}{b * y_1} = \frac{126,67}{0,4 * 0,0198} = 16,02 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd,max} \geq \sigma_{c,y}$$

$$17,60 > 16,02 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

$$w = \sqrt{x_1 + y_1} = \sqrt{0,039 + 0,0198} = 0,0436 \text{ m}$$

$$\sigma_c = \frac{F_c}{b * w} = \frac{301,45}{0,4 * 0,0436} = 17,29 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd,max} \geq \sigma_c$$

$$17,60 > 17,29 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

### Styčník CCT

$$v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{30}{250} = 0,88$$

$$\sigma_{Rd,max} = 0,85 * v' * f_{cd} = 0,85 * 0,88 * 20 = 14,96 \text{ MPa}$$

$$x_1 = \frac{F_{Ed}}{\sigma_{Rd,max} * b} = \frac{273,55}{14960 * 0,4} = 0,0457 \text{ m}$$

$$a = a_c + 0,5 * x_1 + \frac{F_{Ed}}{H_{Ed}} * (d' + \Delta h)$$

$$a = 0,11 + 0,5 * 0,0457 + \frac{273,55}{72,47} * (0,057 + 0,01) = 0,119 \text{ m}$$

$$y_1 = d - \sqrt{d^2 - 2 * x_1 * \left(a + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} * (d' + \Delta h)\right)}$$

$$y_1 = 0,393 - \sqrt{0,393^2 - 2 * 0,0457 * \left(0,119 + \frac{72,47}{273,55} - (0,057 + 0,01)\right)} = 0,024 \text{ m}$$

$$z = d - 0,5 * y_1 = 0,393 - 0,5 * 0,024 = 0,248 \text{ m}$$

$$F_t = F_{Ed} * \frac{a}{z} + H_{Ed} = 273,55 * \frac{0,119}{0,248} + 72,47 = 204,025 \text{ kN}$$

$$A_{s,req} = \frac{F_t}{f_{yd}} = \frac{204,025}{435000} = 4,69 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s \geq A_{s,req}$$

$$4\emptyset R14 = 6,16 > 4,69 [* 10^{-4} \text{ m}^2]$$

Vyhovuje

$$\theta = \tan \frac{d}{z} = \tan \frac{0,393}{0,248} = 1,12 \text{ rad}$$

$$F_c = \frac{F_{Ed}}{\sin \theta} = \frac{273,55}{\sin 1,12} = 303,54 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,Ed} = \frac{F_{Ed}}{A} = \frac{0,27355}{0,052} = 5,26 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd,max} \geq \sigma_{c,Ed}$$

$$14,96 > 5,26 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

$$\beta = \max\{0,25; a_v/2d\}$$

$$\beta = \max\{0,25; 0,02/2 * 0,393\} = \max\{0,25; 0,026\} = 0,25$$

$$A_{sv} = \beta * \frac{F_{Ed}}{f_{yd}} = 0,25 * \frac{273,55}{20000} = 1,57 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

*Konstrukční zásady*

$$A_{sw} \geq 0,25 * A_s = 0,25 * 6,16 * 10^{-4} = 1,57 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = 4\emptyset R8 = 2,01 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Konstrukční výztuž budou v podélném směru tvořit dva třmeny, tedy 4 $\emptyset$ R8. Svislé třmeny bude tvořit 6 $\emptyset$ R8. Tato výztuž současně dokáže přenést síly od vznikajících příčných tahů charakterizovaných hodnotou:

$$T = \frac{1}{4} * \frac{b-a}{b} * F_{Ed} = \frac{1}{4} * \frac{0,4 - 0,119}{0,4} * 273,55 = 48,00 \text{ kN}$$

## 4.3 ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE

### 4.3.1 ZVLÁŠTNÍ ZATÍŽENÍ ZÁKLADOVÝCH PATEK

#### Zatížení působící na patku plošně

Skladba	h [m]	gamam [kN/m3]	gk [kN/m2]	POZN.
Vlysová podlaha	0,02	7	0,14	
Betonová mazanina	0,08	25	2,00	
Tepelná izolace	0,15	0,35	0,05	
Podkladní beton	0,15	25	3,75	
Šterkový zásyp	1,25	17	21,25	
Stálé zatížení střešního vazníku:		gk	27,19	kN/m2

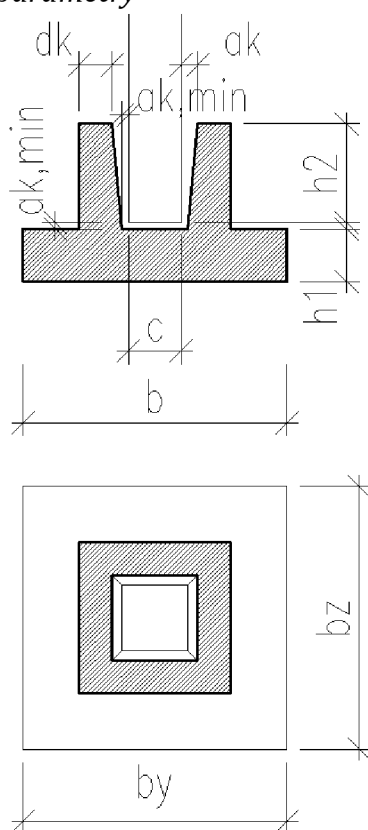
#### Přidaná zatížení

Skládají se z plošného zatížení základové patky, její vlastní tíhy zatížením sloupu a základovými prahy. Základové prahy budou uloženy s excentricitou 0,69 m.

### 4.3.2 NÁVRH A POSOUZENÍ KALICHOVÉ ZÁKLADOVÉ PATKY KP4 PRO SLOUP S4

#### Napětí v základové spáře

##### Vstupní parametry



$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$g_k = 27,19 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{zp,max} = 78,45 \text{ kN}$$

$$V_{zp,min} = 46,49 \text{ kN}$$

$$V_h = 51,04 \text{ kN}$$

$$h = 1,2 \text{ m}$$

$$e_v = 0,69 \text{ m}$$

$$b_y = b_z = 2,0 \text{ m}$$

#### Orientační návrh patky

$$b_y = b_z = 2,0 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,4 \text{ m}$$

$$c_y = c_z = 0,4 \text{ m}$$

$$h_2 \geq 1,2 * \max(c_y; c_z) = 1,2 * 0,4 = 0,6 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,75 \text{ m}$$

$$a_{k,min} = 0,05 \text{ m}$$

$$a_k = 0,1 * h_2 + a_{k,min} = 0,1 * 0,75 + 0,05 = 0,125 \text{ m}$$

$$d_k \geq (c_y + c_z + 4 * a_k) / 6 = (0,4 + 0,4 + 4 * 0,125) / 6 = 0,217$$

$$d_k = 0,25$$

$$S = \frac{2 * (c + 2 * (d_k + a_k))^2 - (c + 2 * a_{k,min})^2 - (c + 2 * a_k)^2}{2}$$

$$S = \frac{2 * (0,4 + 2 * (0,25 + 0,125))^2 - (0,4 + 2 * 0,05)^2 - (0,4 + 2 * 0,125)^2}{2}$$

$$S = 0,98625 \text{ m}^2$$

$$F_{pat,k} = [b_y * b_z * h_1 + S * (h_2 + a_{k,min})] * \gamma_m$$

$$F_{pat,k} = [2,0 * 2,0 * 0,4 + 0,98625 * (0,75 + 0,05)] * 25 = 59,725 \text{ kN}$$

Vnitřní síly

Typ zatížení	NEd,0	MEd,sy	MEd,sz	NEd	MEdy	MEdz	ey	ez
<b>Max NEd</b>	1546,74	197,63	258,36	<b>2110,79</b>	<b>265,15</b>	<b>325,88</b>	0,154	0,126
<b>Min NEd</b>	368,44	203,61	190,42	<b>629,91</b>	<b>245,37</b>	<b>232,45</b>	0,369	0,390
<b>Max MEd</b>	744,07	200,69	290,95	<b>1145,52</b>	<b>320,49</b>	<b>410,75</b>	0,359	0,280

Výpočet efektivní plochy základu

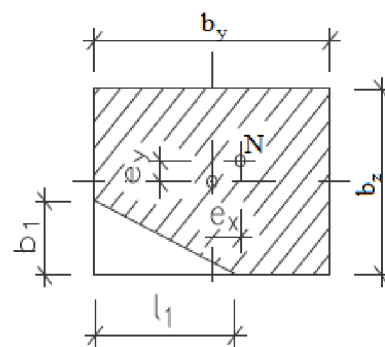
Výpočet efektivní plochy základu pro NEd,max

$$e_y < \frac{b_y}{6}$$

$$0,154 < \frac{2,0}{6} = 0,333$$

$$e_z < \frac{b_z}{6}$$

$$0,126 < \frac{2,0}{6} = 0,333$$



Při

$$l_1 * b_1 * (2 * l_1 - 3 * b_y - 6 * e_y) + 12 * b_y * b_z * e_y = 0$$

$$b_1 = 1,5 * b_z + (l_1 - 1,5 * b_y) * \frac{e_z}{e_y}$$

$$l_1 = 1,08 \text{ m}$$

$$b_1 = 1,5 * 2,0 + (1,08 - 1,5 * 2,0) * \frac{0,126}{0,154} = 1,44 \text{ m}$$

$$A_{eff} = b_y * b_z - 0,5 * l_1 * b_1 = 2,0 * 2,0 - 0,5 * 1,08 * 1,44 = 3,22 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{zs,1} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{2110,79}{3,22} = 655,04 \text{ kPa}$$

$$p_{zs,1} = \frac{N_{Ed,0}}{A_{eff}} = \frac{1546,74}{3,22} = 480,00 \text{ kPa}$$

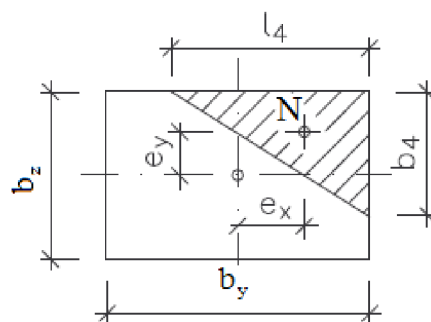
#### Výpočet efektivní plochy základu pro $N_{Ed,min}$

$$e_y > \frac{b_y}{6}$$

$$0,369 > \frac{2,0}{6} = 0,333$$

$$e_z > \frac{b_z}{6}$$

$$0,390 > \frac{2,0}{6} = 0,333$$



$$l_4 = 1,5 * (b_y - 2 * e_y) = 1,5 * (2,0 - 2 * 0,369) = 1,89 \text{ m}$$

$$b_4 = 1,5 * (b_z - 2 * e_z) = 1,5 * (2,0 - 2 * 0,390) = 1,83 \text{ m}$$

$$A_{eff} = 0,5 * l_4 * b_4 = 0,5 * 1,89 * 1,83 = 1,73 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{zs,2} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{629,91}{1,73} = 363,40 \text{ kPa}$$

$$p_{zs,2} = \frac{N_{Ed,0}}{A_{eff}} = \frac{368,44}{3,22} = 212,56 \text{ kPa}$$

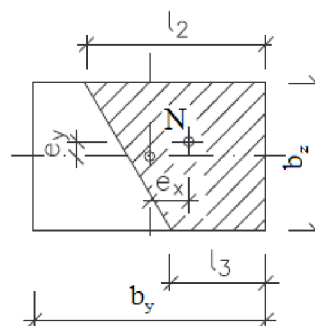
#### Výpočet efektivní plochy základu pro $M_{Ed,max}$

$$e_y > \frac{b_y}{6}$$

$$0,359 > \frac{2,0}{6} = 0,333$$

$$e_z < \frac{b_z}{6}$$

$$0,280 < \frac{2,0}{6} = 0,333$$



$$\alpha = \frac{b_z - 6 * e_z}{b_z + 6 * e_z} = \frac{2,0 - 6 * 0,280}{2,0 + 6 * 0,280} = 0,087$$

$$l_2 = 1,5 * \frac{(b_y - 2 * e_y) * (1 + \alpha)}{(\alpha^2 + \alpha + 1)} = 1,5 * \frac{(2,0 - 2 * 0,369) * (1 + 0,087)}{(0,087^2 + 0,087 + 1)} = 1,91 \text{ m}$$

$$l_3 = \alpha * l_2 = 0,087 * 1,91 = 0,17 \text{ m}$$

$$A_{eff} = 0,5 * b_z * (l_2 + l_3) = 0,5 * 2,0 * (1,91 + 0,17) = 2,08 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{zs,3} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{1145,52}{2,08} = 551,31 \text{ kPa}$$

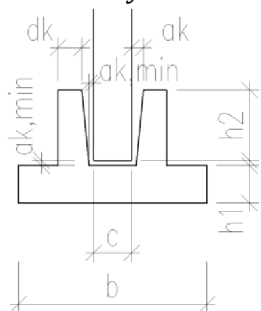
$$p_{zs,3} = \frac{N_{Ed,0}}{A_{eff}} = \frac{744,07}{2,08} = 358,10 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{zs} = \max\{\sigma_{zs,1}; \sigma_{zs,2}; \sigma_{zs,3}\} = 655,04 \text{ kPa}$$



## Posouzení únosnosti konzol základové patky KP4

### Vstupní hodnoty



$$h_1 = 0,4 \text{ m}$$

C 30/37 - XC1 - S3

$$c_y = c_z = 0,4 \text{ m}$$

B500B

$$p_{zs} = 480,00 \text{ kPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$h_2 = 0,75 \text{ m}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

$$a_k = 0,125 \text{ m}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$b_y = b_z = 2,0 \text{ m}$$

$$d_k = 0,25 \text{ m}$$

### Zatížení

#### Výpočet maximálního ohybového momentu

$$M_{Ed} = \frac{1}{2} * p_{zs} * \left(\frac{b-c}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} * 480,00 * \left(\frac{2,0 - 0,4}{2}\right)^2 = 153,60 \text{ kNm}$$

### Mezní stav únosnosti

#### Betonová krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$c_{min} = \max\{16; 25 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 25 + 5 \cong 30 \text{ mm}$$

$$d_1 = c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} = 30 + \frac{16}{2} \cong 38 \text{ mm}$$

$$d_y = h_1 - d_1 = 0,4 - 0,038 = 0,362 \text{ m}$$

$$d_z = d_y - \emptyset = 0,362 - 0,016 = 0,346 \text{ m}$$

$$d = \frac{d_y + d_z}{2} = \frac{0,362 + 0,346}{2} = 0,354 \text{ m}$$

#### Požadovaná plocha výztuže

$$A_{s,req} = b * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}}}\right)$$

$$A_{s,req} = 1,0 * 0,354 * \frac{20}{435} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 153,60}{1,0 * 0,354^2 * 20 * 10^3}}\right) = 10,30 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

#### Návrhová plocha výztuže na základě požadavku

$$A_{s1} = \emptyset R16/150 = 13,40 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Poloha neutrálné osy:**

$$F_s - F_c = 0$$

$$A_{s1} * f_{yd} = f_{cd} * \lambda * x * b$$

$$x = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{f_{cd} * b * \lambda} = \frac{13,40 * 10^{-4} * 435}{20 * 1,0 * 0,8} = 0,0364 \text{ m}$$

**Kontrola využití výztuže**

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x)$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,0035}{0,0364} (0,354 - 0,0364) = 0,0305$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{435}{200 * 10^3} = 0,002175$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$$

$$0,0305 \geq 0,002175$$

Danou vrstvu výztuže lze považovat za plně využitou

**Rameno vnitřních sil**

$$z_c = d - 0,5 * \lambda * x$$

$$z_c = 0,354 - 0,5 * 0,8 * 0,0364 = 0,34 \text{ m}$$

**Moment na mezi únosnosti**

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z_c$$

$$M_{Rd} = 13,40 * 10^{-4} * 435 * 10^3 * 0,34 = 197,85 \text{ kNm}$$

**Posouzení únosnosti**

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$197,85 > 153,60 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

**Konstrukční zásady**

**Kontrola míry vyztužení**

$$A_{s,min1} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d$$

$$A_{s,min1} = 0,26 * \frac{2,9}{500} * 1,0 * 0,354 = 5,34 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min 2} = 0,0013 * b * d$$

$$A_{s,min 2} = 0,0013 * 1,0 * 0,354 = 4,60 * 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 * b * h$$

$$A_{s,max} = 0,04 * 1,0 * 0,4 = 160 * 10^{-4} m^2$$

$$\max\{A_{s,min 1}; A_{s,min 2}\} \leq A_{s1} \leq A_{s,max}$$

$$5,34 < 13,40 < 160 [* 10^{-4} m^2]$$

Vyhovuje

### Posouzení na protlačení sloupu

$$v = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 * \left[ 1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$v_{Rd,max} = 0,5 * v * f_{cd} = 0,5 * 0,528 * 20 = 5,28 MPa$$

$$u_0 = 2 * (c_y + c_z) = 2 * (0,4 + 0,4) = 1,6 m$$

$$\beta = 1 + 1,8 \sqrt{\left(\frac{e_y}{b_y}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{b_z}\right)^2} = 1 + 1,8 \sqrt{\left(\frac{0,154}{2,0}\right)^2 + \left(\frac{0,126}{2,0}\right)^2} = 1,18$$

$$v_{Ed,0} = p_{zs} * (b_y * b_z - c_y * c_z) = 480,00 * (2,0 * 2,0 - 0,4 * 0,4) = 0,999 MPa$$

$$v_{Rd,max} \geq v_{Ed,0}$$

$$5,28 > 0,999 MPa$$

Vyhovuje.

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{354}} = 1,565 \leq 2$$

$$\rho_{ly} = \rho_{lz} = \rho_l = \sqrt{\rho_{lz} \rho_{ly}} = \frac{A_s}{(b * d)} = \frac{0,00134}{(1 * 0,354)} = 0,0379 \leq 0,02$$

$$v_{Rd,cn} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{\frac{1}{3}}$$

$$v_{Rd,c2} = 0,12 * 1,565 * (100 * 0,02 * 30)^{\frac{1}{3}} = 0,735 MPa$$

$$v_{min,n} = 0,035 k^2 \sqrt[3]{f_{ck}}$$

$$v_{min,2} = 0,035 * 1,565^{\frac{3}{2}} * \sqrt{30} = 0,3753$$

$$u_n = 2 * (c_y + c_z) + 2 * \pi * n * d$$

$$u_2 = 2 * (0,4 + 0,4) + 2 * \pi * 2 * 0,354 = 6,05 \text{ m}$$

$$\Delta A_n = c_y * c_z + 2 * c_y * n * d + 2 * c_z * n * d$$

$$\Delta A_2 = 0,4 * 0,4 + 2 * 0,4 * 2 * 0,354 + 2 * 0,4 * 2 * 0,354 = 3,74 \text{ m}^2$$

$$A_{eff,n} = b_y * b_z - \Delta A_n$$

$$A_{eff,2} = b_y * b_z - \Delta A_2 = 2,0 * 2,0 - 3,74 = 0,26 \text{ m}^2$$

$$v_{Ed,n} = \frac{p_{zs} * A_{eff,n}}{u_n * d}$$

$$v_{Ed,2} = \frac{p_{zs} * A_{eff,2}}{u_2 * d} = \frac{480,00 * 0,26}{6,05 * 0,354} = 0,069 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,cn} \geq v_{Ed,n}$$

$$v_{Rd,c2} \geq v_{Ed,2}$$

$$0,735 > 0,069 \text{ MPa}$$

Pro kontrolní obvod ve vzdálenosti  $n*d=2*d$  průřez vyhoví bez smykové výztuže.

Tabulka dílčích kontrolovaných obvodů

n	n*d	u <sub>n</sub>	dA <sub>n</sub>	A <sub>eff</sub>	v <sub>Ed,n</sub>	v <sub>Rd,cn</sub>	Posudek
0,5	0,177	2,712	0,384	3,616	<b>2,132</b>	<b>2,941</b>	Vyhoví
0,75	0,266	3,268	0,663	3,337	<b>1,632</b>	<b>1,961</b>	Vyhoví
1	0,354	3,824	1,055	2,945	<b>1,231</b>	<b>1,470</b>	Vyhoví
1,25	0,443	4,380	1,558	2,442	<b>0,891</b>	<b>1,176</b>	Vyhoví
1,5	0,531	4,936	2,174	1,826	<b>0,592</b>	<b>0,980</b>	Vyhoví
1,75	0,620	5,492	2,901	1,099	<b>0,320</b>	<b>0,840</b>	Vyhoví
2	0,708	6,048	3,740	0,260	<b>0,069</b>	<b>0,735</b>	Vyhoví

## Posouzení na rozštěpení kalichu

Vstupní parametry

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\mu = 0,3$$

$$N_{Ed} = 1546,74 \text{ kN}$$

$$e_{max} = e_z = 0,154 \text{ m}$$

$$c_y = 0,4 \text{ m}$$

$$c_z = 0,4 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,4 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,75 \text{ m}$$

$$a_{k,min} = 0,05 \text{ m}$$

$$a_k = 0,125 \text{ m}$$

$$d_k = 0,25$$

Posouzení

$$\gamma_u = 1 - \frac{20}{h_1 + 50} = 1 - \frac{20}{400 + 50} = 0,956$$

$$A_b = h_1 * b + (h_2 + a_{k,min}) * \left( d_k + \frac{a_k - a_{k,min}}{2} \right) * 2$$

$$A_b = 0,4 * 2,0 + (0,75 + 0,05) * \left( 0,25 + \frac{0,125 - 0,05}{2} \right) * 2 = 1,26 \text{ m}^2$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctm}}{\gamma_m} = \frac{2,9}{1,5} = 1,93 \text{ MPa}$$

$$N_{se} = \frac{\gamma_u * A_b * f_{ctd} * \gamma_b}{\frac{1}{\left(1 + \frac{c_y}{c_z}\right)^{\mu}} + 0,35 * \frac{e_z}{c_y}} = \frac{0,956 * 1,26 * 1930 * 1,0}{\frac{1}{\left(1 + \frac{0,4}{0,4}\right)^{0,3}} + 0,35 * \frac{0,154}{0,4}} = 8955,72 \text{ kN}$$

$$N_{se} \geq N_{Ed}$$

$$8955,72 > 1546,72 \text{ kN}$$

Vyhovuje

## Posouzení na odtržení kalicha od spodní části patky

$$c_{ky} = c_{kz} = c + 2 * (a_k + d_k) = 0,4 + 2 * (0,125 + 0,25) = 1,15 \text{ m}$$

$$A_{k,l} = c_{ky} * c_{kz} - (c_y + 2 * a_{k,min}) * (c_z + 2 * a_{k,min})$$

$$A_{k,l} = c_{ky} * c_{kz} - (0,4 + 2 * 0,05) * (0,4 + 2 * 0,05) = 1,0725 \text{ m}^2$$

Konstrukční zásady

Betonová krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$c_{min} = \max\{18; 25 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 25 + 5 \cong 30 \text{ mm}$$

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing_{Tr} + \frac{\varnothing}{2} = 30 + 8 + \frac{10}{2} \cong 43 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 1,15 - 0,043 = 1,107 \text{ m}$$

$$z = d - \frac{h}{2} = 1,107 - \frac{1,15}{2} = 0,532 \text{ m}$$

**Plochy výztuží a odpovídající síly:**

$$A_{s1} = 4,71 * 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ odpovídá } 6\varnothing R10$$

$$F_s = A_{s1} * f_{yd} = 4,71 * 10^{-4} * 435 * 10^3 = 204,99 \text{ kN}$$

**Kontrola vyztužení**

$$A_{s,min1} = \frac{0,1 * |N_{Ed}|}{f_{yd}} = \frac{0,1 * 1546,74}{435000} = 0,000356 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min2} = 0,002 * A_c = 0,002 * 1,0725 = 0,002145 \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * 1,0725 = 0,0429 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min2} < A_{s1} < A_{s,max}$$

$$0,002145 < 32 * 0,0000785 = 0,0025 < 0,0429 \text{ m}^2$$

vyhovuje

**Interakční diagram**

**Bod 0**

$$\sigma_s = \varepsilon_{c3} * E_s = 0,002 * 200000 = 400 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd0} = b * h * f_{cd} + \Sigma A_s * \sigma_s$$

$$N_{Rd0} = -1,15 * 1,15 * 20000 - 0,0025 * 400000 = -21450,75 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

**Bod 1**

$$N_{Rd1} = -(b * \lambda * d * f_{cd} + F_{s2})$$

$$N_{Rd1} = -(1,15 * 0,8 * 1,107 * 20000 + 204,99) = -20573,79 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b * \lambda * d * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * d) + F_s * z$$

$$M_{Rd1} = 1,15 * 0,8 * 1,107 * 20000 * 0,5 * (1,15 - 0,8 * 1,107) + 204,99 * 0,532$$

$$M_{Rd1} = 2801,81 \text{ kNm}$$

**Bod 2**

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,002175$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 + 0,002175} = 0,617$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 - 0,002175} = 2,641$$

$$\xi_{bal,1} * d \geq \xi_{bal,2} * d_1$$

$$0,617 * 1,107 \geq 2,641 * 0,043$$

$$0,683 > 0,1136 \text{ m}$$

$$N_{Ed,bal} = -(\lambda * \xi_{bal,1} * b * d * f_{cd} + \Delta F_s)$$

$$N_{Ed,bal} = -(0,8 * 0,617 * 1,15 * 1,107 * 20000 + 0) = -13906,42 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,bal} = \lambda * \xi_{bal,1} * b * d * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * \xi_{bal,1} * d) + 2 * F_s * z$$

$$M_{Rd,bal} = 0,8 * 0,617 * 1,15 * 1,107 * 20000 * 0,5 * (1,15 - 0,8 * 0,617 * 1,107) + \\ + 2 * 204,99 * 0,532 = 4010,75 \text{ kNm}$$

**Bod 3**

$$x = \frac{F_s}{\lambda * b * f_{cd}} = \frac{204,99}{0,8 * 1,15 * 20000} = 0,01114 \rightarrow \text{bez započítání tlačené výztuže}$$

$$N_{Ed3} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd3} = F_{s1} * (d - 0,5 * \lambda * x)$$

$$M_{Rd3} = 204,99 * (1,107 - 0,5 * 0,8 * 0,01114) = 226,01 \text{ kNm}$$

**Bod 4**

$$N_{Rd,bal} = F_s = 204,99 \text{ kN}$$

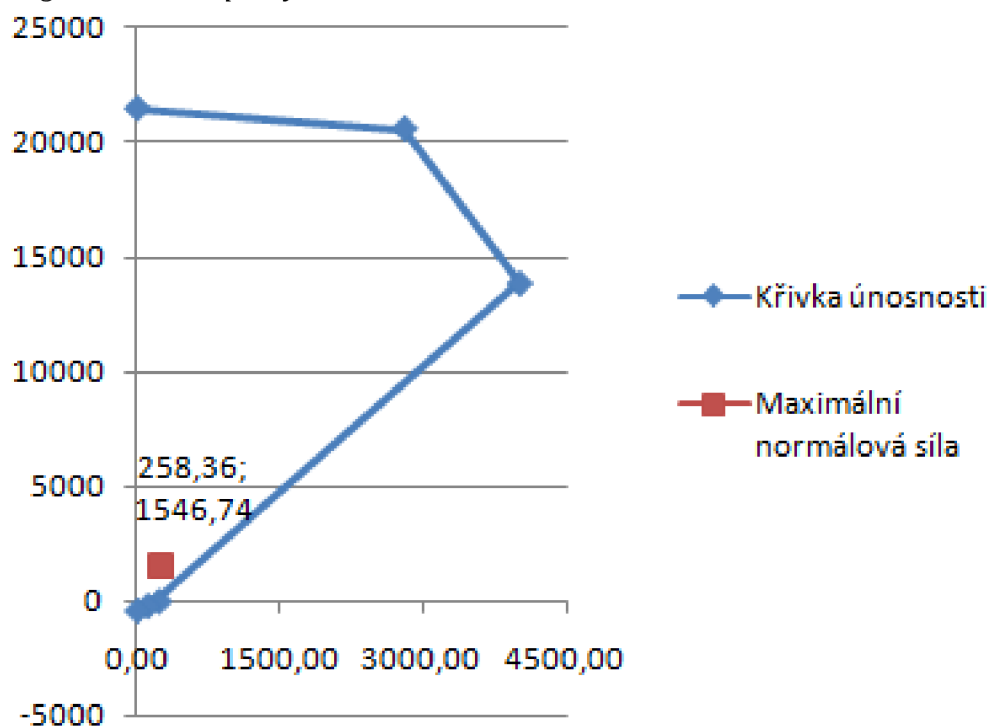
$$M_{Rd,bal} = F_s * z = 204,99 * 0,532 = 109,05 \text{ kNm}$$

**Bod 5**

$$N_{Rd,t} = 2 * F_s = 2 * 204,99 = 409,98 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,t} = 0 \text{ kNm}$$

Interakční diagram kalicha patky KP4





### 4.3.3 POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI ZÁKLADOVÉ PŮDY

Základová spára se nachází nad hladinou spodní vody v hloubce 1,4 m. Zemina byla určena jako G4-GM (šterkovitá zemina).

Vstupní parametry

$$E_{def} = 70 \text{ MPa}$$

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$v = 0,3$$

$$\varphi = 30^\circ$$

$$c_{ef} = 6 \text{ kPa}$$

$$\gamma_{m\varphi} = \frac{\varphi}{\varphi - 4} = \frac{30}{30 - 4} = 1,154$$

$$\varphi_d = \frac{\varphi}{\gamma_{m\varphi}} = \frac{30}{1,154} = 26^\circ$$

$$c_d = \frac{c}{\gamma_{mc}} = \frac{6}{2} = 3 \text{ kPa}$$

Únosnost základové půdy

$$R_d = c_d * N_c * s_c * d_c * i_c + \gamma_1 * d * N_d * s_d * d_d * i_d + \gamma_2 * \frac{b}{2} * N_b * s_b * d_b * i_b$$

$$N_d = \tan^2(45 + \varphi_d/2) * e^{\pi * \tan(\varphi_d)} = \tan^2(45 + 26/2) * e^{\pi * \tan(26)} = 11,85$$

$$N_b = 1,5 * (N_d - 1) * \tan(\varphi_d) = 1,5 * (11,85 - 1) * \tan(26) = 7,94$$

$$N_c = (N_d - 1) * \cot(\varphi_d) = (11,85 - 1) * \cot(26) = 22,25$$

$$b_{efy} = b_y - 2 * e_y = 2,0 - 2 * 0,154 = 1,69$$

$$b_{efz} = b_z - 2 * e_z = 2,0 - 2 * 0,126 = 1,75$$

$$s_c = 1 + 0,2 * \frac{b_{efy}}{b_{efz}} = 1 + 0,2 * \frac{1,69}{1,75} = 1,193$$

$$s_d = 1 + \frac{b_{efy}}{b_{efz}} * \sin(\varphi_d) = 1 + \frac{1,69}{1,75} * \sin(26) = 1,424$$

$$s_b = 1 - 0,3 * \frac{b_{efy}}{b_{efz}} = 1 - 0,3 * \frac{1,69}{1,75} = 0,710$$

$$d_c = 1 + 0,1 * \sqrt{\frac{d}{b_{efz}}} = 1 + 0,1 * \sqrt{\frac{1,4}{1,75}} = 1,895$$

$$d_d = 1 + 0,1 * \sqrt{\frac{d}{b_{efz}} * \sin(2 * \varphi_d)} = 1 + 0,1 * \sqrt{\frac{1,4}{1,75} * \sin(2 * 26)} = 1,794$$

$$d_d = 1$$

$$i_c = i_b = i_d = (1 - \tan \delta)^2 = \left(1 - \frac{51,04}{2110,79}\right)^2 = 0,95$$

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$R_d = c_d * N_c * s_c * d_c * i_c + \gamma_1 * d * N_d * s_d * d_d * i_d + \gamma_2 * \frac{b}{2} * N_b * s_b * d_b * i_b$$

$$R_d = 143,75 + 767,14 + 86,24 = 997,13 \text{ kPa}$$

$$R_d \geq \sigma_{zs}$$

$$997,13 > 655,04 \text{ kPa}$$

Zemina v základové spáře je dostatečně únosná.

*Posunutí v úrovni základové spáry*

$$S_{Rd} = F_d * \tan(\varphi_d) = 629,91 * \tan(26) = 307,23 \text{ kN}$$

$$S_{Rd} \geq V_h$$

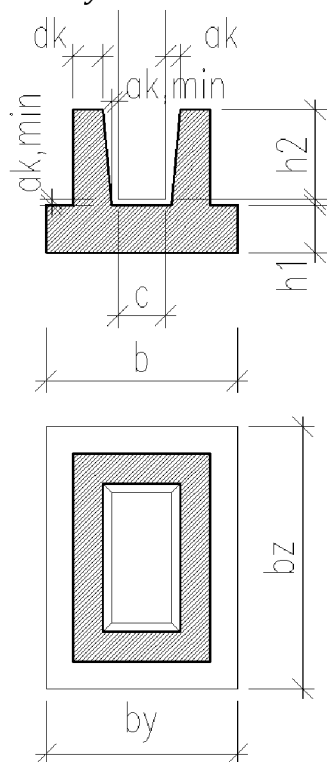
$$307,23 > 51,04 \text{ kN}$$

Vyhovuje

#### 4.3.4 NÁVRH A POSOUZENÍ KALICHA ZÁKLADOVÉ PATKY KP1 PRO SLOUP SL1

##### Napětí v základové spáře

Vstupní parametry



$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$g_k = 27,19 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{zp,max} = 78,45 \text{ kN}$$

$$V_{zp,min} = 46,49 \text{ kN}$$

$$V_h = 51,04 \text{ kN}$$

$$h = 1,6 \text{ m}$$

$$e_V = 0,69 \text{ m}$$

Orientační návrh patky

$$b_y = 2,20 \text{ m}$$

$$b_z = 2,05 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,35 \text{ m}$$

$$c_y = 0,4 \text{ m}$$

$$c_z = 1,0 \text{ m}$$

$$h_2 \geq 1,2 * \max(c_y; c_z) = 1,2 * 1,0 = 1,2 \text{ m}$$

$$h_2 = 1,2 \text{ m}$$

$$a_{k,min} = 0,05 \text{ m}$$

$$a_k = 0,1 * h_2 + a_{k,min} = 0,1 * 1,2 + 0,05 = 0,17 \text{ m}$$

$$d_k \geq \frac{(c_y + c_z + 4 * a_k)}{6} = \frac{(0,4 + 1,0 + 4 * 0,17)}{6} = 0,347 \text{ m}$$

$$d_k = 0,35 \text{ m}$$

$$S = \frac{2 * (c_y + 2 * (d_k + a_k)) * (c_z + 2 * (d_k + a_k)) - (c_y + 2 * a_{k,min}) * (c_z + 2 * a_{k,min}) - (c_y + 2 * a_k) * (c_z + 2 * a_k)}{2}$$

$$S = \frac{2 * (0,4 + 2 * (0,35 + 0,17)) * (1,0 + 2 * (0,35 + 0,17)) - (0,4 + 2 * 0,05) * (1,0 + 2 * 0,05) - (0,4 + 2 * 0,17) * (1,0 + 2 * 0,17)}{2}$$

$$S = 2,17 \text{ m}^2$$

$$F_{pat,k} = [b_y * b_z * h_1 + S * (h_2 + a_{k,min})] * \gamma_m$$

$$F_{pat,k} = [2,20 * 2,05 * 0,35 + 2,17 * (1,2 + 0,05)] * 25 + \\ + 2 * 0,45 * 0,375 * 0,675 * 25 = 115,58 \text{ kN}$$

Vnitřní síly

Typ zatížení	NEd,0	MEd,sy	MEd,sz	NEd	MEdy	MEdz	ey	ez
<b>Max NEd</b>	<b>734,90</b>	419,11	161,00	<b>1239,08</b>	<b>615,98</b>	<b>245,80</b>	0,198	0,497
<b>Min NEd</b>	<b>325,87</b>	377,21	153,09	<b>657,06</b>	<b>435,77</b>	<b>208,46</b>	0,317	0,663
<b>Max MEd</b>	734,90	<b>419,11</b>	<b>161,00</b>	<b>1167,85</b>	<b>504,89</b>	<b>244,52</b>	0,209	0,432

Výpočet efektivní plochy základu

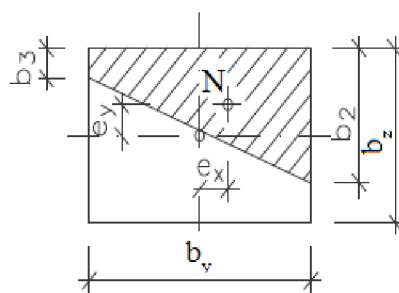
Výpočet efektivní plochy základu pro  $N_{Ed,max}$

$$e_y < \frac{b_y}{6}$$

$$0,198 < \frac{2,2}{6} = 0,367$$

$$e_z > \frac{b_z}{6}$$

$$0,497 > \frac{2,05}{6} = 0,342$$



Při

$$\beta = \frac{b_y - 6 * e_y}{b_y + 6 * e_y} = \frac{2,2 - 6 * 0,198}{2,2 + 6 * 0,198} = 0,298$$

$$b_2 = 1,5 * \frac{(b_z - 2 * e_z) * (1 + \beta)}{(\beta^2 + \beta + 1)} = 1,5 * \frac{(2,05 - 2 * 0,497) * (1 + 0,298)}{(0,298^2 + 0,298 + 1)} = 1,48 \text{ m}$$

$$b_3 = \beta * b_2 = 0,298 * 1,48 = 0,44 \text{ m}$$

$$A_{eff} = 0,5 * b_y * (b_2 + b_3) = 0,5 * 2,2 * (1,48 + 0,44) = 2,12 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{zs,3} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{1239,08}{2,12} = 585,53 \text{ kPa}$$

$$p_{zs,3} = \frac{N_{Ed,0}}{A_{eff}} = \frac{734,90}{2,12} = 347,28 \text{ kPa}$$

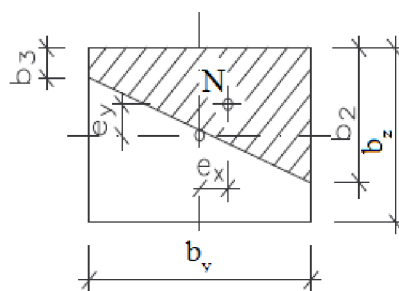
### Výpočet efektivní plochy základu pro $N_{Ed,min}$

$$e_y < \frac{b_y}{6}$$

$$0,317 < \frac{2,2}{6} = 0,367$$

$$e_z > \frac{b_z}{6}$$

$$0,663 > \frac{2,05}{6} = 0,342$$



Při

$$\beta = \frac{b_y - 6 * e_y}{b_y + 6 * e_y} = \frac{2,2 - 6 * 0,317}{2,2 + 6 * 0,317} = 0,072$$

$$b_2 = 1,5 * \frac{(b_z - 2 * e_z) * (1 + \beta)}{(\beta^2 + \beta + 1)} = 1,5 * \frac{(2,05 - 2 * 0,663) * (1 + 0,072)}{(0,072^2 + 0,072 + 1)} = 1,08 \text{ m}$$

$$b_3 = \beta * b_2 = 0,072 * 1,08 = 0,08 \text{ m}$$

$$A_{eff} = 0,5 * b_y * (b_2 + b_3) = 0,5 * 2,2 * (1,08 + 0,08) = 1,27 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{zs,3} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{657,06}{1,27} = 515,77 \text{ kPa}$$

$$p_{zs,3} = \frac{N_{Ed,0}}{A_{eff}} = \frac{325,87}{1,27} = 255,80 \text{ kPa}$$

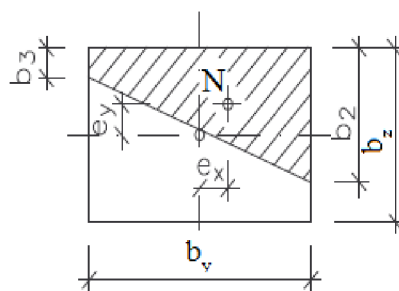
### Výpočet efektivní plochy základu pro $M_{Ed,max}$

$$e_y < \frac{b_y}{6}$$

$$0,209 < \frac{2,2}{6} = 0,367$$

$$e_z > \frac{b_z}{6}$$

$$0,432 > \frac{2,05}{6} = 0,342$$



$$\beta = \frac{b_y - 6 * e_y}{b_y + 6 * e_y} = \frac{2,2 - 6 * 0,209}{2,2 + 6 * 0,209} = 0,273$$

$$b_2 = 1,5 * \frac{(b_z - 2 * e_z) * (1 + \beta)}{(\beta^2 + \beta + 1)} = 1,5 * \frac{(2,05 - 2 * 0,432) * (1 + 0,273)}{(0,273^2 + 0,273 + 1)} = 1,68 \text{ m}$$

$$b_3 = \beta * b_2 = 0,273 * 1,68 = 0,46 \text{ m}$$

$$A_{eff} = 0,5 * b_y * (b_2 + b_3) = 0,5 * 2,2 * (1,68 + 0,46) = 2,35 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{zs,3} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{1167,85}{2,35} = 496,51 \text{ kPa}$$

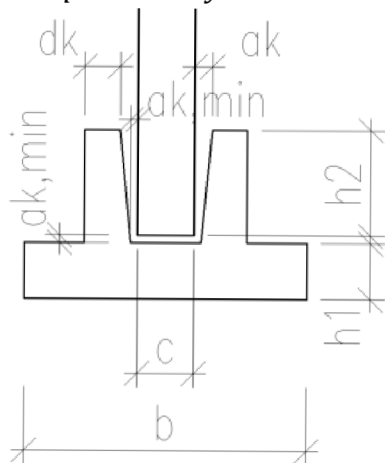
$$p_{zs,3} = \frac{N_{Ed,0}}{A_{eff}} = \frac{734,90}{2,35} = 312,44 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{zs} = \max\{\sigma_{zs,1}; \sigma_{zs,2}; \sigma_{zs,3}\} = 585,53 \text{ kPa}$$

$$p_{zs} = \max\{p_{zs,1}; p_{zs,2}; p_{zs,3}\} = 347,26 \text{ kPa}$$

## Posouzení únosnosti konzol základové patky KP1

### Vstupní hodnoty



$$b_y = 2,2 \text{ m}$$

$$b_z = 2,05 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,35 \text{ m}$$

$$c_y = 0,4 \text{ m}$$

$$c_z = 1,0 \text{ m}$$

$$p_{zs} = 479,31 \text{ kPa}$$

$$h_2 = 1,2 \text{ m}$$

$$a_k = 0,17 \text{ m}$$

$$d_k = 0,25$$

$$C 30/37 - XC1 - S3$$

$$B500B$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

### Zatížení

#### Výpočet maximálního ohybového momentu

$$M_{Ed} = \frac{1}{2} * p_{zs} * \left(\frac{b-c}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} * 347,28 * \left(\frac{2,2-0,4}{2}\right)^2 = 140,65 \text{ kNm}$$

### Mezní stav únosnosti

#### Betonová krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

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

$$c_{min} = \max\{16; 25 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 25 + 5 \cong 30 \text{ mm}$$

$$d_1 = c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} = 30 + \frac{14}{2} \cong 37 \text{ mm}$$

$$d_y = h_1 - d_1 = 0,35 - 0,037 = 0,313 \text{ m}$$

$$d_z = d_y - \emptyset = 0,313 - 0,014 = 0,299 \text{ m}$$

$$d = \frac{d_y + d_z}{2} = \frac{0,313 + 0,299}{2} = 0,306 \text{ m}$$

**Požadovaná plocha výztuže**

$$A_{s,req} = b * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}}} \right)$$

$$A_{s,req} = 1,0 * 0,306 * \frac{20}{435} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 140,65}{1,0 * 0,306^2 * 20 * 10^3}} \right) = 11,00 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Návrhová plocha výztuže na základě požadavku**

$$A_{s1} = \emptyset R16/150 = 13,40 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Poloha neutrálné osy:  $F_s - F_c = 0$**

$$A_{s1} * f_{yd} = f_{cd} * \lambda * x * b$$

$$x = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{f_{cd} * b * \lambda} = \frac{13,4 * 10^{-4} * 435}{20 * 1,0 * 0,8} = 0,0364 \text{ m}$$

**Kontrola využití výztuže**

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x)$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,0035}{0,0364} (0,306 - 0,0364) = 0,026$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{435}{200 * 10^3} = 0,002175$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$$

$$0,026 \geq 0,002175$$

Danou vrstvu výztuže lze považovat za plně využitou

**Rameno vnitřních sil**

$$z_c = d - 0,5 * \lambda * x$$

$$z_c = 0,306 - 0,5 * 0,8 * 0,0364 = 0,291 \text{ m}$$

**Moment na mezi únosnosti**

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z_c$$

$$M_{Rd} = 13,4 * 10^{-4} * 435 * 10^3 * 0,291 = 169,87 \text{ kNm}$$

**Posouzení únosnosti**

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$169,87 > 140,65 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

### Konstrukční zásady

#### Kontrola míry vyztužení

$$A_{s,min1} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d$$

$$A_{s,min1} = 0,26 * \frac{2,9}{500} * 1,0 * 0,306 = 4,61 * 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,min2} = 0,0013 * b * d$$

$$A_{s,min2} = 0,0013 * 1,0 * 0,306 = 3,98 * 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 * b * h$$

$$A_{s,max} = 0,04 * 1,0 * 0,35 = 140 * 10^{-4} m^2$$

$$\max\{A_{s,min1}; A_{s,min2}\} \leq A_{s1} \leq A_{s,max}$$

$$4,61 < 13,40 < 140,00 [* 10^{-4} m^2]$$

Vyhovuje

#### Posouzení na protlačení sloupu

$$v = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 * \left[ 1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$v_{Rd,max} = 0,5 * v * f_{cd} = 0,5 * 0,528 * 20 = 5,28 \text{ MPa}$$

$$u_0 = 2 * (c_y + c_z) = 2 * (0,4 + 1,0) = 2,8 \text{ m}$$

$$\beta = 1 + 1,8 \sqrt{\left(\frac{e_y}{b_y}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{b_z}\right)^2} = 1 + 1,8 \sqrt{\left(\frac{0,198}{2,2}\right)^2 + \left(\frac{0,497}{2,05}\right)^2} = 1,47$$

$$v_{Ed,0} = p_{zs} * (b_y * b_z - c_y * c_z) = 347,28 * (2,2 * 2,05 - 0,4 * 1,0) = 0,594 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} \geq v_{Ed,0}$$

$$5,28 > 0,594 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.



Tabulka dílčích kontrolovaných obvodů

n	n*d	un	dAn	Aeff	vEd,n	vRd,cn	Posudek
0,5	0,153	3,761327	0,567178	3,942822	1,743666	3,10733	Vyhoví
0,75	0,2295	4,241991	0,776149	3,733851	1,464146	2,071553	Vyhoví
1	0,306	4,722655	1,06871	3,44129	1,212083	1,553665	Vyhoví
1,25	0,3825	5,203318	1,44486	3,06514	0,979867	1,242932	Vyhoví
1,5	0,459	5,683982	1,904598	2,605402	0,762464	1,035777	Vyhoví
1,75	0,5355	6,164646	2,447925	2,062075	0,556408	0,887809	Vyhoví
2	0,612	6,645309	3,074841	1,435159	0,359238	0,776833	Vyhoví

### Posouzení na rozštěpení kalichu

Vstupní parametry

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 734,90 \text{ kN}$$

$$e_{max} = e_z = 0,523 \text{ m}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

$$c_y = 0,4 \text{ m}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$c_z = 1,0 \text{ m}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

$$h_1 = 0,35 \text{ m}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$h_2 = 1,2 \text{ m}$$

$$\mu = 0,3$$

$$a_{k,min} = 0,05 \text{ m}$$

$$a_k = 0,17 \text{ m}$$

$$d_k = 0,35$$

Posouzení

$$\gamma_u = 1 - \frac{20}{h_1 + 50} = 1 - \frac{20}{350 + 50} = 0,95$$

$$A_b = h_1 * b_y + (h_2 + a_{k,min}) * \left( d_k + \frac{a_k - a_{k,min}}{2} \right) * 2$$

$$A_b = 0,35 * 2,2 + (1,2 + 0,05) * \left( 0,35 + \frac{0,17 - 0,05}{2} \right) * 2 = 1,426 \text{ m}^2$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctm}}{\gamma_m} = \frac{2,9}{1,5} = 1,93 \text{ MPa}$$

$$N_{se} = \frac{\gamma_u * A_b * f_{ctd} * \gamma_b}{\left(1 + \frac{c_z}{c_y}\right) * \mu} + 0,35 * \frac{e_z}{c_y} = \frac{0,95 * 1,426 * 1930 * 1,0}{\left(1 + \frac{1,0}{0,4}\right) * 0,3} + 0,35 * \frac{0,497}{0,4} = 10100,94 \text{ kN}$$

$$N_{se} \geq N_{Ed}$$

$$10100,94 > 734,90 \text{ kN}$$

Vyhovuje

### Posouzení na odtržení kalicha od spodní části patky

$$c_{ky} = c + 2 * (a_k + d_k) = 0,4 + 2 * (0,17 + 0,35) = 1,44 \text{ m}$$

$$c_{kz} = c + 2 * (a_k + d_k) = 1,0 + 2 * (0,17 + 0,35) = 2,04 \text{ m}$$

$$A_{k,I} = c_{ky} * c_{kz} - (c_y + 2 * a_{k,min}) * (c_z + 2 * a_{k,min})$$

$$A_{k,I} = 1,44 * 2,04 - (0,4 + 2 * 0,05) * (1,0 + 2 * 0,05) = 2,39 \text{ m}^2$$

### Konstrukční zásady

#### Betonová krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$c_{min} = \max\{18; 25 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 25 + 5 \cong 30 \text{ mm}$$

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing_{Tr} + \frac{\varnothing}{2} = 30 + 8 + \frac{14}{2} \cong 45 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 2,04 - 0,045 = 1,995 \text{ m}$$

$$z = d - \frac{h}{2} = 1,995 - \frac{2,04}{2} = 0,975 \text{ m}$$

#### Plochy výztuží a odpovídající síly:

$$A_{s1} = 9,24 * 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ odpovídá } 6\varnothing R14$$

$$F_s = A_{s1} * f_{yd} = 9,24 * 10^{-4} * 435 * 10^3 = 401,78 \text{ kN}$$

#### Kontrola vyztužení

$$A_{s,min1} = \frac{0,1 * |N_{Ed}|}{f_{yd}} = \frac{0,1 * 734,90}{435000} = 0,00017 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min2} = 0,002 * A_c = 0,002 * 2,39 = 0,0048 \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * 2,39 = 0,0955 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min2} < A_{s1} < A_{s,max}$$

$$0,0048 < 40 * 0,000154 = 0,00493 < 0,0955 \text{ m}^2$$

vyhovuje

#### Interakční diagram pro moment $M_y$

##### Bod 0

$$\sigma_s = \varepsilon_{c3} * E_s = 0,002 * 200000 = 400 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd0} = A_{k,I} * f_{cd} + \Sigma A_s * \sigma_s$$

$$N_{Rd0} = -2,39 * 20000 - 0,00493 * 400000 = -47753,48 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

### Bod 1

$$N_{Rd1} = -(b * \lambda * d * f_{cd} + F_{s2})$$

$$N_{Rd1} = -(1,44 * 0,8 * 1,995 * 20000 + 401,78) = -46366,58 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b * \lambda * d * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * d) + F_s * z$$

$$M_{Rd1} = 1,44 * 0,8 * 1,995 * 20000 * 0,5 * (2,04 - 0,8 * 1,995) + 401,78 * 0,975$$

$$M_{Rd1} = 10595,92 \text{ kNm}$$

### Bod 2

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,002175$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 + 0,002175} = 0,617$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 - 0,002175} = 2,641$$

$$\xi_{bal,1} * d \geq \xi_{bal,2} * d_1$$

$$0,617 * 1,995 \geq 2,641 * 0,045$$

$$1,23 > 0,12 \text{ m}$$

$$N_{Ed,bal} = -(\lambda * \xi_{bal,1} * b * d * f_{cd} + \Delta F_s)$$

$$N_{Ed,bal} = -(0,8 * 0,617 * 1,44 * 1,995 * 20000 + 0) = -56554,93 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,bal} = \lambda * \xi_{bal,1} * b * d * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * \xi_{bal,1} * d) + 2 * F_s * z$$

$$M_{Rd,bal} = 0,8 * 0,617 * 1,44 * 1,995 * 20000 * 0,5 * (2,04 - 0,8 * 0,617 * 1,995) + 2 * 401,78 * 0,975 = 15746,89 \text{ kNm}$$

### Bod 3

$$x = \frac{F_s}{\lambda * b * f_{cd}} = \frac{401,78}{0,8 * 1,44 * 20000} = 0,01744 \rightarrow \text{bez započítání tlačené výztuže}$$

$$N_{Ed3} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd3} = F_{s1} * (d - 0,5 * \lambda * x)$$

$$M_{Rd3} = 401,78 * (1,995 - 0,5 * 0,8 * 0,01744) = 798,75 \text{ kNm}$$

### Bod 4

$$N_{Rd, bal} = F_s = 401,78 \text{ kN}$$

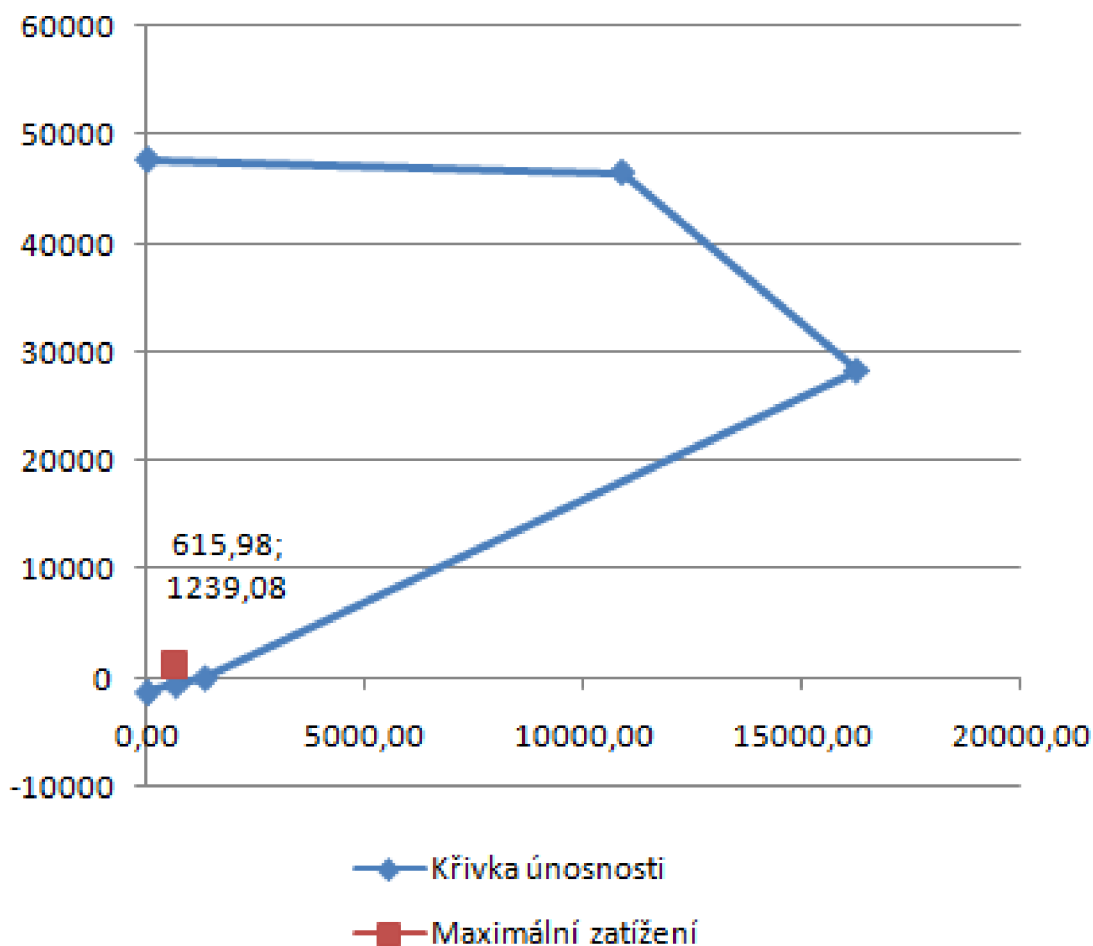
$$M_{Rd, bal} = F_s * z = 401,78 * 0,975 = 391,73 \text{ kNm}$$

**Bod 5**

$$N_{Rd, t} = A_s * f_{yd} = 40 * 0,00154 * 435000 = 2142,82 \text{ kN}$$

$$M_{Rd, t} = 0 \text{ kNm}$$

*Interakční diagram kalicha patky KP1 pro  $M_y$*



*Interakční diagram pro moment  $M_z$*

**Bod 0**

$$\sigma_s = \varepsilon_{c3} * E_s = 0,002 * 200000 = 400 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd0} = A_{k,l} * f_{cd} + \Sigma A_s * \sigma_s$$

$$N_{Rd0} = -2,39 * 20000 - 0,00493 * 400000 = -47753,48 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

**Bod 1**

$$N_{Rd1} = -(b * \lambda * d * f_{cd} + F_{s2})$$

$$N_{Rd1} = -(2,04 * 0,8 * 1,395 * 20000 + 401,78) = -45934,58 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = b * \lambda * d * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * d) + F_s * z$$

$$M_{Rd1} = 2,04 * 0,8 * 1,395 * 20000 * 0,5 * (1,44 - 0,8 * 1,395) + 401,78 * 0,675$$

$$M_{Rd1} = 7647,51 \text{ kNm}$$

### Bod 2

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,002175$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 + 0,002175} = 0,617$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 - 0,002175} = 2,641$$

$$\xi_{bal,1} * d \geq \xi_{bal,2} * d_1$$

$$0,617 * 1,395 \geq 2,641 * 0,045$$

$$0,86 > 0,12 \text{ m}$$

$$N_{Ed,bal} = -(\lambda * \xi_{bal,1} * b * d * f_{cd} + \Delta F_s)$$

$$N_{Ed,bal} = -(0,8 * 0,617 * 2,04 * 1,395 * 20000 + 0) = -28081,90 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,bal} = \lambda * \xi_{bal,1} * b * d * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * \xi_{bal,1} * d) + 2 * F_s * z$$

$$M_{Rd,bal} = 0,8 * 0,617 * 2,04 * 1,395 * 20000 * 0,5 * (1,44 - 0,8 * 0,617 * 1,395) + 2 * 401,78 * 0,675 = 11097,24 \text{ kNm}$$

### Bod 3

$$x = \frac{F_s}{\lambda * b * f_{cd}} = \frac{401,78}{0,8 * 2,04 * 20000} = 0,0123 \rightarrow \text{bez započítání tlačené výztuže}$$

$$N_{Ed3} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd3} = F_{s1} * (d - 0,5 * \lambda * x)$$

$$M_{Rd3} = 401,78 * (1,395 - 0,5 * 0,8 * 0,0123) = 558,50 \text{ kNm}$$

### Bod 4

$$N_{Rd,4} = F_s = 401,78 \text{ kN}$$

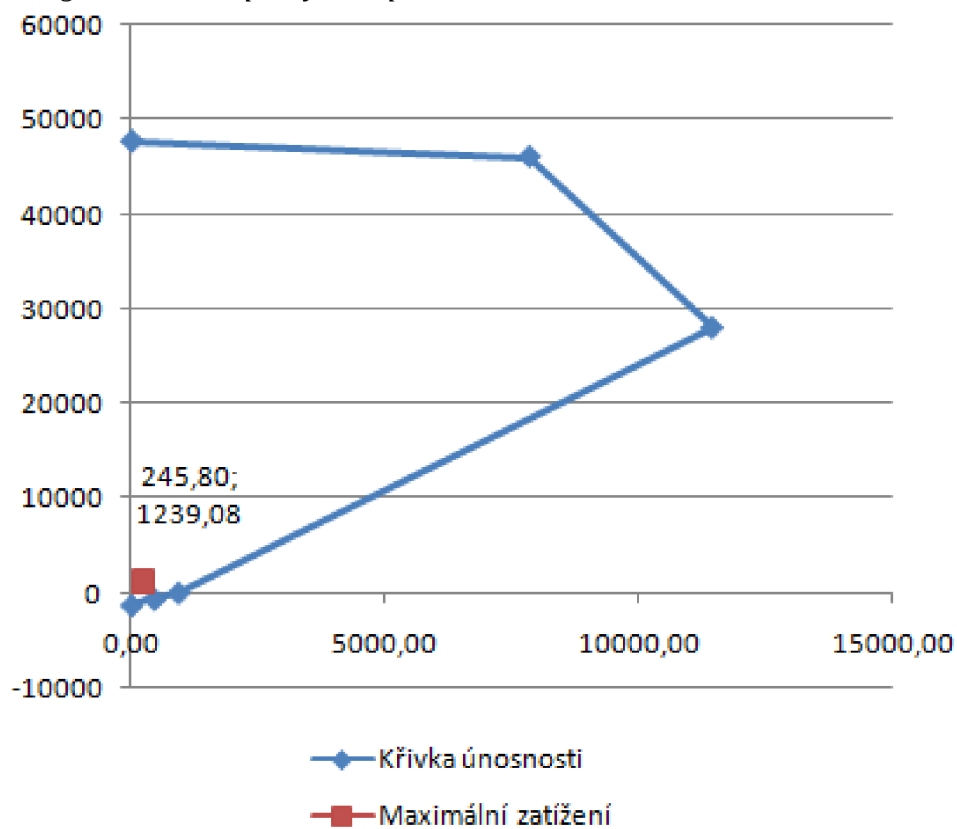
$$M_{Rd,4} = F_s * z = 401,78 * 0,675 = 271,20 \text{ kNm}$$

### Bod 5

$$N_{Rd,t} = A_s * f_{yd} = 40 * 0,00154 * 435000 = 2142,82 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,t} = 0 \text{ kNm}$$

Interakční diagram kalicha patky KP1 pro Mz



## Posouzení únosnosti základové půdy

Základová spára se nachází nad hladinou spodní vody v hloubce 1,8 m. Zemina byla určena jako G4-GM (šterkovitá zemina).

### Vstupní parametry

$$E_{def} = 70 \text{ MPa}$$

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\nu = 0,3$$

$$\varphi = 30^\circ$$

$$c_{ef} = 6 \text{ kPa}$$

$$\gamma_{m\varphi} = \frac{\varphi}{\varphi - 4} = \frac{30}{30 - 4} = 1,154$$

$$\varphi_d = \frac{\varphi}{\gamma_{m\varphi}} = \frac{30}{1,154} = 26^\circ$$

$$c_d = \frac{c}{\gamma_{mc}} = \frac{6}{2} = 3 \text{ kPa}$$

$$d = 1,8 \text{ m}$$

### Únosnost základové půdy

$$R_d = c_d * N_c * s_c * d_c * i_c + \gamma_1 * d * N_d * s_d * d_d * i_d + \gamma_2 * \frac{b}{2} * N_b * s_b * d_b * i_b$$

$$N_d = \tan^2(45 + \varphi_d/2) * e^{\pi * \tan(\varphi_d)} = \tan^2(45 + 26/2) * e^{\pi * \tan(26)} = 11,85$$

$$N_b = 1,5 * (N_d - 1) * \tan(\varphi_d) = 1,5 * (11,85 - 1) * \tan(26) = 7,94$$

$$N_c = (N_d - 1) * \cot(\varphi_d) = (11,85 - 1) * \cot(26) = 22,25$$

$$b_{efy} = b_y - 2 * e_y = 2,2 - 2 * 0,198 = 1,80 \text{ m}$$

$$b_{efz} = b_z - 2 * e_z = 2,05 - 2 * 0,497 = 1,06 \text{ m}$$

$$s_c = 1 + 0,2 * \frac{b_{efy}}{b_{efz}} = 1 + 0,2 * \frac{1,80}{1,06} = 1,34$$

$$s_d = 1 + \frac{b_{efy}}{b_{efz}} * \sin(\varphi_d) = 1 + \frac{1,80}{1,06} * \sin(26) = 1,75$$

$$s_b = 1 - 0,3 * \frac{b_{efy}}{b_{efz}} = 1 - 0,3 * \frac{1,80}{1,06} = 0,488$$

$$d_c = 1 + 0,1 * \sqrt{\frac{d}{b_{efz}}} = 1 + 0,1 * \sqrt{\frac{1,8}{1,06}} = 2,31$$

$$d_d = 1 + 0,1 * \sqrt{\frac{d}{b_{efz}} * \sin(2 * \varphi_d)} = 1 + 0,1 * \sqrt{\frac{1,8}{1,06} * \sin(2 * 26)} = 2,16$$

$$d_d = 1$$

$$i_c = i_b = i_d = (1 - \tan \delta)^2 = \left(1 - \frac{51,04}{1239,08}\right)^2 = 0,919$$

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$R_d = c_d * N_c * s_c * d_c * i_c + \gamma_1 * d * N_d * s_d * d_d * i_d + \gamma_2 * \frac{b}{2} * N_b * s_b * d_b * i_b$$

$$R_d = 165,42 + 1185,07 + 52,39 = 1406,88 \text{ kPa}$$

$$R_d \geq \sigma_{zs}$$

$$1632,78 > 585,53 \text{ kPa}$$

Zemina v základové spáře je dostatečně únosná.

*Posunutí v úrovni základové spáry*

$$S_{Rd} = F_d * \tan(\varphi_d) = 657,06 * \tan(26) = 320,44 \text{ kN}$$

$$S_{Rd} \geq V_h$$

$$320,44 > 51,04 \text{ kN}$$

Vyhovuje



## 5 MONTÁŽNÍ STÁDIA A MANIPULACE S PRVKY

Prvním zatěžovacím stavem sloupu je moment vytažení z formy, jeho uskladnění na skládce ve vodorovné poloze a následný transport po dozrání betonové směsi. Dalším stádiem je jeho vztyčení a zakotvení kalichové patce. Následně budou jednotlivé sloupy osazovány průvlakly, které budou následně propojeny stropními panely. Tato konstrukce bude postupně od spodních pater osazována výplňovým zdívem, plnicím především ztužující funkci. Před dokončením zdělicích prací bude osazena střešní konstrukce.

### 5.1 SÍLY POTŘEBNÉ PRO ODBEDNĚNÍ A MANIPULACI S PRVKY

*Vstupní parametry*

$F_n$ :	$v_{adh} = 2,0 \text{ kN/m}^2$
$F_{k,průvlaku,PR} = 40,14 \text{ kN}$	$S_{průvlaku,PR} = 7,22 \text{ m}^2$
$F_{k,sloupu,SL4} = 43,68 \text{ kN}$	$S_{sloupu,SL4} = 11,84 \text{ m}^2$
$F_{k,sloupu,SL1} = 106,13 \text{ kN}$	$S_{sloupu,SL1} = 26 \text{ m}^2$
$F_{k,patky,KP4} = 59,73 \text{ kN}$	$S_{patky,KP4} = 7,2 \text{ m}^2$
$F_{k,patky,KP1} = 101,22 \text{ kN}$	$S_{patky,KP1} = 6,18 \text{ m}^2$

*Síla potřebná pro vytažení z formy*

$$F_1^* = 1,3 * \gamma_{fg} * (F_n + F_{adh,n})$$

$$F_{adh,n} = S_n * v_{adh}$$

*Síla potřebná pro další manipulaci*

$$F_2^* = 1,8 * \gamma_{man} * \gamma_{fg} * F_n$$

*Přehled sil*

Prvek	$F_n$	$S_n$	$F_{adh,n}$	$F_1^*$	$F_2^*$
PR1	40,14	7,22	14,44	95,79	97,54
SL4	43,68	11,84	26,05	122,37	106,14
SL1	106,13	26,00	54,60	282,08	257,90
KP4	59,73	7,20	14,40	130,10	145,14
KP1	101,22	6,18	12,36	199,33	245,96

### 5.2 MANIPULAČNÍ ÚCHYTY

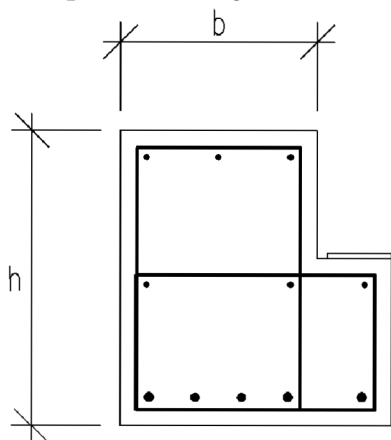
U průvlaků budou manipulační úchyty umístěny tak, aby bylo při jejich manipulaci zachováno statické schéma prostého nosníku. Návrh kotevních prvků není součástí této práce.

Manipulační úchyty patky budou umístěny v horní části kalichu, z interačních diagramů vyplývá, že tahová výztuž je schopná toto zatížení přenést. Vzhledem k tomu, že s únosností betonu v tahu se nepočítá není třeba posuzovat další manipulaci s ohledem na zrání betonové směsi.

Manipulační úchyty sloupu jsou navrženy dle schématu viz níže. Statickým schématem je prostý nosník s převyslími konci. Při vztyčování sloupů se statické schéma změní.

### 5.3 POSOUZENÍ PRŮVLAKŮ PR NA VYJMUTÍ Z FORMY A MANIPULACI

#### Vstupní hodnoty



$$L_p = 5,38\text{m}$$

C 30/37 - XC1 - S3

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

B500B

$$h = 600\text{ mm}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20\text{ MPa}$$

$$L_s = 9,03\text{ m}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435\text{ MPa}$$

$$A = 0,24\text{ m}^2$$

$$f_{ctm} = 2,9\text{ MPa}$$

$$f_{cm} = 38\text{ MPa}$$

#### Zatížení při vyjímání z formy

Materiálové parametry při  $t_0 = 7$  dní

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s * \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\} = \exp \left\{ 0,25 * \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\} = 0,779$$

$$f_{cm}(t) = \beta_{fcm}(t) * f_{cm} = 0,779 * 38 = 29,59\text{ MPa}$$

$$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8 = 29,59 - 8 = 21,59\text{ MPa}$$

#### Zatížení

##### Výpočet náhradního zatížení

$$g_{kn} = F_1^*/L_p = 95,79/5,38 = 17,80\text{ kN/m'}$$

##### Výpočet maximálního ohybového momentu

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * [g_k * \gamma_G + (q_k * L_s/2) * \gamma_Q] * L_p^2$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * 17,8 * 5,38^2 = 64,40\text{ kNm}$$

#### Mezní stav únosnosti

##### Plocha výztuže

$$A_{s1} = 3\emptyset R20 + 2\emptyset R18 = (9,42 + 5,09) * 10^{-4} = 14,51 * 10^{-4}\text{ m}^2$$

##### Poloha neutrálné osy:

$$F_s - F_c = 0$$

$$A_{s1} * f_{yd} = f_{cd} * \lambda * x * b$$

$$x = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{f_{cd} * b * \lambda} = \frac{14,51 * 10^{-4} * 435}{21,59/1,5 * 0,40 * 0,8} = 0,137\text{ m}$$

### Kontrola využití výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x)$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,0035}{0,137} (0,5495 - 0,137) = 0,0105$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{435}{200 * 10^3} = 0,002175$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$$

$$0,0105 \geq 0,002175$$

Danou vrstvu výztuže lze považovat za plně využitou

### Rameno vnitřních sil

$$z_c = d - 0,5 * \lambda * x$$

$$z_c = 0,5495 - 0,5 * 0,8 * 0,137 = 0,495 \text{ m}$$

### Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z_c$$

$$M_{Rd} = 14,51 * 10^{-4} * 435 * 10^3 * 0,495 = 312,24 \text{ kNm}$$

### Posouzení únosnosti

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$312,24 > 64,40 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

### Zatížení při další manipulaci

Vzhledem k faktu, že se statické schéma nemění a zatížení při vyjímání z formy je větší než následné namáhání při manipulaci. Není nutno tuto skutečnost dále ověřovat.

## 5.4 POSOUZENÍ SLOUPU SL4 VYJMUTÍ Z FORMY A MANIPULACI

### Vstupní parametry

$$c_y = c_z = b = h = 0,4 \text{ m}$$

$$f_{cm} = 38 \text{ MPa}$$

$$l = 9,60 \text{ m}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

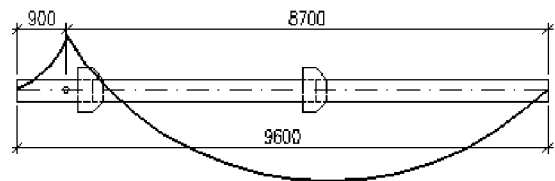
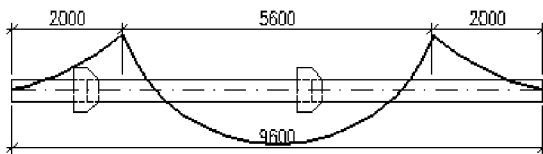
$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

$$F_1^* = 122,37 \text{ kN}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$



### Zatížení při vyjímání z formy

Materiálové parametry při  $t_0 = 7$  dní

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s * \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\} = \exp \left\{ 0,25 * \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\} = 0,779$$

$$f_{cm}(t) = \beta_{f_{cm}}(t) * f_{cm} = 0,779 * 38 = 29,59 \text{ MPa}$$

$$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8 = 29,59 - 8 = 21,59 \text{ MPa}$$

### Zatížení

#### Výpočet náhradního zatížení

$$g_{dn} = F_1^* / L_p = 122,37 / 9,60 = 12,747 \text{ kN/m'}$$

#### Výpočet maximálního ohybového momentu

$$M_{Ed,k} = \frac{1}{2} * g_{dn} * L_1^2$$

$$M_{Ed,k} = \frac{1}{2} * 12,747 * 2,0^2 = 25,50 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,s} = \frac{1}{8} * g_{dn} * L_2^2 - M_{Ed,k}$$

$$M_{Ed,s} = \frac{1}{8} * 12,747 * 5,6^2 - 25,50 = 24,47 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \max\{M_{Ed,k}; M_{Ed,s}\} = 25,50 \text{ kNm}$$

### Mezní stav únosnosti

#### Plocha výztuže

$$A_{s1} = 4\emptyset R25 = 19,36 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Poloha neutrálné osy:**

$$F_s - F_c = 0$$

$$A_{s1} * f_{yd} = f_{cd} * \lambda * x * b$$

$$x = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{f_{cd} * b * \lambda} = \frac{19,36 * 10^{-4} * 435}{21,59/1,5 * 0,40 * 0,8} = 0,183 \text{ m}$$

**Kontrola využití výztuže**

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x)$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,0035}{0,183} (0,3515 - 0,183) = 0,007$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{435}{200 * 10^3} = 0,002175$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$$

$$0,007 \geq 0,002175$$

Danou vrstvu výztuže lze považovat za plně využitou

**Rameno vnitřních sil**

$$z_c = d - 0,5 * \lambda * x$$

$$z_c = 0,3515 - 0,5 * 0,8 * 0,183 = 0,278 \text{ m}$$

**Moment na mezi únosnosti**

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z_c$$

$$M_{Rd} = 19,36 * 10^{-4} * 435 * 10^3 * 0,278 = 234,44 \text{ kNm}$$

**Posouzení únosnosti**

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$234,44 > 25,50 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

**Namáhání při osazování prvku**

*Zatížení*

**Výpočet náhradního zatížení**

$$g_{dn} = F_2^*/L_p = 106,14/9,60 = 11,06 \text{ kN/m'}$$

**Výpočet maximálního ohybového momentu**

$$M_{Ed,s} = \frac{1}{8} * g_{dn} * L_3^2$$

$$M_{Ed,s} = \frac{1}{8} * 11,06 * 8,7^2 = 104,61 \text{ kNm}$$

**Mezní stav únosnosti**

**Plocha výztuže**

$$A_{s1} = 4\emptyset R25 = 19,36 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Poloha neutrálné osy:**

$$F_s - F_c = 0$$

$$A_{s1} * f_{yd} = f_{cd} * \lambda * x * b$$

$$x = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{f_{cd} * b * \lambda} = \frac{19,36 * 10^{-4} * 435}{20 * 0,40 * 0,8} = 0,132 \text{ m}$$

**Kontrola využití výztuže**

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x)$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,0035}{0,132} (0,3515 - 0,132) = 0,011$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{435}{200 * 10^3} = 0,002175$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$$

$$0,011 \geq 0,002175$$

Danou vrstvu výztuže lze považovat za plně využitou

**Rameno vnitřních sil**

$$z_c = d - 0,5 * \lambda * x$$

$$z_c = 0,3515 - 0,5 * 0,8 * 0,132 = 0,299 \text{ m}$$

**Moment na mezi únosnosti**

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z_c$$

$$M_{Rd} = 19,36 * 10^{-4} * 435 * 10^3 * 0,299 = 251,69 \text{ kNm}$$

**Posouzení únosnosti**

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$251,69 > 104,61 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

## 5.5 POSOUZENÍ SLOUPU SL1 NA VYJMUTÍ Z FORMY A MANIPULACI

### Vstupní parametry

$$c_y = 0,4 \text{ m}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$c_z = 1,0 \text{ m}$$

$$f_{cm} = 38 \text{ MPa}$$

$$l = 10,05 \text{ m}$$

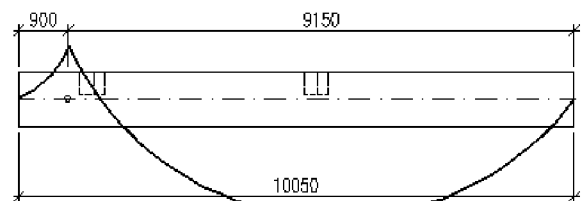
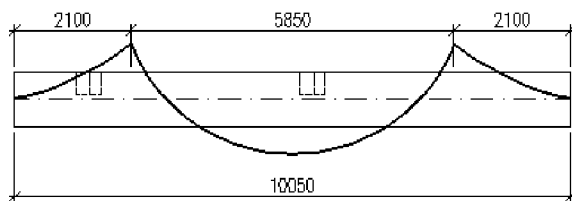
$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

$$F_1^* = 282,08 \text{ kN}$$



### Zatížení při vyjímání z formy

Materiálové parametry při  $t_0 = 7$  dní

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s * \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\} = \exp \left\{ 0,25 * \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\} = 0,779$$

$$f_{cm}(t) = \beta_{fcm}(t) * f_{cm} = 0,779 * 38 = 29,59 \text{ MPa}$$

$$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8 = 29,59 - 8 = 21,59 \text{ MPa}$$

### Zatížení

#### Výpočet náhradního zatížení

$$g_{dn} = F_1^* / L_p = 282,08 / 10,05 = 28,07 \text{ kN/m'}$$

#### Výpočet maximálního ohybového momentu

$$M_{Ed,k} = \frac{1}{2} * g_{dn} * L_1^2$$

$$M_{Ed,k} = \frac{1}{2} * 28,07 * 2,1^2 = 61,89 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,s} = \frac{1}{8} * g_{dn} * L_2^2 - M_{Ed,k}$$

$$M_{Ed,s} = \frac{1}{8} * 28,07 * 5,85^2 - 61,89 = 58,19 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \max\{M_{Ed,k}; M_{Ed,s}\} = 61,89 \text{ kNm}$$

### Mezní stav únosnosti

#### Plocha výztuže

$$A_{s1} = 4\emptyset R18 = 10,18 * 10^{-4} m^2$$

**Poloha neutrálné osy:**

$$F_s - F_c = 0$$

$$A_{s1} * f_{yd} = f_{cd} * \lambda * x * b$$

$$x = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{f_{cd} * b * \lambda} = \frac{10,18 * 10^{-4} * 435}{21,59/1,5 * 0,40 * 0,8} = 0,096 m$$

**Kontrola využití výztuže**

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x)$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,0035}{0,096} (0,955 - 0,096) = 0,0165$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{435}{200 * 10^3} = 0,002175$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$$

$$0,0165 \geq 0,002175$$

Danou vrstvu výztuže lze považovat za plně využitou

**Rameno vnitřních sil**

$$z_c = d - 0,5 * \lambda * x$$

$$z_c = 0,955 - 0,5 * 0,8 * 0,096 = 0,91655 m$$

**Moment na mezi únosnosti**

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z_c$$

$$M_{Rd} = 10,18 * 10^{-4} * 435 * 10^3 * 0,91655 = 405,88 kNm$$

**Posouzení únosnosti**

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$405,88 > 61,89 kNm$$

Vyhovuje

**Namáhání při osazování prvku**

*Zatížení*

**Výpočet náhradního zatížení**

$$g_{dn} = F_2^*/L_p = 257,90/10,05 = 25,66 kN/m'$$

**Výpočet maximálního ohybového momentu**



$$M_{Ed,s} = \frac{1}{8} * g_{dn} * L_3^2$$

$$M_{Ed,s} = \frac{1}{8} * 25,66 * 9,15^2 = 268,56 \text{ kNm}$$

**Mezní stav únosnosti**

**Plocha výztuže**

$$A_{s1} = 4\phi R18 = 10,18 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Poloha neutrálné osy:**

$$F_s - F_c = 0$$

$$A_{s1} * f_{yd} = f_{cd} * \lambda * x * b$$

$$x = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{f_{cd} * b * \lambda} = \frac{10,18 * 10^{-4} * 435}{20 * 0,40 * 0,8} = 0,069 \text{ m}$$

**Kontrola využití výztuže**

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x)$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,0035}{0,069} (0,955 - 0,069) = 0,0243$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{435}{200 * 10^3} = 0,002175$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$$

$$0,0243 \geq 0,002175$$

Danou vrstvu výztuže lze považovat za plně využitou

**Rameno vnitřních sil**

$$z_c = d - 0,5 * \lambda * x$$

$$z_c = 0,955 - 0,5 * 0,8 * 0,069 = 0,927 \text{ m}$$

**Moment na mezi únosnosti**

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z_c$$

$$M_{Rd} = 10,18 * 10^{-4} * 435 * 10^3 * 0,927 = 410,65 \text{ kNm}$$

**Posouzení únosnosti**

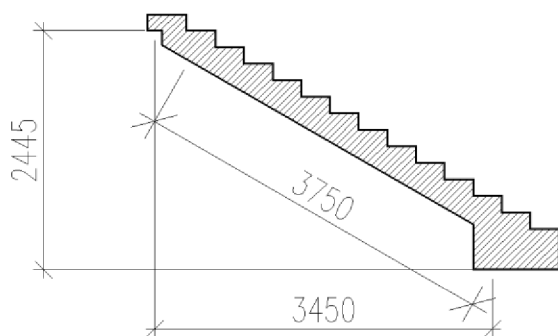
$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$410,65 > 268,56 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

## 6 VÝPOČET ZATÍŽENÍ SCHODIŠTĚ

Vstupní parametry



$$S_{pc} = 1,51 \text{ m}^2$$

boční plocha schodiště odměřena v PC

$$l = 3,45 \text{ m}$$

délka mezi podporami, odměřena v PC

$$g_k = S_{pc} * \gamma_m / l$$

$$g_k = 1,51 * 25 / 3,45 \cong 10,94 \text{ kN/m'}$$

### Výpočet zatížení prvku

Zatížení při odbedňování a montáži

Síla potřebná pro vytažení z formy

$$F_{adh,n} = S_n * v_{adh}$$

$$F_{adh,n} = 2 * 1,51 + 1,1 * 16 * \frac{292,5 + 168,75}{1000} * 2,0 = 20,80 \text{ kN}$$

$$F_1^* = 1,3 * \gamma_{fg} * (F_n + F_{adh,n})$$

$$F_1^* = 1,3 * 1,35 * (1,51 * 1,1 * 25 + 20,80) = 109,38 \text{ kN}$$

Síla potřebná pro další manipulaci

$$F_2^* = 1,8 * \gamma_{man} * \gamma_{fg} * F_n$$

$$F_2^* = 1,8 * 1 * 1,35 * 1,51 * 1,1 * 25 = 100,91 \text{ kN}$$

Náhradní zatížení

$$f_d = \frac{F_1^*}{1,1 * l} = \frac{109,38}{1,1 * 3,75} = 24,25 \text{ kN/m'}$$

### 6.1.1 VÝPOČET MAXIMÁLNÍHO NAMÁHÁNÍ PRVKU

Namáhání po zabudování prvku

$$M_{Rd} = \frac{1}{8} * (g_k * \gamma_G + q_k * \gamma_Q * l^2) = \frac{1}{8} * (10,94 * 1,35 + 3 * 1,5) * 3,45^2 = 28,67 \text{ kNm}$$

Namáhání při odbedňování

Materiálové parametry při  $t_0 = 7$  dní

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s * \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\} = \exp \left\{ 0,25 * \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\} = 0,779$$

$$f_{cm}(t) = \beta_{fcm}(t) * f_{cm} = 0,779 * 38 = 29,59 \text{ MPa}$$

$$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8 = 29,59 - 8 = 21,59 \text{ MPa}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * [f_d] * L_p^2$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * 24,25 * 4,1^2 = 50,96 \text{ kNm}$$

### Namáhání při manipulaci

Vzhledem k faktu, že se statické schéma nemění a zatížení při vyjímání z formy je větší než následné namáhání při manipulaci. Není nutno tuto skutečnost dále ověřovat.

#### 6.1.2 POSOUZENÍ

Mezní stav únosnosti

Betonová krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$c_{min} = \max\{12; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 15 + 5 \cong 20 \text{ mm}$$

$$d_1 = c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} = 20 + \frac{12}{2} \cong 26 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 0,25 - 0,026 = 0,224 \text{ m}$$

Požadovaná plocha výztuže

$$A_{s,req} = b * d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}}} \right)$$

$$A_{s,req} = 1,0 * 0,224 * \frac{21,59/1,5}{435} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 50,96}{1,0 * 0,224^2 * 20 * 10^3}} \right) = 5,37 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Návrhová plocha výztuže na základě požadavku

$$A_{s1} = \emptyset R12/150 = 7,54 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Poloha neutrálné osy:

$$F_s - F_c = 0$$

$$A_{s1} * f_{yd} = f_{cd} * \lambda * x * b$$

$$x = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{f_{cd} * b * \lambda} = \frac{7,54 * 10^{-4} * 435}{21,59/1,5 * 1,0 * 0,8} = 0,0285 \text{ m}$$

Kontrola využití výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x)$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,0035}{0,0285} (0,224 - 0,0285) = 0,024$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{435}{200 * 10^3} = 0,002175$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$$

$$0,024 \geq 0,002175$$

Danou vrstvu výztuže lze považovat za plně využitou

#### Rameno vnitřních sil

$$z_c = d - 0,5 * \lambda * x$$

$$z_c = 0,224 - 0,5 * 0,8 * 0,0285 = 0,213 \text{ m}$$

#### Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z_c$$

$$M_{Rd} = 7,54 * 10^{-4} * 435 * 10^3 * 0,213 = 69,73 \text{ kNm}$$

#### Posouzení únosnosti

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$69,73 > 50,96 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

#### Konstrukční zásady

##### Kontrola míry vyztužení

$$A_{s,min1} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d$$

$$A_{s,min1} = 0,26 * \frac{2,9}{500} * 1,0 * 0,224 = 3,38 * 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,min2} = 0,0013 * b * d$$

$$A_{s,min2} = 0,0013 * 1,0 * 0,224 = 2,91 * 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 * b * h$$

$$A_{s,max} = 0,04 * 1,0 * 0,25 = 100 * 10^{-4} m^2$$

$$\max\{A_{s,min1}; A_{s,min2}\} \leq A_{s1} \leq A_{s,max}$$

$$3,38 < 7,54 < 100 [* 10^{-4} m^2]$$

Vyhovuje

Výpočet maximální posouvající síly

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * f_d * L_p$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * 24,25 * 4,1 = 49,71 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{V_{Ed} * \left[ \frac{L_p}{2} - (a_1 + d) \right]}{\frac{L_p}{2}}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{49,71 * \left( \frac{4,1}{2} - (0,05 + 0,224) \right)}{\frac{4,1}{2}} = 43,07 \text{ kN}$$

Smyková únosnost betonu bez podélné výztuže

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b * d$$

minimálně však:  $(v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b * d$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k_1 * \sigma_{cp} = 0,15 * \sigma_{cp} = 0 ; \text{ bez vlivu normálové síly}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{224}} = 1,945 ; \text{ maximálně } \leq 2$$

$$\rho_l = \frac{A_{s1}}{b * d} = \frac{7,54 * 10^{-4}}{1,0 * 0,224} = 0,00337 ; \text{ maximálně } < 0,02$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 * 1,945^{\frac{3}{2}} * 21,59^{\frac{1}{2}} = 0,52 \text{ MPa}$$

$$(v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b * d = (0,52 + 0) * 1,0 * 0,224 = 0,116 \text{ MN}$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 * 1,945 * (100 * 0,00337 * 21,59)^{\frac{1}{3}} + 0 \right] * 1,0 * 0,224 = 0,126 \text{ MN}$$

$$V_{Rd,c} = 126 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed,1}$$

$$126 > 43,07 \text{ kN}$$

Vyhoví, není potřeba navrhovat smykovou výztuž desky

## 7 KOTEVNÍ PRVKY

Kotevními prvky rozumíme prvky, které zabezpečují polohu prvků na místě uložení, před jejich zajištěním. V tomto případě jde o trny 2ØR16 pevně spojené se základním prvkem a následnou zálivku montážních otvorů a vytvrnutí směsí.

### Vstupní parametry

$$F_{wd,0} = 7,30 \text{ kN}$$

$$F_{wd,1} = 17,76 \text{ kN}$$

$$F_{wd,2} = 14,41 \text{ kN}$$

$$F_{wd,3} = 11,57 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \max\{F_{wd,0}; F_{wd,1}; F_{wd,2}; F_{wd,3}\}$$

$$V_{Ed} = 17,76 \text{ kN}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

### Posouzení únosnosti

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{17,76}{2 * 2,01 * 10^{-4}} = 4417,91 \text{ kPa} = 4,42 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yk}}{(\sqrt{3} * \gamma_{M0})} = \frac{500}{\sqrt{3} * 1,15} = 301,46 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Rd} \geq \tau_{Ed}$$

$$301,46 > 4,42 \text{ kPa}$$

Vyhovuje. Zdánlivé předimenzování vychází z rizika srážky přemísťovaného břemene s kotevní výztuží, eliminace zohýbání kotevní výztuže.

## 8 ZÁVĚR

V rámci práce bylo zpracováno statické posouzení navržené konstrukce objektu. K řešení byl použit ruční výpočet. Každý konstrukční prvek je posouzen na nejnepříznivější kombinaci zatížení, která může nastat. Součástí statického výpočtu je výkres výztuže jednotlivých prvků konstrukce, včetně výkresů skladby prvků v jednotlivých podlažích.

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### 9.1 NORMY

ČSN 730035 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové síly, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. EN 1991-1-1. Praha: ČNI, 2004.

ČSN 730035 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*. EN 1991-1-3:2003. Ed. 2. Praha: ÚNMZ, 2013.

ČSN 730035 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. EN 1991-1-4:2005. Ed. 2. Praha: ÚNMZ, 2013.

ČSN 730035 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-6: Obecná zatížení - Zatížení během provádění*. EN 1991-1-6. Praha: ČNI, 2006.

ČSN 731000 *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla*. EN 1997-1. Praha: ČNI, 2006.

ČSN 731101 *Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce*. EN 1996-1-1+A1. Praha: ÚNMZ, 2013.

ČSN 731101 *Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí - Část 2: Volba materiálů, konstruování a provádění zdiva*. EN 1996-2. Praha: ČNI, 2007.

ČSN 731401 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. EN 1993-1-1. Ed. 2. Praha: ÚNMZ, 2011.

ČSN 731201 *Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb*. EN 1992-1-1. Praha: ÚNMZ, 2010.

ČSN 732403 *Beton - specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. EN 206. Praha: ÚNMZ, 2014.

### 9.2 PUBLIKACE, ČLÁNKY, KATALOGY

Zich M., a spol. *Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů*. Praha: Verlag Dashöfer, 2010. ISBN 978-80-86897-38-7.

Procházka, J., Šmejkal, J. *Navrhování betonových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2010. 338 stran. ISBN 978-80-87438-03-9

Košatka, P., Broukalová I. *Navrhování zděných konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1996-1-1*. Praha: ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87438-02-2.

Macháček, J. a spol. *Navrhování ocelových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-8*. Praha: ČKAIT, 2009. ISBN 978-80-87093-86-3.

Šmejkal, J., Procházka, J. *Navrhování základových konstrukcí s použitím modelů náhradní přihradoviny*. In: BETON- technologie, konstrukce, sanace. 2011/2, str. 76-86. ISSN 1213-3116.

katalog POROTHERM kompletní cihlový systém (podklad pro navrhování, Wienerberger cihlářský průmysl, a.s. České Budějovice)



# 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Použité značky vycházejí z ISO 3898:1987.

## 10.1 VELKÁ PÍSMENA LATINSKÉ ABECEDY

$A_c$	průřezová plocha betonu
$A_i$	průřezová plocha ideálního průřezu
$A_s$	průřezová plocha betonářské výztuže
$A_{s,min}$	minimální průřezová plocha betonářské výztuže
$A_{s,max}$	maximální průřezová plocha betonářské výztuže
$C_{dir}$	součinitel ročního období
$C_{l,t}$	ohybová poddajnost
$C_{season}$	součinitel směru větru
$C_{r(z)}$	součinitel drsnosti terénu
$E_{c,eff}$	účinný modul pružnosti betonu
$E_{cm}$	sečnový modul pružnosti betonu
$E_{c(t)}$	tečnový modul pružnosti obyčejného betonu při napětí v okamžiku $t$
$E_s$	návrhová hodnota modulu pružnosti betonářské oceli
$F$	zatížení
$F$	návrhová hodnota zatížení
$F_k$	charakteristická hodnota zatížení
$G_k$	charakteristická hodnota stálého zatížení
$I$	moment setrvačnosti průřezu
$L$	rozměr konstrukční části ve směru osy $x$
$K_r$	součinitel pasivního tlaku
$M$	ohybový moment
$M_{ed}$	návrhová hodnota působícího vnitřního ohybového momentu
$N$	normálová síla
$N_{Ed}$	návrhová hodnota působící normálové síly (tah nebo tlak)

$Q_k$	charakteristická hodnota proměnného zatížení
R	únosnost; odolnost
S	proměnné zatížení sněhem
T	krouticí moment
$V_{Ed}$	maximální posouvající síla

## 10.2 MALÁ PÍSMENA LATINSKÉ ABECEDY

b	rozměr konstrukční části ve směru osy y
c	hodnota krycí vrstvy betonu
$c_e$	součinitel expozice
$c_t$	součinitel tepla
$c_{min}$	minimální hodnota krycí vrstvy betonu
$c_{min,b}$	minimální hodnota krycí vrstvy betonu s přihlédnutím k požadavku soudržnosti
$c_{min,dur}$	minimální hodnota krycí vrstvy betonu s přihlédnutím k podmínkám prostředí
$\Delta c_{min,\gamma}$	přídavná hodnota z hlediska spolehlivosti
$\Delta c_{dur,st}$	redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli
$\Delta c_{dur,add}$	redukce min. krycí vrstvy při použití dodatečné ochrany (např. povlak výztuže)
d	účinná výška průřezu
e	excentricita
$f_{cd}$	návrhová pevnost betonu v tlaku
$f_{bd}$	návrhové napětí v soudržnosti
$f_{ck}$	charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku ve stáří 28 dní
$f_{ctk}$	charakteristická pevnost betonu v dostředném tahu
$f_{ctm}$	průměrná hodnota pevnosti betonu v dostředném tahu
$f_{yd}$	návrhová mez kluzu betonářské výztuže
$f_{yk}$	charakteristická mez kluzu betonářské výztuže
$g_k$	charakteristická hodnota stálého zatížení
$g_d$	návrhová hodnota stálého zatížení
h	rozměr konstrukční části ve směru osy z

$i$	poloměr setrvačnosti
$k$	součinitel
$k_r$	součinitel terénu
$l$	rozměr konstrukční části ve směru osy $x$
$l_{bd}$	návrhová kotevní délka
$l_{b,min}$	minimální kotevní délka
$l_{b,rqd}$	základní kotevní délka
$s_k$	charakteristická hodnota zatížení sněhem dle sněhové mapy
$t$	uvažovaný časový okamžik
$u$	kontrolní obvod
$v_b$	základní rychlost větru
$v_{bo}$	charakteristická hodnota rychlosti větru
$v_{m(z)}$	střední rychlost větru
$w$	šířka trhliny
$x,y,z$	souřadnice
$x$	poloha neutrální osy
$x_{lim}$	limitní poloha neutrální osy
$z$	výška budovy
$z_c$	rameno vnitřních
$z_o$	parametr drsnosti

### 10.3 MALÁ PÍSMENA ŘECKÉ ABECEDY

$a$	úhel; poměr
$b$	úhel; poměr; součinitel
$\gamma$	dílčí součinitel
$\gamma_C$	dílčí součinitel betonu
$\gamma_F$	dílčí součinitel zatížení F
$\gamma_G$	dílčí součinitel stálého zatížení G
$\gamma_M$	dílčí součinitel vlastnosti materiálu, zahrnující nejistoty vlastností materiálu

$\gamma_Q$	dílčí součinitel proměnného zatížení Q
$\gamma_S$	dílčí součinitel betonářské oceli
$\gamma_m$	dílčí součinitel vlastnosti materiálu zahrnující pouze nejistoty vlastnosti materiálu
z	redukční součinitel; rozdělovací součinitel
$\mu_i$	tvarový součinitel
$e_c$	poměrné stlačení betonu
$e_{sm}$	poměrné stlačení oceli
$e_u$	poměrné přetvoření betonářské oceli
l	štíhlostní poměr
n	Poissonův součinitel
r	objemová hmotnost vysušeného betonu v $\text{kg/m}^3$
$r_{p,eff}$	
$s_c$	tlakové napětí v betonu
f	průměr prutu betonářské výztuže
$\psi$	součinitele, kterými se definují reprezentativní hodnoty proměnného zatížení
$\psi_0$	pro kombinační hodnoty
$\psi_1$	pro časté hodnoty
$\psi_2$	pro kvazistálé hodnoty

#### 10.4 POUŽITÉ ZKRATKY

MSÚ	mezní stav únosnosti
MSP	mezní stav použitelnosti
ŽB	železobeton
EC	Eurokód
tl.	tloušťka

## 11 SEZNAM PŘÍLOH

- ST.01 - SKLADBA PRVKŮ - ZÁKLADY
- ST.02 - SKLADBA PRVKŮ - 1NP
- ST.03 - SKLADBA PRVKŮ - 2NP
- ST.04 - KALICHOVÁ PATKA KP1
- ST.05 - KALICHOVÁ PATKA KP4
- ST.06 - ZÁKLADOVÝ PRÁH ZP1
- ST.07 - ZÁKLADOVÝ PRÁH ZP4
- ST.08 - ZÁKLADOVÝ PRÁH ZP14
- ST.09 - ZÁKLADOVÝ PRÁH ZP44
- ST.10 - SLOUP SL4.X
- ST.11 - SLOUP SL4.T
- ST.12 - SLOUP SL4.I
- ST.13 - SLOUP SL4.L
- ST.14 - SLOUP SL1
- ST.15 - PRŮVLAK PR1
- ST.16 - PRŮVLAK PR2
- ST.17 - PRŮVLAK PR3
- ST.18 - PRŮVLAK PR4
- ST.19 - PRŮVLAK PR5