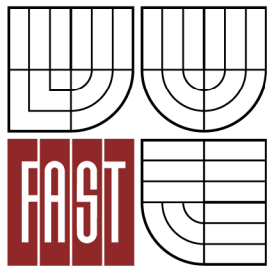


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

# VODOHOSPODÁŘSKÉ KONSTRUKCE - ODPADOVÁ ŠACHTA

SEWAGE ABSORBING WELL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

LUKÁŠ KULLA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ STRNAD, Ph.D.

BRNO 2014



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav betonových a zděných konstrukcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Lukáš Kulla
<b>Název</b>	Vodohospodářské konstrukce - odpadová šachta
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	Ing. Jiří Strnad, Ph.D.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2013
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	30. 5. 2014
V Brně dne 30. 11. 2013	

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

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

## **Podklady a literatura**

Schémata zadaného objektu (dílní půdorysy a řezy)

Platné normy z oboru betonových a zděných staveb, geotechniky atd.

Majdúch: Zásady vystužovania betónových konštrukcií

Skripta, podklady a opory používané ve výuce na ÚBZK FAST VUT v Brně

Výpočetní programy pro PC

## **Zásady pro vypracování**

Výpočet a výkresy navrhované konstrukce (výpočet provést vhodným výpočetním programem, případně ručně provést ověření). Práce je zaměřena na silový rozbor po výšce objektu.

Další výstupy (výpočet, výkresy atd.) dle zadání vedoucího bakalářské práce.

Technická zpráva statické části.

Požadované výstupy:

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

Přílohy textové části:

P1) Použité podklady

P2) Statický výpočet

P3) Výkresová dokumentace

P4) Vizualizace

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x). Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě dle směrnic a na CD (1x).

## **Předepsané přílohy**

.....  
Ing. Jiří Strnad, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **Abstrakt**

Cílem práce je určit zatížení působící na odpadovou šachtu daných rozměrů, nadimenzovat výztuž odpadové šachty a následně posoudit na mezní stav únosnosti a použitelnosti. Při výpočtu vnitřních sil se uplatnil ruční výpočet, který je následně ověřen tabulkovými hodnotami a výpočtovým programem na bázi metody konečných prvků SCIA Engineer. Konstrukce je navržena tak, aby splňovala veškeré požadavky technických norem ČSN EN.

## **Klíčová slova**

odpadová šachta, vysoká nádrž, železobeton, stěna, základová deska, stropní deska, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti

## **Abstract**

The aim of this bachelor's thesis is to determine the loads acting on the waste shaft of given dimensions and design the reinforcement. Then assess the ultimate limit state and serviceability. When calculating internal forces are applied manual calculation, which is then verified tabular values and static program based on finite element method SCIA Engineer. The structure is designed to comply with all requirements of technical standards CSN EN.

## **Keywords**

waste shaft , high reservoir, reinforced concrete, wall, baseplate, ceiling board, ultimate limit state, serviceability limit state

## **Bibliografická citace VŠKP**

Lukáš Kulla *Vodohospodářské konstrukce - odpadová šachta*. Brno, 2014. 46 s., 103 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Jiří Strnad, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26.5.2014

.....  
podpis autora  
Lukáš Kulla

**Poděkování:**

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Strnadovi, Ph.D. za ochotu, cenné rady a připomínky v průběhu zpracování této práce.



**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

**TECHNICKÁ ZPRÁVA**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**LUKÁŠ KULLA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. JIŘÍ STRNAD, Ph.D.**

BRNO 2014



## OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>1 Popis základových poměrů.....</b>	<b>10</b>
<b>2 Navržená betonová směs .....</b>	<b>10</b>
<b>3 Navržená výztuž.....</b>	<b>11</b>
<b>4 Popis konstrukčních prvků .....</b>	<b>11</b>
4.1 Základová deska .....	11
4.2 Podélné stěny.....	11
4.3 Příčné stěny.....	12
4.4 Stropní deska .....	12
<b>5 Etapy výstavby.....</b>	<b>13</b>
5.1 Zaměření objektu a zemní práce .....	13
5.2 Úprava základové spáry a odvodnění .....	13
5.3 Podkladní konstrukce.....	13
5.4 Betonáž základové desky .....	13
5.5 Betonáž stěn .....	14
5.6 Betonáž stropní desky.....	14
5.7 Ochrana železobetonové konstrukce .....	14
5.8 Technické zařízení .....	14
5.9 Zásypové práce a úprava okolí.....	15

## ÚVOD

Cílem práce je vypracovat podrobný návrh a posouzení železobetonové konstrukce odpadové šachty, která bude součástí čistírny odpadních vod. Konstrukce je navržena tak, aby splňovala veškeré požadavky technických norem ČSN EN a platných zákonů České republiky, ale zároveň plnila svou funkci, požadavky na náročnost provozu a byla spolu s jinými částmi plnohodnotnou součástí čistírny odpadních vod.

Šachta má tvar pravoúhlé nádrže a skládá se z několika konstrukčních prvků. Jedná se o podzemní stavbu, která leží celou svou konstrukcí pod úrovní terénu. Konstrukce je vystavena zemnímu tlaku, provoznímu přetížení, působení splaškové vody, ale i hladiny podzemní vody.

Ve statickém výpočtu je použit především ruční výpočet, který je následně ověřen tabulkovými hodnotami a výpočtovým programem na bázi metody konečných prvků SCIA Engineer. Při statickém řešení je rozdělena konstrukce do třech částí (základová deska, svislé stěny, stropní deska), které jsou řešeny samostatně. Rozměry a navržená výztuž je obsahem výkresové části. Součástí práce je i vizualizace v několika počítačových softwarech.

## 1 Popis základových poměrů

Odpadová šachta je založena celou svou výškou pod úroveň terénu. Stavební nula je v nadmořské výšce 342,077 m.n.m., B.p.v. V okolí objektu byl proveden geologický vrt o hloubce 14 m, který prokázal výskyt hlíny a písku. Do hloubky 9,6 m zasahuje Hlína F5-ML s nízkou plasticitou. Pod vrstvou hlíny se nachází písek hlinitý S4-SM. Hladina podzemní vody byla zjištěna v hloubce -2,175 m. Hloubka založení odpadové šachty je 5,550 m pod úroveň terénu.

## 2 Navržená betonová směs

Návrh betonové směsi je stanoven metodou dle Bolomeye. Metoda vychází z výpočtu potřebného množství vody, která je potřebná k hydrataci cementu a na smáčení zrn kameniva podle potřebné konzistence. Při provozu nádrže je předpokládáno naplnění nádrže splašky a chemickými látkami, proto je zvolena třída prostředí XA2 – středně agresivní prostředí. Nádrž je navržena z betonu C 30/37, s maximálním vodním součinitelem  $w=0,5$  a minimálním množstvím cementu  $320 \text{ kg/m}^3$ .

Je zvoleno kamenivo těžené i drcené, drobné zrnitosti. Maximální frakcí kameniva je stanovena dle výpočtu frakce 8/16. Objemová hmotnost kameniva je  $2684 \text{ kg/m}^3$  a sypaná objemová hmotnost směsi kameniva je  $2054 \text{ kg/m}^3$ .

Jako pojivý materiál je zvolen cement CEM I 42,5 o pevnosti 42,5 MPa, s objemovou hmotností  $3100 \text{ kg/m}^3$  a voda o objemové hmotnosti  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

Množství složek čerstvého betonu je stanoveno výpočtem v příloze P. 2. Množství cementu 479,97 kg, vody 193,91 kg, písku (0-4) 825,27 kg, písku (4-8) 582,81 kg a štěrku (8-16) 340,01 kg na jeden metr krychlový betonu. Celkový objem konstrukce je  $37,387 \text{ m}^3$ .

### 3 Navržená výztuž

Betonová konstrukce bude vyztužena vázanou betonářskou výztuží B500B (jmenovitě  $\varnothing$  6; 8; 10 mm) různých délek a tvarů, které jsou podrobně uvedeny ve výkresové dokumentaci, příloha P. 3. Je zvolena žebírková výztuž kruhového tvaru, dodávaná v tyčích. Výztuž bude nastříhána a ohýbána ve výrobě. Celková délka potřebné výztuže  $\varnothing$ 6 mm je 1360,42 m,  $\varnothing$ 8 mm - 2324,86 m a  $\varnothing$ 10 mm – 2363,94 m. Celková hmotnost výztuže je 2671,63 kg. Podrobné specifikace jsou uvedeny ve výkazu výztuže v příloze P. 3. Ve výpočtu je stanovena minimální krycí vrstva 40 mm u všech částí konstrukce.

### 4 Popis konstrukčních prvků

Konstrukce odpadové šachty má tvar pravoúhlé nádrže, která je rozdělena do několika konstrukčních prvků. Jedná se o vysokou nádrž.

#### 4.1 Základová deska

Základová deska je založena na podkladní betonové desce půdorysných rozměrů 5,8 x 4,2 m a výšky 0,1 m. Podkladní deska je navržena z betonu C12/15. Založení podkladní desky je 5,550 m pod úroveň terénu. Základová deska má půdorysné rozměry 5,6 x 4,0 m a výšku 0,35 m. Je navržena z betonu C 30/37, vyztužena žebírkovou výztuží B500B. Založení základové desky je 5,450 m pod úroveň terénu. Výztuž je rozmístěna u horního i dolního povrchu desky. U obou povrchů, v obou směrech je navržena výztuž  $\varnothing$ 10 mm po 170 mm. Pro dodržení minimální krycí vrstvy se použijí distanční vložky. Pro zajištění polohy výztuže se použijí distanční ocelové kozlíky a spony. Při skládání výztuže se vyváží svislé pruty  $\varnothing$ 8/125 mm nad úroveň bednění, pro napojení svislých stěn a přenos vnitřních sil ve vetknutí.

#### 4.2 Podélné stěny

Podélné stěny tvoří svislou část konstrukce o větší délce než příčné stěny. Vnější rozměr je 4,9 x 4,9 m o tloušťce 0,3 m. Stěny jsou navrženy z betonu C 30/37, vyztužené žebírkovou výztuží B500B. Stěny jsou založeny 5,1 m pod úroveň terénu a jsou pomyslně rozděleny do dvou částí. První část má délku 2,0 m od horního povrchu stěny a je vyztužena vodorovnou výztuží jak u návodního, tak u zemního líce  $\varnothing$ 8/125 mm. Zbývající část je

vyztužena rovněž u obou povrchů vodorovnou výztuží a to  $\varnothing 10/125$  mm. Svislou výztuž tvoří rovné pruty  $\varnothing 8/250$  mm. Pro zajištění polohy výztuže se použijí ocelové spony. Při skládání výztuže se dle výkresu tvaru, příloha P. 3, naznačí otvory. Vodorovná i svislá výztuž se v místě otvoru odřeže a okolí otvoru se vyztuží dle výkresové dokumentace (Detail 4). Rovněž jako u základové desky se vyváží nad horní povrch stěn pruty  $\varnothing 8/250$  mm, tvaru opačného U, pro připojení stropní desky.

### 4.3 Příčné stěny

Příčné stěny tvoří svislou část konstrukce. Vnější rozměr je 2,7 x 4,9 m o tloušťce 0,3 m. Stěny jsou navrženy z betonu C 30/37, vyztužené žebírkovou výztuží B500B. Stěny jsou založeny 5,1 m pod úroveň terénu a jsou pomyslně rozděleny do dvou částí. První část má délku 2,0 m od horního povrchu stěny a je vyztužena vodorovnou výztuží jak u návodního, tak u zemního líce  $\varnothing 8/125$  mm. Zbývající část je vyztužena rovněž u obou povrchů vodorovnou výztuží a to  $\varnothing 10/125$  mm. Svislou výztuž tvoří rovné pruty  $\varnothing 8/250$  mm. Pro zajištění polohy výztuže se použijí ocelové spony. Při skládání výztuže se dle výkresu tvaru, příloha P. 3, naznačí otvory. Vodorovná i svislá výztuž se v místě otvoru odřeže a okolí otvoru se vyztuží dle výkresové dokumentace (Detail 4). Rovněž jako u základové desky se vyváží nad horní povrch stěn pruty  $\varnothing 8/250$  mm, tvaru opačného U, pro připojení stropní desky.

### 4.4 Stropní deska

Stropní deska má půdorysné rozměry 4,9 x 3,3 m a výšku 0,2 m. Deska je navržena z betonu C 30/37, vyztužena žebírkovou výztuží B500B. Stropní deska je založena 0,2 m pod úroveň terénu. Výztuž je rozmístěna u horního i dolního povrchu desky. U obou povrchů, v obou směrech je navržena výztuž  $\varnothing 6/120$  mm. Deska je obnažena několika otvory pro vstup a údržbu šachty. Rozměry otvorů jsou 0,6 x 0,9 m, 0,7 x 0,9 m (2x), 0,6 x 0,6 m (2x). Pro dodržení minimální krycí vrstvy se použijí distanční vložky. Pro zajištění polohy výztuže se použijí distanční ocelové kozlíky a spony.

## 5 Etapy výstavby

### 5.1 Zaměření objektu a zemní práce

Nejprve se za pomoci geodetického zařízení zaměří přesná poloha stavby a rozměry výkopových prací. Ta se zajistí pomocí stavebních laviček. Rozsah výkopových prací má půdorysný rozměr 7,0 x 5,5 m. Rozměry výkopových prací jsou zvětšeny oproti rozměrům objektu o pracovní prostor. Hloubka výkopové jámy je navržena 5,8 m pod úroveň terénu. Je uvažováno s podkladní štěrkovou vrstvou. Výkopová jáma se vyhloubí pomocí stavebního bagru. Stěny výkopu budou zajištěny dočasným záporovým pažením beraněným do hloubky 0,7 m pod dno výkopu. Úroveň hladiny podzemní vody bude snížena pod úroveň základové spáry až do doby vyzrání betonové nádrže.

### 5.2 Úprava základové spáry a odvodnění

Po dokončení výkopových prací se pro vyrovnání dna výkopu nasype směs hrubého kameniva a štěrku. Štěrková vrstva se zhutní na požadovanou hodnotu  $E_{def} = 50$  MPa. Do vrchní vrstvy štěrku se umístí drenážní potrubí pro odvod dešťové vody, které bude svedeno do sběrného místa.

### 5.3 Podkladní konstrukce

Nejprve se očistí povrch dna od napadaných nečistot. Vybetonuje se podkladní beton tloušťky 0,1 m o rozměrech 5,8 x 4,2 m. Po jejím vybetonování a zatvrdnutí bude zbavena nečistot. Na horní povrch podkladního betonu se položí separační PE fólie, která slouží jako ochrana betonu.

### 5.4 Betonáž základové desky

Na očištěném podkladním betonu bude sestaveno systémové bednění. Vnitřní povrch bednění se opatří odbedňovacím olejem pro snadné odbednění. Do bednění se vyváže výztuž dle výkresů. Vzniklý armovací koš se umístí na distanční prvky, které zajistí minimální krycí vrstvu. V místě obvodových stěn (pracovní spára) se umístí k horní výztuži těsnící plech BK, tl. 2mm. Následuje samotná betonáž. Každá dodávka betonové směsi musí být pečlivě kontrolována.

Během betonáže musí být betonová směs důkladně hutněna a ošetřována. Hutnění betonové vrstvy bude prováděno ponornými vibrátory. V následujících 5 – 7 dnech bude povrch betonu ošetřován dle teploty.

### **5.5 Betonáž stěn**

Očistí se základová deska od nečistot a následně na ní bude vyvázán armovací koš. Ten se umístí na distanční prvky, které zajistí minimální krycí vrstvu. Okolo armokoše se sestaví bednění. Bednění uvnitř šachty je zajištěno vzpěrami. Vnitřní povrch bednění se opatří odbedňovacím olejem. Dělicí stěna bude betonována současně s obvodovými. Velký důraz je kladen na to, aby byly stěny vybetonovány najednou, bez pracovních spár. To by mohlo vést ke vzniku trhlin a následné netěsnosti. Rovněž je kladen důraz na zajištění otvorů pro technické vybavení. Za žádnou cenu nesmí být zanedbány a dodatečně vyvrtány do zatvrdlého betonu, což by mohlo vést k porušení nosné výztuže. Během betonáže musí být betonová směs hutněna ponornými vibrátory a ošetřována. Po vybetonování musí být povrch betonu ošetřován dle teploty.

### **5.6 Betonáž stropní desky**

Po očištění horního povrchu stěn se na něj umístí bednění spolu s distančními prvky a armokošem. Při vázání výztuže je kladen důraz na řádné vyztužení v okolí vstupních otvorů. Během betonáže musí být betonová směs hutněna ponornými vibrátory a ošetřována. Po vybetonování musí být povrch betonu ošetřován dle teploty.

### **5.7 Ochrana železobetonové konstrukce**

Po zatvrdnutí betonu je potřeba provést nátěr vnitřních povrchů nádrže, které utěsnění kapiláry a póry. Tím zabrání pronikání vody a chemických látek do betonu. Nátěrem zvýšíme životnost nádrže.

### **5.8 Technické zařízení**

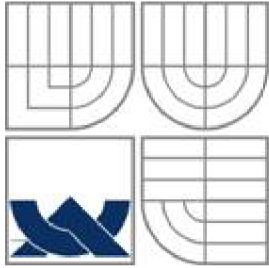
Po kompletním dokončení železobetonové konstrukce se šachta napustí vodou do předepsané výšky a provede se zkouška těsnosti. Po úspěšném dokončení zkoušek se vybaví technickým zařízením a napojí se na ostatní části čističky odpadních vod.



## 5.9 Zásypové práce a úprava okolí

Konstrukce se zasype vytříděným původním materiálem. Zásyp konstrukce je potřeba rozdělit do vrstev cca 0,5 m. Každá vrstva se rovnoměrně rozmístí a zhutní, až do výšky 0,1 m pod úroveň stávajícího terénu. Zbylá část se zasype vhodným substrátem pro vysetí trávního semene.





**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

## PRŮVODNÍ ZPRÁVA

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**LUKÁŠ KULLA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. JIŘÍ STRNAD, Ph.D.**

BRNO 2014

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>19</b>
<b>1 Popis objektu</b> .....	<b>20</b>
<b>2 Zatížení působící na odpadovou šachtu</b> .....	<b>20</b>
2.1 Stálé zatížení .....	20
2.2 Zatížení zeminou .....	20
2.3 Zatížení splaškovou vodou .....	21
2.4 Přetížení na nosné konstrukci .....	21
2.5 Návrhové součinitele zatížení .....	21
<b>3 Dimenzování stěn</b> .....	<b>21</b>
3.1 Návrh vodorovné výztuže .....	21
3.1.1 Vnitřní síly .....	21
3.1.2 Návrh výztuže.....	22
3.1.3 Posouzení průřezu na MSÚ.....	23
3.2 Návrh svislé výztuže .....	24
3.2.1 Vnitřní síly .....	24
3.2.2 Návrh výztuže.....	25
3.2.3 Posouzení průřezu na MSÚ.....	25
3.3 Posouzení na MSP .....	26
<b>4 Dimenzování stropní desky</b> .....	<b>27</b>
4.1 Výpočet dimenzačních momentů ve směru x.....	27
4.1.1 Kombinace 1.....	27
4.1.2 Kombinace 2.....	27
4.2 Výpočet dimenzačních momentů ve směru y.....	28
4.3 Návrhové vnitřní síly .....	28
4.4 Návrh výztuže.....	29
4.5 Posouzení na MSÚ .....	29
4.6 Posouzení na MSP .....	30
4.6.1 Vznik trhlin .....	30
4.6.2 Průhyb stropní desky .....	30
<b>5 Dimenzování základové desky</b> .....	<b>31</b>

5.1	Výpočet dimenzačních momentů ve směru X .....	32
5.2	Výpočet dimenzačních momentů ve směru Y.....	32
5.3	Návrhové vnitřní síly .....	33
5.4	Návrh výztuže.....	33
5.5	Posouzení na MSÚ .....	34
5.6	Posouzení na MSP .....	35
5.6.1	Vznik trhlin .....	35
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použitých zdrojů.....</b>	<b>37</b>
<b>8</b>	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>38</b>
<b>9</b>	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>45</b>
<b>10</b>	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>45</b>
<b>11</b>	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>46</b>

## ÚVOD

Cílem práce bylo určit zatížení působící na konstrukci daných rozměrů, při výpočtu vnitřních sil uplatnit ruční výpočet a výsledky ověřit pomocí vhodného výpočtového programu, nadimenzovat výztuž odpadové šachty a následně posoudit na mezní stav únosnosti a použitelnosti. Náplní práce bylo také vytvořit výkresy výztuže a tvaru nádrže. Součástí práce je i vizualizace v několika počítačových programech.

Jedná se o pravoúhlou nádrž a je zařazena do vysokých nádrží. Konstrukčně se skládá ze základové desky vykonzolované za líc stěn, obvodových stěn a jedné pažící stěny. Celý objekt je zastropen deskou. Pažící stěna vytváří nádrž o dvou komorách stejného objemu. Konstrukce je opatřena třemi otvory pro umístění technického vybavení a pěti otvory ve stropní desce pro vstup a údržbu uvnitř šachty. Technické vybavení odpadové šachty není předmětem řešení statického výpočtu. Objekt je navržen z betonu C 30/37 a vyztužen betonářskou žebírkovou výztuží B500B. Pro každou část konstrukce je stanovená minimální krycí vrstva 40 mm.

Konstrukce je ve statickém výpočtu rozdělena do samostatných částí a každá část je řešena odděleně. První část se zabývá dimenzováním stěn, následně stropní deskou a v poslední řadě základovou deskou. U každé části je uveden zjednodušený statický model, na kterém byl proveden výpočet vnitřních sil, působící zatížení jak v charakteristických, tak v návrhových hodnotách, návrh potřebné výztuže, posouzení konstrukční části na mezní stav únosnosti a použitelnosti a posouzení konstrukčních zásad. V mezním stavu únosnosti se výpočet zabývá především ohybovou únosností. V mezním stavu použitelnosti je pak zjišťován vznik trhlin a průhyb. Hodnoty vnitřních sil jsou ověřeny tabulkami a výpočtním programem SCIA Enginner. Rozdílnost výsledků je uvedena procentuálně v tabulce.

## 1 Popis objektu

Rozměry dílčích částí konstrukce byly pevně stanoveny podle rozměrů okolních objektů. Pro výpočet nelze uvažovat se skutečnými rozměry, a proto je celý objekt nahrazen střednicovým modelem. Výška střednicového modelu je 5,175 m, půdorysný rozměr střednice základové desky je 5,6 x 4,0 m. Podélná stěna je pro řešení zjednodušena do dvou částí nárysných rozměrů 5,175 x 2,3 m. Nárysný rozměr příčných stěn je 5,175 x 3,0 m.

Pro výpočet statických veličen je třeba určit, o jaký typ nádrže se jedná. V našem případě se jedná o nádrže vysoké. U těchto nádrží převládá výška nad půdorysnými rozměry a stěny tvoří uzavřený rám. V oblasti vetknutí stěny do dna nemůže nastat volná deformace půdorysného rámu, proto část zatížení zeminy tlakem nebo kapalinou přenáší svislý směr, tj. vznikající momenty ve svislém směru. Pro vlastní řešení se stěny nádrže rozdělí na pruhy o výšce 1m, zatížené příslušnou velikostí zemního tlaku, respektive tlaku vody. Jednotlivé pruhy se řeší jako uzavřený rám.

Je uvažováno založení nádrže v zemině **F5-ML** (Hlína s nízkou plasticitou). Vrstva hlíny zasahuje do větší hloubky než je hloubka založení řešeného objektu. Hladina podzemní vody zasahuje do hloubky  $h_{pv}=2,175$  m pod úroveň terénu.

## 2 Zatížení působící na odpadovou šachtu

### 2.1 Stálé zatížení

U stálého zatížení uvažujeme jednotně pro všechny části konstrukce objemovou tíhu betonu  $25\text{kN/m}^3$ . Stropní deska tak vyvolá při své tloušťce plošné zatížení  $5\text{ kN/m}^2$ . Stěny způsobí plošné zatížení  $7,5\text{ kN/m}^2$  a základová deska  $8,75\text{ kN/m}^2$ .

### 2.2 Zatížení zeminou

Zatížení zeminou působí jako proměnná hodnota závislá na výšce. Ze statického hlediska vytváří trojúhelníkové spojitě zatížení. Předpokládáme, že zemina působí jen na stěny nádrže. Působení zeminy na boční plochy základové ani stropní desky neuvažujeme. Pro výpočet je uvažován zemní tlak v klidu. Charakteristická hodnota zatížení zeminy v hloubce  $h=5,175$  m je  $69,035\text{ kN/m}^2$ .

## 2.3 Zatížení splaškovou vodou

Splašková voda působí uvnitř nádrže jako proměnná hodnota závislá na výšce. Ze statického hlediska vytváří trojúhelníkové spojitě zatížení. Předpokládáme, že splašková voda působí jen na stěny nádrže a dno základové desky. Ve výpočtu je uvažováno s hustotou splaškové vody  $10,5 \text{ kN/m}^3$ . Charakteristická hodnota zatížení splaškovou vodou v hloubce  $h=5,175 \text{ m}$  je  $54,340 \text{ kN/m}^2$ .

## 2.4 Přetížení na nosné konstrukci

Na stropní desce předpokládáme nahodilé užité zatížení  $5 \text{ kN/m}^2$  způsobené napadaným sněhem nebo pohybem obsluhy. Dále je předpokládáno přetížení v okolí objektu, například příjezdem vozidla apod. Přetížení vyvolává vodorovné rovnoměrné účinky, konstantní hodnoty  $3,335 \text{ kN/m}^2$ .

## 2.5 Návrhové součinitele zatížení

Ve výpočtu jsou uvažovány níže uvedené součinitele zatížení.

Vlastní tíha konstrukce	$\gamma_F = 1,35$
Zatížení zeminou	$\gamma_Z = 1,35$
Zatížení vodou	$\gamma_V = 1,35$
Proměnné zatížení	$\gamma_q = 1,50$

## 3 Dimenzování stěn

Návrh a posouzení stěn je třeba rozdělit do dvou částí. První část se zabývá vodorovnou výztuží od vodorovných účinků zatížení a druhá část se zabývá svislou výztuží v patě stěn od svislých a vodorovných účinků zatížení. Stěny posoudíme na mezní stav únosnosti a použitelnosti.

### 3.1 Návrh vodorovné výztuže

#### 3.1.1 Vnitřní síly

Nejprve jsou zjištěny vnitřní síly na zjednodušeném vodorovném rámu. Celá konstrukce je rozdělena na pruhy o výšce  $1 \text{ m}$ . Vnitřní síly na každém pruhu jsou stanoveny

samostatně. Zatížení na konstrukci řešíme jako libovolný úsek, délky 1 bm. Při dimenzování uvažujeme dvě možné kombinace zatížení. První kombinace je prázdná nádrž – zasypána a druhá kombinace je plná nádrž – nezasypána. Pro každý metrový úsek a každou kombinaci jsme si stanovili ohybový moment v rohu a v poli stran  $a$  a  $b$ . Pro každou stranu jsme si zjistili i normálové síly. Vnitřní síly jsou stanoveny v charakteristických hodnotách. Následně jsme zkombinovali hodnoty od přitížení a zatížení dle kombinace. Tím jsme dostali návrhové hodnoty.

Výpočet prokázal maximální návrhové hodnoty v pruhu číslo 4 pro obě kombinace. Tyto hodnoty jsou ověřeny výpočetním programem SCIA Engineer.

#### Vnitřní síly od kombinace prázdná nádrž – zasypána:

Moment	Ruční výpočet	Program SCIA	Rozdíl	
	[kNm]	[kNm/m]	[kNm]	[%]
$M_{a,ED,4}$	3,377	3,210	0,167	4,95
$M_{b,ED,4}$	37,852	36,800	1,052	2,78
$M_{ED,4}$	45,779	44,330	1,449	3,17

Tab. 1: Srovnání výsledků ohybových momentů: prázdná nádrž - zasypána

#### Vnitřní síly od kombinace plná nádrž – nezasypána:

Moment	Ruční výpočet	Program SCIA	Rozdíl	
	[kNm]	[kNm/m]	[kNm]	[%]
$M_{a,ED,4}$	2,480	2,400	0,080	3,23
$M_{b,ED,4}$	27,793	26,640	1,153	4,19
$M_{ED,4}$	33,611	33,580	0,031	0,092

Tab. 2: Srovnání výsledků ohybových momentů: plná nádrž - nezasypána

### 3.1.2 Návrh výztuže

Pro dosažení hospodárného řešení byl uvažován návrh výztuže podle obálky vnitřních sil. Proto jsou sjednoceny pruhy 1,2 a 3,4,5. Návrhy vychází z maximálních hodnot jednotlivých pruhů. Původní předpoklad návrhu výztuže podle obálky vnitřních sil

však nebyl dostačující a o navržené ploše výztuže rozhodly konstrukční zásady pro pruhy 1,2 a interakční diagram pro pruhy 3,4,5. Výztuž bude umístěna u obou líců průřezu.

**Navržená výztuž pro pruhy 1,2:**

$\varnothing 8 \text{ mm}$  po 125 mm

$$A_{s,1} = A_{s,2} = 4,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Navržená výztuž pro pruhy 3,4,5:**

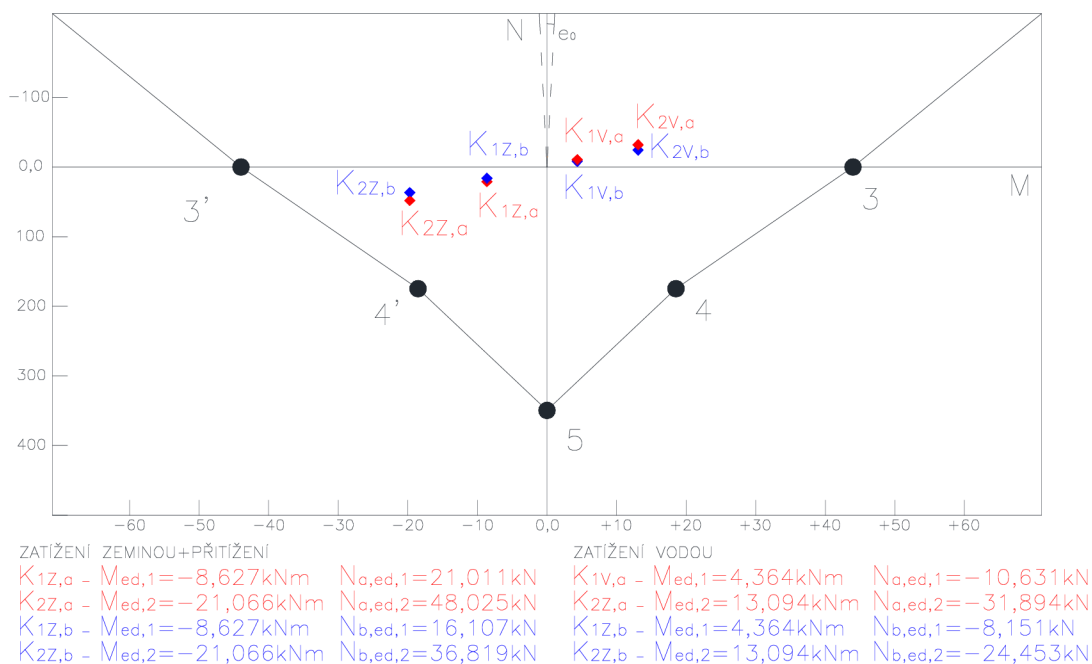
$\varnothing 10 \text{ mm}$  po 125 mm

$$A_{s,1} = A_{s,2} = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

### 3.1.3 Posouzení průřezu na MSÚ

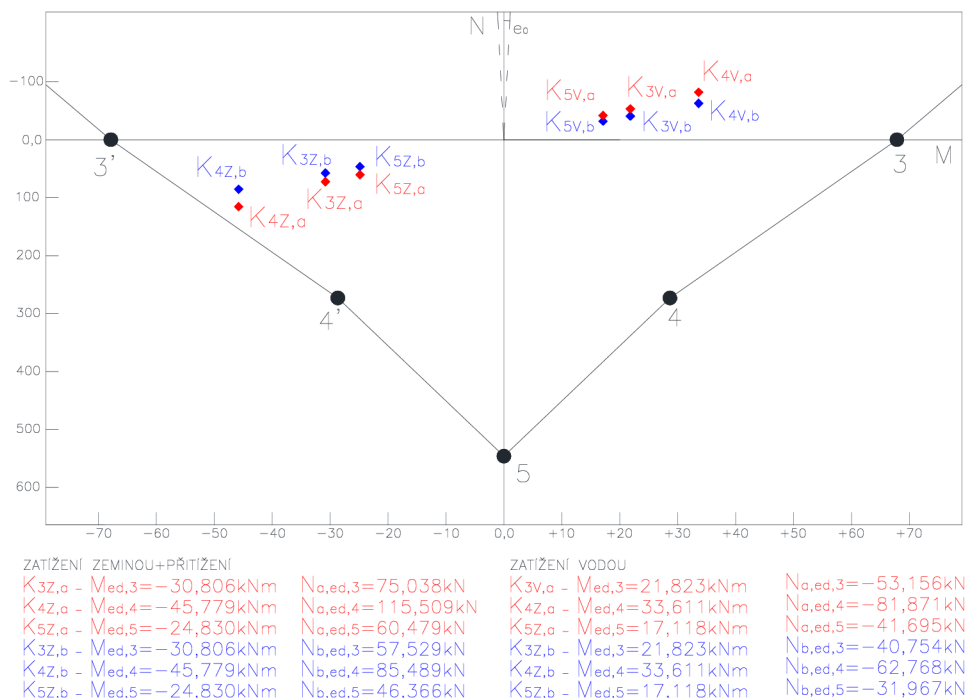
Železobetonový průřez je namáhán ohybovým momentem a normálovou silou. To vede k posouzení a vykreslení pomocí interakčního diagramu. Ve výpočtu uvažujeme rovnoměrné rozdělení napětí v tlačeném betonu a neomezené tahové přetvoření výztuže. Interakční diagram je rozdělen na body 0, 1, 2, 3, 4, 5, Z a 1', 2', 3', 4', Z', které vznikají pro namáhání průřezu momentem opačného znaménka. V případě našeho symetrického průřezu jsou hodnoty momentové únosnosti v absolutní hodnotě stejné jako pro případ 1,2,3,4,Z. Proto jsou hodnoty bodů označené čárkou uvedeny pouze na konci výpočtu.

**Posudek průřezu pro pruhy 1,2:**



**Obr. 1: Detail interakčního diagramu posuzovaného průřezu pro pruhy 1,2**



**Posudek průřezu pro pruhy 3,4,5:**

**Obr. 2: Detail interakčního diagramu posuzovaného průřezu pro pruhy 3,4,5**

## 3.2 Návrh svislé výztuže

### 3.2.1 Vnitřní síly

Svislá výztuž je navržena v místě paty stěny. Výpočet neovlivní délka stěny, pro kterou bude výztuž spočítána, proto je uveden pouze jeden výpočet vnitřních sil. V posouzení uvažujeme čtyři kombinace. V prvních dvou kombinacích (prázdná, plná nádrž) uvažujeme čistý ohybový moment bez vlivu vlastní tíhy konstrukce. Ve zbývajících budou uvažovány obě možnosti zatížení. Srovnání je uvedeno v detailu interakčního diagramu. U výpočtu vlivu vlastní tíhy konstrukce uvažujeme návrhový součinitel  $\gamma_F = 1,0$ . Protože vlastní tíha nám působí příznivě na konstrukci. Snížením součinitele dosáhneme méně příznivých účinků, které jsou vhodné pro dimenzování výztuže.

**Ohybové momenty v patě stěny:**

Moment	Ruční výpočet [kNm]	Program SCIA [kNm/m]	Rozdíl	
			[kNm]	[%]
$M_{ED,Z}$	31,660	32,240	0,580	1,83
$M_{ED,V}$	21,465	20,630	0,835	3,89

**Tab. 3: Srovnání výsledků ohybových momentů: pata stěny**
**3.2.2 Návrh výztuže**

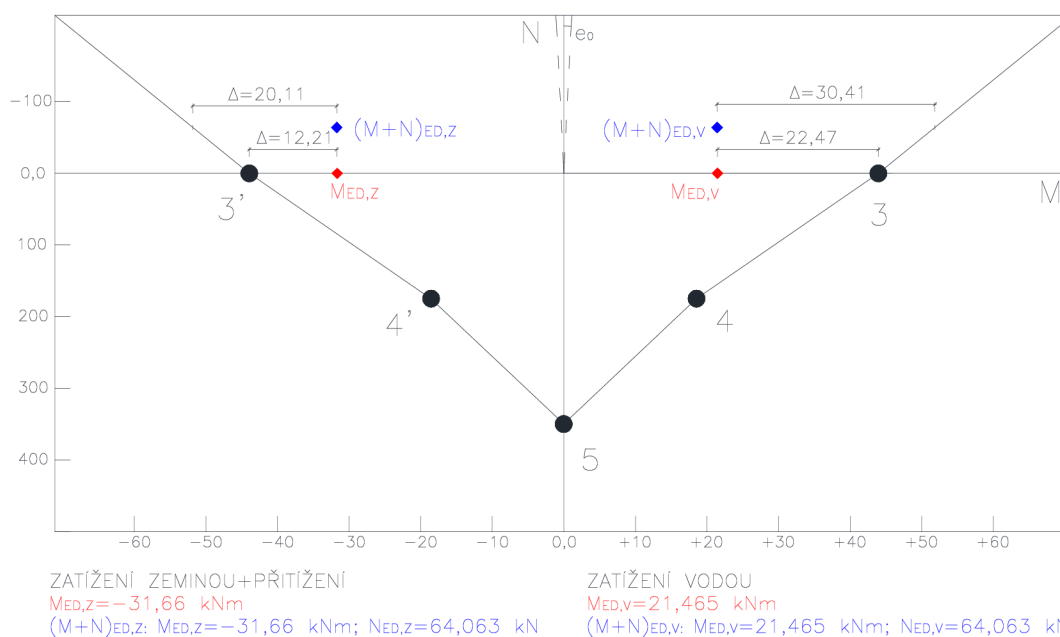
Pro dosažení hospodárného řešení byl uvažován návrh výztuže podle obálky vnitřních sil. Ten však nebyl dostačující pro konstrukční zásady, které rozhodly o navržené ploše výztuže.

**Navržená výztuž:**
 $\varnothing 8 \text{ mm po } 125 \text{ mm}$ 

$$A_{s,1} = A_{s,2} = 4,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

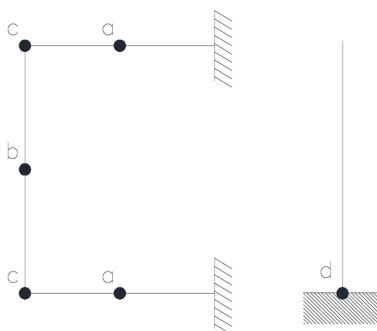
**3.2.3 Posouzení průřezu na MSÚ**

V interakčním diagramu průřezu je znázorněn rozdíl mezi čistým ohybovým momentem a momentem s vlivem vlastní tíhy konstrukce. Je prokázán původní předpoklad, že vlastní tíha příznivě působí na konstrukci.

**Posudek průřezu:**

**Obr. 3: Detail interakčního diagramu posuzovaného průřezu v patě stěny**

### 3.3 Posouzení na MSP

Posouzením na mezní stav použitelnosti prokážeme vlastnosti konstrukce a její funkčnost během celé své životnosti. V mezním stavu použitelnosti se zabýváme vznikem trhlin. Vznik trhlin předpokládáme v místech maximálních vnitřních sil na zjednodušeném vodorovném rámu ale i v patě stěny. Pro samotné posouzení jsou vybrány pouze extrémní hodnoty.



Obr. 4: Posuzovaná místa vzniku trhlin

#### Strana A

$$\sigma = \sigma_M + \sigma_N = 0,166 + 0,273 = \mathbf{0,439\ MPa} < f_{ct,m} = \mathbf{2,9\ MPa}$$

TRHLINY NEVZNIKNOU

#### Strana B

$$\sigma = \sigma_M + \sigma_N = 1,857 + 0,2097 = \mathbf{2,067\ MPa} < f_{ct,m} = \mathbf{2,9\ MPa}$$

TRHLINY NEVZNIKNOU

#### Roh rámu C

$$\sigma = \sigma_M + \sigma_N = 2,246 + 0,273 = \mathbf{2,519\ MPa} < f_{ct,m} = \mathbf{2,9\ MPa}$$

TRHLINY NEVZNIKNOU

#### V patě stěny D

$$\sigma = \sigma_M + \sigma_N = 1,542 + 0,211 = \mathbf{1,753\ MPa} < f_{ct,m} = \mathbf{2,9\ MPa}$$

TRHLINY NEVZNIKNOU

## 4 Dimenzování stropní desky

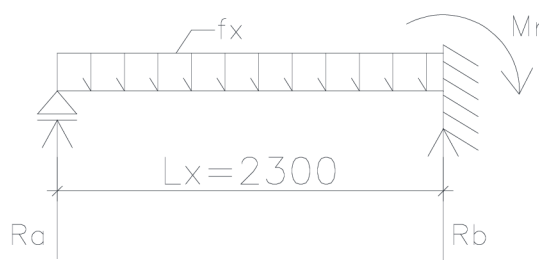
Pro výpočet předpokládáme, že deska je prostě uložena na stěnách odpadní šachty. Desku navrhujeme jako křížem vyztuženou. Řešíme ji samostatně ve směru  $x$  a  $y$ . Pro každý směr je potřeba rozdělit zatížení. Stropní desku posoudíme na mezní stav únosnosti a použitelnosti.

### 4.1 Výpočet dimenzačních momentů ve směru $x$

Ve směru  $x$  jsou uvažovány dvě kombinace zatížení. Pro každou kombinaci bylo potřeba sestavit náhradní statický model.

#### 4.1.1 Kombinace 1

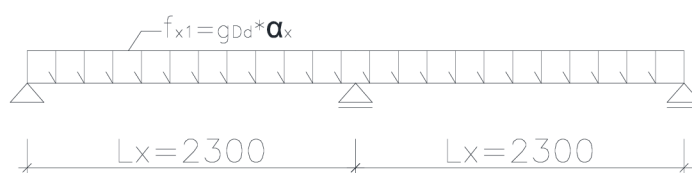
Kombinace zatížení se skládá ze stálého zatížení a nahodilého zatížení, které je rovnoměrně rozděleno na celou stropní desku. Celková hodnota zatížení je  $12,520 \text{ kN/m}$ . Pro zjednodušení výpočtu je deska řešena jako částečně vetknutá v polovině rozpětí a prostě uložena na okraji. Jedná se o jedenkrát staticky neurčitou konstrukci.



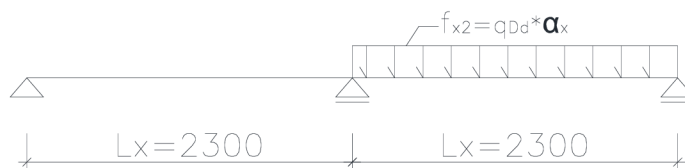
Obr. 5: Řešený nosník pro kombinace 1

#### 4.1.2 Kombinace 2

Kombinace zatížení se skládá ze stálého zatížení rovnoměrně rozděleného na celou stropní desku o hodnotě  $5,931 \text{ kN/m}$  a z nahodilého zatížení o hodnotě  $6,590 \text{ kN/m}$ , které je umístěno na polovině desky. Deska je řešena jako spojitý nosník o dvou polích. Konstrukce je staticky jedenkrát neurčitá. Řešení vede na třímomentovou rovnici.



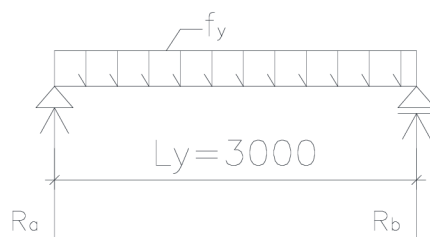
Obr. 6: Stálé zatížení



Obr. 7: Nahodilé zatížení

## 4.2 Výpočet dimenzačních momentů ve směru y

Ve směru y je uvažována pouze jedna kombinace zatížení, která vyvolá nejméně příznivé účinky na konstrukci. Zatížení se skládá ze stálého zatížení a proměnného zatížení, které jsou rovnoměrně rozděleny na celou desku. Celková hodnota zatížení je 1,730 kN/m. Statický model je uvažován jako prostý nosník.



Obr. 8: Řešený nosník ve směru Y

## 4.3 Návrhové vnitřní síly

Ze stanovených hodnot dimenzačních momentů ve směru x, y a příslušných kombinací jsme vybrali maximální hodnoty, které jsme zredukovali a ověřili výpočtovým programem SCIA Engineer.

Moment	Ruční výpočet	Program SCIA	Rozdíl	
	[kNm]	[kNm/m]	[kNm]	[%]
$m_x D-$	4,168	4,180	0,012	0,3
$m_y D-$	1,238	1,210	0,028	2,3
$m_x D+$	7,604	7,740	0,136	1,8

Tab. 4: Srovnání výsledků ohybových momentů: stropní deska

#### 4.4 Návrh výztuže

Návrh výztuže byl proveden jako křížem vyztužená deska v poli stropní desky a v místě pažící stěny, která tvoří vnitřní podporu. Staticky potřebná plocha výztuže je dostačující pro únosnost konstrukce, ale prokázala se jako nedostačující pro konstrukční zásady, které rozhodly o navržené ploše výztuže. Jelikož se jedná o malou konstrukci s otvory, je potřeba ji dostatečně vyztužit. Proto bude výztuž u horního i dolního povrchu rozmístěna stejně.

**Navržená výztuž v poli:**

Ø 6 mm po 120 mm směr x  
 Ø 6 mm po 120 mm směr y  
 $A_{s,x} = A_{s,y} = 2,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

**Navržená výztuž nad podporou:**

Ø 6 mm po 120 mm směr x  
 Ø 6 mm po 120 mm směr y  
 $A_{s,x} = A_{s,y} = 2,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

#### 4.5 Posouzení na MSÚ

V posouzení na mezní stav únosnosti se statický výpočet zabývá ohybovou únosností. Posoudíme tak konstrukci na maximální účinky zatížení v nejvíce namáhaných průřezech.

##### Posouzení v poli – směr X

$$M_{RD} = F_s \cdot z = 102,608 \cdot 0,1544 = 15,840 \text{ kNm}$$

$$M_{RD} = 15,840 \text{ kNm} > M_{ED,RED,x} = 4,168 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

##### Posouzení v poli – směr Y

$$M_{RD} = F_s \cdot z = 102,608 \cdot 0,1484 = 15,230 \text{ kNm}$$

$$M_{RD} = 15,230 \text{ kNm} > M_{ED,RED,y} = 1,238 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

**Posouzení nad podporou – směr X**

$$M_{RD} = F_s \cdot z = 102,608 \cdot 0,1544 = 15,840 \text{ kNm}$$

$$M_{RD} = 15,840 \text{ kNm} > M_{RED} = 7,604 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

**4.6 Posouzení na MSP**

Posouzením na mezní stav použitelnosti prokážeme vlastnosti konstrukce a její funkčnost během celé své životnosti. V mezním stavu použitelnosti se statický výpočet zabývá posouzením vzniku trhlin a průhybem stropní desky.

**4.6.1 Vznik trhlin**

U výpočtu vzniku trhlin uvažujeme kvazistálou kombinaci zatížení o hodnotě 7,029 kN/m. Vznik trhlin posoudíme alternativním způsobem, který je pro naše řešení dostačující, a to stanovením momentu na mezi vzniku trhlin. Vznik trhlin předpokládáme nad podporou stropní desky, ve směru x, kde dochází k maximálnímu ohybovému momentu. Pro výpočet vycházíme z ideálního průřezu.

$$M_{cr} = f_{ct,m} \frac{I_i}{\frac{h}{2} - t_i} = 2,9 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,000675}{\frac{0,2}{2} - 0,000416} = 19,660 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} = 19,660 \text{ kNm} > M_{E\psi 2} = 4,648 \text{ kNm}$$

TRHLINY NEVZNIKNOU

**4.6.2 Průhyb stropní desky**

Pro výpočet průhybu vycházíme ze zjednodušeného postupu, kdy lze upustit od přesného výpočtu. Stropní deska je v polovině rozpětí podepřena střední zdí. Průhyb je stanoven ve dvou směrech - ve směru X a Y.

**Směr X**

$$\frac{l_x}{d_x} = \frac{2,3}{0,157} = \mathbf{14,650} < \lambda_D = \mathbf{403,526}$$

VYHOVUJE

**Směr Y**

$$\frac{l_x}{d_x} = \frac{3,0}{0,151} = \mathbf{19,868} < \lambda_D = \mathbf{1230,583}$$

VYHOVUJE

Zjednodušený výpočet prokázal, že lze upustit od přesného výpočtu.

## 5 Dimenzování základové desky

Při řešení uvažujeme dvě kombinace zatížení. První kombinace vzniká od vyplavání konstrukce. Vyplavání řešíme podle Archimedova zákona. Vztlkovou sílu jsme porovnali s tíhou celé konstrukce, kterou jsme přenásobili stabilitním součinitelem. Stabilitní součinitel  $\gamma_{st}$  uvažujeme 0,9. Hladina podzemí vody je ve výšce 2,175 m pod úrovní terénu.

$$\gamma_{st} \cdot G > F_{vz}$$

$$\mathbf{0,9 \cdot 934,675 = 841,208 \text{ kN} > F_{vz} = 235,470 \text{ kN}}$$

VYHOVUJE, Nedojde k vyplavání

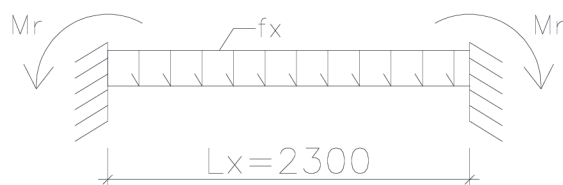
Výslednou sílu od vyplavání přepočítáme na plochu základové spáry, abychom dostali plošné zatížení. Charakteristická hodnota rovnoměrného zatížení od vztlkové síly je 10,5 kN/m<sup>2</sup>. Druhá kombinace vzniká od zatížení vlastní tíhy konstrukce, nahodilého přitížení na stropní desce a od zatížení vody. Charakteristická hodnota rovnoměrného zatížení od druhé kombinace je 101,067 kN/m<sup>2</sup>.



Pro návrh a posouzení je rozhodující druhá kombinace. Pro výpočet předpokládáme pouze část základové desky vetknutou do střední zdi a obvodových zdí. Vykonzolování desky za líc stěn zanedbáváme. Základovou desku navrhujeme jako křížem vyztuženou a řešíme ji samostatně ve směru  $x$  a  $y$ . Pro každý směr je potřeba rozdělit zatížení. Stropní desku posoudíme na mezní stav únosnosti a použitelnosti.

### 5.1 Výpočet dimenzačních momentů ve směru $X$

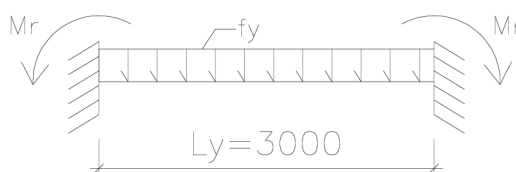
Návrhová hodnota zatížení je uvažována  $101,932 \text{ kN/m}$ . Zatížení je rovnoměrně rozděleno na celý nosník, který je oboustranně vetknutý.



Obr. 9: Řešený nosník pro směr  $X$

### 5.2 Výpočet dimenzačních momentů ve směru $Y$

Návrhová hodnota zatížení je uvažována  $35,258 \text{ kN/m}$ . Zatížení je rovnoměrně rozděleno na celý nosník, který je oboustranně vetknutý.



Obr. 10: Řešený nosník pro směr  $Y$

### 5.3 Návrhové vnitřní síly

Stanovené hodnoty dimenzačních momentů ve směru  $x$  a  $y$  jsme zredukovali a tím jsme dostali hodnoty vnitřních sil pro návrh a posouzení základové desky.

#### Mezipodporový moment – směr X

$$M_{ED,RED,x} = M_{ED} \left(1 - \frac{1}{3}\kappa\right) = 22,468 \left(1 - \frac{1}{3}0,364\right) = \mathbf{19,742 \text{ kNm}}$$

#### Mezipodporový moment – směr Y

$$M_{ED,RED,y} = M_{ED} \left(1 - \frac{1}{3}\kappa\right) = 13,222 \left(1 - \frac{1}{3}0,364\right) = \mathbf{11,618 \text{ kNm}}$$

#### Nadpodporový moment – směr X

$$M_{ED,RED,x} = M_{ED} - F_{ED,x} \cdot \frac{t}{8} = 44,935 - 117,222 \frac{0,3}{8} = \mathbf{40,539 \text{ kNm}}$$

#### Nadpodporový moment – směr Y

$$M_{ED,RED,y} = M_{ED} - F_{ED,y} \cdot \frac{t}{8} = 26,444 - 52,887 \frac{0,3}{8} = \mathbf{24,461 \text{ kNm}}$$

### 5.4 Návrh výztuže

Návrh výztuže byl proveden jako křížem vyztužená deska v poli základové desky a v místě stěny, která tvoří podporu. Staticky potřebná plocha výztuže je dostačující pro únosnost konstrukce, ale prokázala se jako nedostačující pro konstrukční zásady, které rozhodly o navržené ploše výztuže. Základovou desku je potřeba vyztužit jak v poli, tak v místě uložení obvodových stěn ale i ve vykonzolované části desky za líc stěn. Proto bude výztuž rozmístěna stejně v obou směrech, u horního i dolního povrchu.

#### Navržená výztuž v poli:

Ø 10 mm po 170 mm směr x

Ø 10 mm po 170 mm směr y

$$A_{s,x} = A_{s,y} = 4,62 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

#### Navržená výztuž nad podporou:

Ø 10 mm po 170 mm směr x

Ø 10 mm po 170 mm směr y

$$A_{s,x} = A_{s,y} = 4,62 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

## 5.5 Posouzení na MSÚ

V posouzení na mezní stav únosnosti se statický výpočet zabývá ohybovou únosností. Posoudíme tak konstrukci na maximální účinky zatížení v nejvíce namáhaných průřezech.

### Posouzení v poli - směr X

$$M_{RD} = F_s \cdot z = 200,869 \cdot 0,299 = 60,059 \text{ kNm}$$

$$M_{RD} = 60,059 \text{ kNm} > M_{ED,RED,x} = 19,742 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

### Posouzení v poli - směr Y

$$M_{RD} = F_s \cdot z = 200,869 \cdot 0,290 = 58,252 \text{ kNm}$$

$$M_{RD} = 58,252 \text{ kNm} > M_{ED,RED,y} = 11,618 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

### Posouzení nad podporou - směr X

$$M_{RD} = F_s \cdot z = 200,869 \cdot 0,299 = 60,059 \text{ kNm}$$

$$M_{RD} = 60,059 \text{ kNm} > M_{ED,RED,x} = 40,539 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

### Posouzení nad podporou - směr Y

$$M_{RD} = F_s \cdot z = 200,869 \cdot 0,290 = 58,252 \text{ kNm}$$

$$M_{RD} = 58,252 \text{ kNm} > M_{ED,RED,y} = 24,461 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

## 5.6 Posouzení na MSP

Posouzením na mezní stav použitelnosti prokážeme vlastnosti konstrukce a její funkčnost během celé své životnosti. V mezním stavu použitelnosti u základové desky se statický výpočet zabývá posouzením vzniku trhlin.

### 5.6.1 Vznik trhlin

U výpočtu vzniku trhlin uvažujeme kvazistálou kombinaci zatížení o hodnotě 73,607 kN/m. Vznik trhlin posoudíme alternativním způsobem, který je pro naše řešení dostačující, a to stanovením momentu na mezi vzniku trhlin. Vznik trhlin předpokládáme nad podporou základové desky, ve směru  $x$ , kde dochází k maximálnímu ohybovému momentu. Pro výpočet vycházíme z ideálního průřezu.

$$M_{cr} = f_{ct,m} \frac{I_i}{\frac{h}{2} - t_i} = 2,9 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,00362}{\frac{0,35}{2} - 0,00106} = 60,354 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} = 60,354 \text{ kNm} > M_{E\psi 2} = 32,448 \text{ kNm}$$

TRHLINY NEVZNIKNOU

## 6 Závěr

Cílem práce bylo určit zatížení působící na konstrukci daných rozměrů, při výpočtu vnitřních sil uplatnit ruční výpočet a výsledky ověřit pomocí vhodného výpočtového programu, nadimenzovat výztuž odpadové šachty a následně posoudit na mezní stav únosnosti a použitelnosti. Náplní práce bylo také vytvořit výkresy výztuže a tvaru nádrže. Součástí práce je i vizualizace v několika počítačových programech.

Konstrukce vyhověla jak v posudcích na ohybovou únosnost, tak na vznik trhlin nebo průhyb. V porovnání návrhových pevností a účinků na konstrukci se prokázaly značné rezervy, které jsou zapříčiněny nadměrnými průřezovými rozměry konstrukčních prvků a hlavně dodržením konstrukčních zásad, které měly velký vliv na navrhovanou výztuž. V celkovém výsledku bereme zvětšené rezervy za příznivé.

Za zásadní riziko výstavby objektu považujeme vyvazování výztuže a agresivní účinky chemických látek a nečistot. Konstrukce je nejvíce namáhána ve styku jednotlivých konstrukčních dílců, proto by mělo být důkladně dohlíženo na provazování rohů, napojení stěn na základovou a stropní desku a v neposlední řadě na vyztužení v okolí otvorů. K zamezení agresivních účinků chemických látek a nečistot, které se dostanou do styku s konstrukcí, musí být konstrukce opatřena předepsanými izolačními prvky.

## 7 Seznam použitých zdrojů

### **Normové předpisy**

- [1] ČSN EN 1992-1-1: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, Praha: ČNI, 2006, 214 stran
- [2] ČSN EN 1992-3: Navrhování betonových konstrukcí – část 3: Nádrže na kapaliny a zásobníky, Praha: ČNI, 2007, 24 stran
- [3] ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, Praha: ČNI, 2004, 76 stran
- [4] ČSN EN 1991-1-1: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, Praha: ČNI, 2004, 44 stran
- [5] ČSN EN 1997-1: Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla, Praha: ČNI, 2006, 138 stran

### **Použitá literatura**

- [6] PROCHÁZKA, Jaroslav. a kol. *Navrhování betonových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2*. 1. vyd. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. 330 s. Technická knihovna. ISBN 978-80-87438-03-9.
- [7] BAREŠ, Richard. *Tabulky pro výpočet desek a stěn: Určeno [také] posl. vys. škol. 2., dopln. vyd.* Praha: SNTL, 1979. 617, [1] s. Řada stavební literatury.
- [8] ZICH, Miloš. a kol. *Příklady posouzení betonových prvků dle Eurokódů*. Praha: Verlag Dashofer, nakladatelství, 2010. 145 s. ISBN: 978-80-86897-38- 7.
- [9] ZICH, Miloš., BAŽANT, Zdeněk. *Plošné betonové konstrukce, nádrže a zásobníky*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. 161 s. ISBN 978-80-7204-693-5.
- [10] PROCHÁZKA, Jaroslav. a kol. *Navrhování betonových konstrukcí 1. Prvky z prostého a železového betonu: dimenzování prvků s přihlédnutím k EN 1992-1-1: [skriptum]*. 3. vyd. Praha: ČBS Servis, 2007. 316 s. ISBN 978-80-903807-5-2.

**Použitý software**

- [11] MICROSOFT WORD, Microsoft Corporation
- [12] MICROSOFT EXEL, Microsoft Corporation
- [13] SCIA Engineer 2013
- [14] AUTODESK AutoCAD 2013, AUTODESK, Inc.
- [15] AUTODESK Inventor fusion 2013, AUTODESK, Inc.
- [16] GRAPHISOFT ArchiCAD 2015
- [17] Artlantis studio 5

**8 Seznam použitých zkratk a symbolů****Malá písmena latinské abecedy**

$a$	délka střednice stěny ve směru $x$
$b$	délka střednice stěny ve směru $y$
$c$	délka střednice základové desky ve směru $y$
$c_d$	návrhová hodnota krytí pro desky u kotevních délek
$\Delta c_{dev}$	možná návrhová odchylka od nominální hodnoty
$\Delta c_{dur,add}$	redukce minimální krycí vrstvy při použití dodatečné ochrany
$\Delta c_{dur,st}$	redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezavějící oceli
$\Delta c_{dur,\gamma}$	přídavná hodnota z hlediska spolehlivosti
$c_{min}$	minimální krycí vrstva
$c_{min,b}$	minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavkům soudržnosti
$c_{min,dur}$	minimální krycí vrstva s přihlédnutím k podmínkám prostředí
$c_{nom}$	nominální hodnota betonové krycí vrstvy
$d$	délka střednice základové desky ve směru $x$
$d$	účinná výška průřezu
$d'$	vzdálenost výztuže od horního povrchu
$d_g$	použitá frakce kameniva
$e_0$	minimální výstřednost tlakové normálové síly
$f_{bd}$	mezní napětí v soudržnosti

$f_{cd}$	návrhová pevnost betonu v tlaku
$f_{ck}$	charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku
$f_{ctd}$	návrhová hodnota pevnosti betonu v tahu
$f_{ctk;0,05}$	charakteristická pevnost betonu v tahu [0,05 kvantil]
$f_{ctk;0,95}$	charakteristická pevnost betonu v tahu [0,95 kvantil]
$f_{ctm}$	střední hodnota pevnosti betonu v tahu
$f_d$	celkové hodnota zatížení křížem vyztužených desek pro směr x i y
$f_{d,\psi_2}$	kvazistálá hodnota celkového zatížení křížem vyztužených desek
$f_x$	hodnota zatížení křížem vyztužených desek ve směru x
$f_y$	hodnota zatížení křížem vyztužených desek ve směru y
$f_{yd}$	návrhová hodnota pevnosti oceli v tahu
$f_{yk}$	charakteristická hodnota pevnosti oceli v tahu
$g_{Da}$	návrhová hodnota zatížení stropní desky
$h$	výška střednicového modelu
$k$	poměr ohybových tuhostí stěn
$k_0$	součinitel zemního tlaku v klidu
$k_c$	součinitel uplatňující se u průhybu desky
$l_{bd}$	návrhová kotevní délka
$l_{b,min}$	minimální kotevní délka
$l_{b,rqd}$	základní kotevní délka
$l_x$	délka prutového modelu desky ve směru x
$l_y$	délka prutového modelu desky ve směru y
$m_c$	množství cementu
$m_v$	množství vody
$m_k$	množství kameniva
$m_{k,0-0,25}$	množství tuhých částic do 0,25 mm
$m_x D +$	návrhová hodnota ohybového momentu při spodních vláknech
$m_x D -$	návrhová hodnota ohybového momentu při horních vláknech
$m_{0-4}$	množství písku 0-4 mm
$m_{4-8}$	množství písku 4-8 mm
$m_{8-16}$	množství štěrku 8-16 mm
$p_{0-4}$	hmotnostní podíl obsahu písku 0-4 mm ve směsi kameniva



$p_{4-8}$	hmotnostní podíl obsahu písku 4-8 mm ve směsi kameniva
$q$	rovnoměrné přitížení na povrchu, v okolí povrchu
$q_{Dk}$	nahodilé přitížení na stropní desku
$q_{hk}$	charakteristická hodnota zatížení zeminy v hloubce $h$
$q_{kk}$	charakteristická hodnota vlastní tíhy celého objektu
$q_{qk}$	charakteristická hodnota rovnoměrného přitížení na povrchu
$q_{vk}$	charakteristická hodnota zatížení splaškovou vodou
$q_{I1k}$	charakteristická hodnota zatížení od kombinace 1
$q_{IIk}$	charakteristická hodnota zatížení od kombinace 2
$s$	vzdálenost výztuže
$t$	tloušťka stěny
$t_i$	vzdálenost těžiště ideálního průřezu
$w$	vodní součinitel
$w_L$	vlhkost na mezi tekutosti
$x$	souřadnice vzdálenosti maximálního ohybového momentu
$x$	výška tlačené části průřezu
$x'$	náhraní výška tlačené části průřezu
$x_{bal}$	výška tlačené části průřezu pro body interakčního diagramu
$z$	rameno vnitřních sil

#### Velká písmena latinské abecedy

$A_c$	průřezová plocha betonu
$A_i$	plocha ideálního průřezu
$A_s$	plocha výztuže
$\Sigma A_s$	součet ploch výztuží
$A_{s,max}$	maximální plocha výztuže
$A_{s,min}$	minimální plocha výztuže
$A_{s,prov}$	skutečná plocha výztuže
$A_{s,req}$	staticky nutná plocha výztuže
$A_{s,x}$	plocha výztuže ve směru $x$
$A_{s,y}$	plocha výztuže ve směru $y$
$A_{t,k}$	specifický povrch kameniva

$C_{ef}$	efektivní soudržnost
$C_u$	totální koheze
$C_2$	součinitel pro jednostranně vetknutou desku
$C_6$	součinitel pro vetknutou desku po obvodě
$D_{max}$	maximální zrno kameniva
$E_{def}$	deformační modul
$E_{cm}$	sečnový modul pružnosti betonu
$E_s$	modulu pružnosti oceli
$F_{ED}$	podporová reakce
$F_s$	síla ve výztuži
$\Delta F_s$	součet sil ve výztuži
$F_{vz}$	vztlačková síla
$G$	tíha celého objektu
$I_c$	moment setrvačnosti betonu
$I_i$	moment setrvačnosti plně působícího ideálního průřezu
$J$	moment setrvačnosti betonové stěny
$K$	hodnota dle umístění prutu
$M_a$	ohybový moment v podpoře $a$
$M_{a,p}$	ohybový moment prstence v poli $a$ od přitížení
$M_{a,z}$	ohybový moment prstence v poli $a$ od zatížení zeminy
$M_{a,ED}$	návrhová hodnota ohyb. momentu prstence v poli $a$
$M_{a,EK}$	charakteristická hodnota ohyb. momentu prstence v poli $a$
$M_b$	ohybový moment v podpoře $b$
$M_{b,p}$	ohybový moment prstence v poli $b$ od přitížení
$M_{b,z}$	ohybový moment prstence v poli $b$ od zatížení zeminy
$M_{b,ED}$	návrhová hodnota ohyb. momentu prstence v poli $b$
$M_{b,EK}$	charakteristická hodnota ohyb. momentu prstence v poli $b$
$M_{cr}$	hodnota ohybového momentu na mezi vzniku trhlin
$M_p$	ohybový moment prstence v rohu od přitížení
$M_r$	ohybový moment ve vetknutí
$M_z$	ohybový moment prstence v rohu od zatížení zeminy
$M_{ED,V}$	návrhová hodnota ohyb. momentu v patě stěny od zatížení vodou

$M_{ED,RED}$	návrhová, redukováná hodnota ohyb. momentu nad podporou
$M_{ED,RED,x}$	návrhová, redukováná hodnota ohyb. momentu v poli x
$M_{ED,RED,y}$	návrhová, redukováná hodnota ohyb. momentu v poli y
$M_{ED,Z}$	návrhová hodnota ohyb. momentu v patě stěny od zatížení zeminou
$M_{EK,V}$	char. hodnota ohyb. momentu v patě stěny od zatížení vodou
$M_{EK,Z}$	char. hodnota ohyb. momentu v patě stěny od zatížení zeminou
$M_{ED}$	návrhová hodnota ohyb. momentu prstence v rohu
$M_{EK}$	charakteristická hodnota ohyb. momentu prstence v rohu
$M_{E\psi 2}$	kvazistálá hodnota ohyb. momentu prstence v rohu
$M_{RD}$	moment únosnosti interakčního diagramu u bodu 3
$M_{RD,bal}$	moment únosnosti interakčního diagramu u bodu 2
$M_{RDt,bal}$	moment únosnosti interakčního diagramu u bodu 4
$M_{RDt,0}$	moment únosnosti interakčního diagramu u bodu 5
$M_{RD,Z}$	moment únosnosti interakčního diagramu u bodu Z
$M_{RD,0}$	moment únosnosti interakčního diagramu u bodu 0
$M_{RD,1}$	moment únosnosti interakčního diagramu u bodu 1
$N_{a,p}$	normálová síla prstence v poli $a$ od přitížení
$N_{a,z}$	normálová síla prstence v poli $a$ od zatížení zeminy
$N_{a,ED}$	návrhová hodnota normálové síly prstence v poli $a$
$N_{a,EK}$	charakteristická hodnota normálové síly prstence v poli $a$
$N_{b,p}$	normálová síla prstence v poli $b$ od přitížení
$N_{b,z}$	normálová síla prstence v poli $b$ od zatížení zeminy
$N_{b,ED}$	návrhová hodnota normálové síly prstence v poli $b$
$N_{b,EK}$	charakteristická hodnota normálové síly prstence v poli $b$
$N_p$	vodorovná síla od přitížení
$N_q$	tíha od užitého zatížení
$N_s$	tíha stěn
$N_z$	vodorovná síla od zatížení zeminou
$N_D$	tíha stropní desky
$N_{ED}$	návrhová hodnota tíhy celého objektu
$N_{EK}$	charakteristická hodnota tíhy celého objektu
$N_{RD}$	normálová únosnost interakčního diagramu u bodu 3

$N_{RD,bal}$	normálová únosnost interakčního diagramu u bodu 2
$N_{RDt,bal}$	normálová únosnost interakčního diagramu u bodu 4
$N_{RDt,0}$	normálová únosnost interakčního diagramu u bodu 5
$N_{RD,Z}$	normálová únosnost interakčního diagramu u bodu Z
$N_{RD,0}$	normálová únosnost interakčního diagramu u bodu 0
$N_{RD,1}$	normálová únosnost interakčního diagramu u bodu 1
$N_V$	vodorovná síla od zatížení vodou
$R_a$	podporová reakce v místě $a$
$R_b$	podporová reakce v místě $b$
$R_{c,28}$	vaznost cementu
$V_{stěn}$	objemová hmotnost stěn
$V_{s.desky}$	objemová hmotnost stropní desky
$V_{tm}$	množství tmelu na jeden metr krychlový betonu
$V_{tm,1kg}$	množství tmelu, které vyrobíme z 1 kg cementu
$V_{z.desky}$	objemová hmotnost základové desky
$V'_{stěn}$	objemová hmotnost stěn pod úrovní hladiny podzemní vody
$V'_{z.desky}$	obj. hmotnost základové desky pod úrovní hladiny podzemní vody
$W$	průřezový modul betonového průřezu

### Písmena řecké abecedy

$\alpha_{ba}$	deformační úhly třímomentové rovnice ve směru $ba$
$\alpha_{bc}$	deformační úhly třímomentové rovnice ve směru $bc$
$\alpha_{ct}$	součinitel pevnosti betonu v tahu
$\alpha_e$	poměr modulů pružnosti
$\alpha_x$	redukční součinitel zatížení pro křížem vyztužené desky
$\alpha_1$	vliv tvaru prutu za předpokladu odpovídající krycí vrstvy betonu
$\alpha_2$	vliv minimální betonové krycí vrstvy
$\alpha_3$	vliv ovinutí příčnou výztuží
$\alpha_4$	vliv jednoho nebo více příčně přivařených prutů
$\alpha_5$	vliv tlaku kolmého na rovinu odštěpování betonu
$\beta$	dílčí koeficient relaxace
$\Delta$	přebytek cementového tmelu

$\gamma_q$	součinitel proměnného zatížení
$\gamma_{st}$	součinitel stability
$\gamma_v$	objemová tíha vody
$\gamma_z$	objemová tíha zeminy
$\gamma_F$	součinitel stálého zatížení
$\gamma_Z$	součinitel zatížení zeminou
$\gamma_V$	součinitel zatížení vodou
$\epsilon_{cu3}$	poměrné přetvoření betonu
$\epsilon_{yd}$	poměrné přetvoření oceli
$\xi_{bal}$	součinitel poměrných přetvoření
$\kappa$	redukční součinitel dle Hrubana
$\lambda$	štíhlostní poměr
$\lambda_D$	mezní poměr rozpětí k účinné výšce
$\vartheta$	Poissonův součinitel
$\mu_{t,k}$	mezerovitost kameniva
$\eta_1$	součinitel závislý na kvalitě podmínek v soudržnosti a poloze prutu
$\eta_2$	součinitel závislý na průměru prutu
$\rho$	požadovaný stupeň vyztužení tahovou výztuží na ohybový moment
$\rho_0$	referenční stupeň vyztužení
$\rho_{t,k}$	sytná hmotnost kameniva směsi kameniva
$\rho_{v,c}$	objemová hmotnost cementu
$\rho_{v,k}$	objemová hmotnost kameniva
$\rho_{v,v}$	objemová hmotnost vody
$\sigma_s$	napětí ve výztuži
$\sigma_{sd}$	návrhové tahové napětí
$\sigma_M$	napětí průřezu od ohybového momentu
$\sigma_N$	napětí průřezu od normálové síly
$\varphi_{ba}$	pootočení volného konce v směru $ba$
$\varphi_{bc}$	pootočení volného konce v směru $bc$
$\varphi_{ef}$	úhel vnitřního tření
$\varphi_u$	náhradní úhel vnitřního tření
$\emptyset$	průměr výztuže

## 9 Seznam obrázků

- Obr. 1:** Detail interakčního diagramu posuzovaného průřezu pro pruhy 1,2
- Obr. 2:** Detail interakčního diagramu posuzovaného průřezu pro pruhy 3,4,5
- Obr. 3:** Detail interakčního diagramu posuzovaného průřezu v patě stěny
- Obr. 4:** Posuzovaná místa vzniku trhlin
- Obr. 5:** Řešený nosník pro kombinace 1
- Obr. 6:** Stálé zatížení
- Obr. 7:** Nahodilé zatížení
- Obr. 8:** Řešený nosník ve směru Y
- Obr. 9:** Řešený nosník pro směr X
- Obr. 10:** Řešený nosník pro směr Y

## 10 Seznam tabulek

- Tab. 1:** Srovnání výsledků ohybových momentů: prázdná nádrž - zasypána
- Tab. 2:** Srovnání výsledků ohybových momentů: plná nádrž – nezasypána
- Tab. 3:** Srovnání výsledků ohybových momentů: pata stěny
- Tab. 4:** Srovnání výsledků ohybových momentů: stropní deska

## **11 Seznam příloh**

- P. 1** Použité podklady
- P. 2** Statický výpočet
- P. 3** Výkresová dokumentace
- P. 4** Vizualizace