



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

## NÁDRŽ ČOV

CAST-IN-PLACE TANK OF SEWAGE PLANT

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

#### AUTOR PRÁCE

Bc. Jozef Sivčák

AUTHOR

#### VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. JIŘÍ STRNAD, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2021



# 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>Student</b>	Bc. Jozef Sivčák
<b>Název</b>	nádrž ČOV
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Jiří Strnad, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2020
<b>Datum odevzdání</b>	15. 1. 2021

V Brně dne 31. 3. 2020

---

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

---

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

## **PODKLADY A LITERATURA**

Schematické výkresy zadaného objektu (půdorysy, řezy)

EC z oboru betonových staveb, geotechniky atd. (včetně změn a doplňků)

Bažant, Šmiřák: Betonové konstrukce III. Konstrukce plošné, nádrže a zásobníky

Skriptá, podklady a opory používané ve výuce na ÚBaZK FAST VUT v Brně

Výpočetní programy pro PC

## **ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ**

Proveďte návrh a posouzení monolitické vícekomorové konstrukce nádrže v areálu ČOV. V rámci posouzení ověřte vznik a šířku trhlin. Zatížení uvažujte včetně vlivu teplot a smršťování.

Požadované výstupy:

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

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady

P2. Výkresy (přehledné, podrobné a detaily v rozsahu určeném vedoucím práce)

P3. Statický výpočet

P4. Stavební postup

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě a pro ÚBZK 1x na CD.

## **STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

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

## **ABSTRAKT**

Diplomová práca rieši návrh a posúdenie železobetónového objektu nádrží čističky odpadových vôd. Súčasťou tejto práce je aj projektová dokumentácia. Objekt nádrží je navrhnutý v koncepte bielej vane s ohľadom na požiadavky príslušných noriem a vodonepriepustnosť konštrukcie. Základová doska a steny sú posúdené na medzný stav únosnosti aj medzný stav použiteľnosti. Práca obsahuje aj návrh výstuže na nesilové účinky v rannom veku. Konštrukcia je tiež posúdená na medzný stav straty rovnováhy vplyvom vyplávania.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Čistička odpadových vôd, nádrže, vodonepriepustná konštrukcia – biela vaňa, železobetón, zaťaženie teplotou, dimenzovanie, metóda konečných prvkov, šírka trhlín, medzný stav použiteľnosti, medzný stav únosnosti, vyplávanie konštrukcie

## **ABSTRACT**

The master's thesis designs and checks the reinforced concrete tanks of sewage plant. Part of this thesis are also drawings. Tanks are designed as a watertight underground structure with aspect on standards and watertight function. Foundation slab and concrete walls were designed according to ultimate and serviceability limit states. The thesis includes design of reinforcement according to non-force effects in early stage. The structure is checked also to loss of equilibrium of a structure due to uplift by vertical actions from water pressure.

## **KEYWORDS**

Sewage treatment plant, tanks, watertight underground structure, reinforced concrete, temperature load, designing, finite element method, crack width, serviceability limit state, ultimate limit state, uplift by water pressure

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Bc. Jozef Sivčák *nádrž ČOV*. Brno, 2020. 33 s., 174 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Jiří Strnad, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *nádrž ČOV* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 15. 11. 2020

---

Bc. Jozef Sivčák  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *nádrž ČOV* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15. 11. 2020

---

Bc. Jozef Sivčák  
autor práce

## **POĎAKOVANIE**

Rád by som poďakoval svojmu vedúcemu diplomovej práce Ing. Jiřímu Strnadovi, Ph.D., za jeho čas, ochotu, trpezlivosť a odborné rady pri konzultáciách.

Ďalej by som chcel poďakovať rodine, priateľke a blízkym kamarátom za plnú podporu nielen počas písania tejto práce, ale aj v každom okamihu života.

# OBSAH

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 ZÁKLADNÉ ÚDAJE O PROJEKTE</b> .....	<b>11</b>
<b>2 KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE STAVBY</b> .....	<b>11</b>
2.1 URBANISTICKÉ, ARCHITEKTONICKÉ A DISPOZIČNÉ RIEŠENIE STAVBY .....	11
2.2 TECHNICKÉ RIEŠENIE STAVBY .....	12
2.3 POUŽITÉ MATERIÁLY .....	12
<b>3 ZAŤAŽENIE</b> .....	<b>13</b>
3.1 STÁLE ZAŤAŽENIA.....	13
3.1.1 <i>Vlastná tiaž konštrukcií</i> .....	13
3.1.2 <i>Betónové spádové klíny v nádržiach</i> .....	13
3.1.3 <i>Zaťaženie priečkami</i> .....	14
3.1.4 <i>Zaťaženie zemným tlakom a vztlakom</i> .....	14
3.1.5 <i>Zaťaženie zmrašťovaním</i> .....	14
3.2 PREMENNÉ ZAŤAŽENIA.....	15
3.2.1 <i>Zaťaženie náplňou nádrže</i> .....	15
3.2.2 <i>Úžitkové zaťaženia</i> .....	15
3.2.3 <i>Zaťaženie snehom</i> .....	16
3.2.4 <i>Zaťaženie vetrom</i> .....	16
3.2.5 <i>Zaťaženie teplotou</i> .....	17
<b>4 ZALOŽENIE OBJEKTU</b> .....	<b>18</b>
4.1 INŽINIERSKO-GEOLOGICKÝ PRIESKUM .....	18
4.1.1 <i>Geologické pomery</i> .....	18
4.2 ZEMNÉ PRÁCE .....	18
4.3 ZÁKLADOVÉ KONŠTRUKCIE .....	18
<b>5 NOSNÝ KONŠTRUKČNÝ SYSTÉM</b> .....	<b>19</b>
5.1 ZVISLÉ NOSNÉ KONŠTRUKCIE .....	19
5.2 VODOROVNÉ NOSNÉ KONŠTRUKCIE .....	19
5.3 SCHODISKO .....	19
5.4 KROV .....	19
<b>6 VÝPOČET VNÚTORNÝCH SÍL A DIMENZOVANIE</b> .....	<b>20</b>
6.1 VÝPOČTOVÝ MODEL .....	20
6.2 KOMBINÁCIE .....	20
6.3 NÁVRH NA NESILOVÉ ÚČINKY OD OBMEDZENEJ DEFORMÁCIE .....	22
6.4 NÁVRH A POSÚDENIE NA SILOVÉ ÚČINKY MSP – TRHLINY .....	24



6.4.1 Posúdenie na MSÚ.....	26
<b>7 NÁVRH VÝSTUŽE A TESNIACICH PRVKOV PRE BIELU VAŇU.....</b>	<b>27</b>
<b>ZÁVER .....</b>	<b>28</b>
<b>ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV .....</b>	<b>29</b>
<b>ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV.....</b>	<b>31</b>
<b>ZOZNAM PRÍLOH .....</b>	<b>33</b>

## ÚVOD

Úlohou práce je navrhnúť a staticky posúdiť železobetónové nádrže objektu čističky odpadových vôd (ďalej ČOV). Súčasťou projektu bude návrh základovej dosky a stien nádrží.

Objekt pozostáva zo sústavy nádrží pod zemou a z nadzemnej murovanej budovy ČOV so sedlovou strechou. Projekt nerieši návrh hornej stavby. Z hľadiska statiky je s ňou ale počítané v stálom zaťažení a taktiež distribuuje klimatické zaťaženia do spodnej stavby nádrží a do základovej dosky.

Na stavbu nádrží bude pôsobiť z vonkajšieho prostredia podzemná tlaková voda a v nádržiach bude prebiehať proces biologického čistenia odpadovej vody. Z týchto dôvodov sú kladené vysoké požiadavky na vodonepriepustnosť konštrukcie, a preto bude navrhnutá ako tzv. „biela vaňa“. Hydroizoláciu proti vode zvonku aj vnútra nádrží bude tvoriť len vlastná hmota betónu. Pri dobrom návrhu a odbornej realizácii tak ubudnú práce na povlakových hydroizoláciách, ktoré by boli proti tlakovej vode zložitejšie, viacvrstvové a boli by kladené vysoké požiadavky na spoje a tiež prestupy týmito hydroizoláciami.

Vnútorne sily a deformácie budú primárne spočítané vo výpočtovom FEM programe metódou konečných prvkov (ďalej MKP), v ktorom bude pomocou prídavného modulu SOILIN zohľadnená interakcia modelu s podložím.

Pre biele vane v Českej republike neexistuje norma, preto sa v tejto práci postupuje podľa publikácie TP ČBS 04, ktorá túto problematiku komplexne rieši podľa nemeckej smernice pre vodonepriepustné betónové konštrukcie. Vo výnimočných prípadoch návrh vychádza aj zo staršej publikácie TP ČBS 02, podľa ktorého sa navrhovali biele vane doteraz a vychádza z rakúskej smernice. Dbá sa samozrejme na splnenie všetkých požiadaviek vyplývajúcich z platných Eurokódov pre návrh betónových konštrukcií s dôrazom na požiadavky noriem ČSN EN 1991-4 a ČSN EN 1992-3 pre nádrže a zásobníky. Návrh spočíva v určení triedy namáhania a triedy užívania konštrukcie. Z týchto predpokladov a ďalších parametrov stanovíme povolenú šírku trhliny a postup návrhu. Je pravdepodobné že v návrhu výstuže bude kvôli prísnejším požiadavkám na šírku trhliny rozhodujúci medzný stav použiteľnosti. Výstuž bude navrhnutá taktiež na účinky vynútených namáhání ako reologické javy a teplotné namáhanie. Projekt obsahuje aj návrh tesniacich pásov do pracovných škár bielej vane.

## 1 Základné údaje o projekte

Predmetom projektu je objekt ČOV. Objekt je zložený z nádrží zapustených v zemi a z nadzemnej murovanej stavby so sedlovou strechou ktorá slúži pre technológiu a obsluhu ČOV. Pôdorysný rozmer nádrží je 30,5x13,85 m. V nádržiach bude prebiehať proces biologického čistenia odpadových vôd. Stavba je napojená na inžinierske siete.

## 2 Konštrukčné riešenie stavby

### 2.1 Urbanistické, architektonické a dispozičné riešenie stavby

V nadzemnej budove sa vstupuje do chodby odkiaľ je prístupný veľín, kúpeľňa a technická miestnosť. Do technickej miestnosti sa dá tiež vstúpiť z exteriéru. Zo chodby je tiež prístupný výlez na pôjd pod strechu. Chodba vedie do miestnosti s technológiou pre mechanické predčistenie odpadovej vody. Tá sa čerpá z nádrže pod touto miestnosťou kde sa pomocou česli pri nátoky odstraňujú hrubé nečistoty z vody. Z miestnosti pre mechanické predčistenie je prístup po oceľovom schodisku do 1.PP – armatúrneho priestoru, ďalej sa odtiaľto vstupuje do dmýcharny, kde je technológia pre okysličovanie vody a nakoniec sa z mechanického predčistenia vstupuje do priestoru nad dosadzovacími nádržami nad ktorými sú len lávky z oceľových I nosníkov s roštom zo sklolaminátových kompozitov. Z tohto priestoru sa vychádza do exteriéru na betónovú lávku nad aktivačnými nádržami.

Pod budovou ČOV je sústava nádrží na odpadovú vodu a kaly, ktorá je celá zapustená v zemi. Nachádza sa tu 8 nádrží, ktoré sú na poly rozdelené suchým armatúrnym priestorom prístupným z 1.NP – z miestnosti pre mechanické predčistenie odpadovej vody. Naľavo od armatúrneho priestoru sú dve dosadzovacie nádrže s návrhovou výškou hladiny -0,950 m (4,35 m od dna) a za nimi sú dve najväčšie aktivačné nádrže ktoré sú otvorené v exteriéri. Návrhová výška hladiny je -0,800 m (4,5 m od dna). Napravo od armatúrneho priestoru je čerpacia stanica do ktorej ústi nátok. Návrhová výška hladiny je -2,200 m (3,1 m od dna). Ďalej tu je jímka na fugát a dva kalojemy s návrhovou výškou hladiny -1,000 m (4,2 m od dna). Pre statický výpočet bude uvažovaná maximálna možná výška hladiny pri úplnom naplnení nádrží.

## 2.2 Technické riešenie stavby

Objekt je založený na plošnom základe – základovej doske hrúbky 450 mm. Nosný systém je stenový. Steny nádrží sú navrhnuté zo železobetónu, steny hornej stavby sú murované z keramických prične dierovaných tvárnic. Stropné konštrukcie sú železobetónové monolitické doskové. Horná stavba je nad nádržami na kal vynesená železobetónovými trámami pod stropnou doskou. Schodisko do 1.PP je vretenové točité z ocele. Horná murovaná stavba je stužená priečnymi vnútornými nosnými stenami a obvodovým železobetónovým vencom nad nosnými stenami v úrovni železobetónového stropu nad 1.NP.

## 2.3 Použité materiály

- **Betón:**

Základová doska: C30/37 – XA1, XC4, XM1, XF3 - CI 0,4 – D<sub>max</sub> 22

Železobetónové steny: C30/37 – XA1, XC4, XM1, XF3 - CI 0,4 – D<sub>max</sub> 16

Stropné dosky:

- nad nádržami: C30/37 – XC4, XD1, XF3 - CI 0,4 – D<sub>max</sub> 22

- nad 1.NP: C25/30 – XC1 - CI 0,4 – D<sub>max</sub> 16

Podkladný betón C12/15 – X0

Betón je navrhnutý podľa sprievodcu betonárskou normou ČSN EN 206+A1 a ČSN P 73 2404 so súladom s TP ČBS 04 [9].

- **Betonárska oceľ:** B500B
- **Konštrukčná oceľ:** S235

## 3 Zaťaženie

Uvedené sú hodnoty charakteristických zaťažení. Návrhové hodnoty pre výpočet budú pre násobené príslušným dielčím súčiniteľom spoľahlivosti ktorého hodnoty sú uvedené v kapitole 6.

### 3.1 Stále zaťaženia

Ako stále zaťaženia sú uvažované vlastná tiaž konštrukcií, tiaž podláh a strešného pláštia, tiaž od betónových spádových klinov v nádržiach, zaťaženie priečkami, zaťaženie zemným tlakom, zaťaženie vztlakom a zmrašťovaním betónu

#### 3.1.1 Vlastná tiaž konštrukcií

- Vlastná tiaž nádrží je generovaná automaticky programom RFEM
- Zaťaženie od hornej stavby na nádrže je spočítané ako konštantné líniové zaťaženie prenášané nosnými stenami hornej stavby
- Objemová tiaž železobetónu je uvažovaná  $25 \text{ kN/m}^3$
- Objemová tiaž keramických priečne dierovaných blokov je uvažovaná  $12 \text{ kN/m}^3$
- Objemová tiaž dreva väzníkov je uvažovaná  $4,2 \text{ kN/m}^3$
- Výpočet zaťaženia od podláh a strešného pláštia a jednotlivé skladby sú uvedené v prílohe P.3 – Statický výpočet, v kapitolách 2.1.2 a 2.1.3
- Zaťaženie ľahkými oceľovými lávkami s roštom zo sklolaminátových kompozitov je zanedbané
- Zaťaženie od oceľového schodiska je zadané osamelou silou v mieste vretena a odhadnuté na hodnotu 7 kN

#### 3.1.2 Betónové spádové klíny v nádržiach

Klíny v nádržiach 003 a 004 sú kvôli malému spádu idealizované na rovnomerné plošné zaťaženie. Vo výpočte zaťaženia je uvažované, že čerstvý betón pred stuhnutím pôsobí hydrostaticky. Vodorovné a zvislé zaťaženie teda vyšlo  $13,2 \text{ kN/m}^2$ .

Skutočný tvar klinov je ale zohľadnený v dosadzovacích nádržiach 006 a 007, kde majú klíny spád až  $60^\circ$ . Kvôli vodorovnému zaťaženiu by bolo lepšie tieto klíny betónovať po etapách zo suchého betónu, ale to na stavbe nemusí byť dodržané. Preto uvažujem s čerstvým betónom, s odporúčaním betónovať po etapách výšky 1 m.

Kvôli jednoduchšiemu zadávaniu do výpočtového programu bolo toto zaťaženie od postupného betónovania s trojuholníkovým priebehom po výške idealizované na konštantné s hodnotou  $11,52 \text{ kN/m}^2$ . Vplyv tejto idealizácie bol overený jednoduchou štúdiou, ktorá je v statickom výpočte v prílohe P3.B.

### 3.1.3 Zaťaženie priečkami

Priečky sú rozpočítané na stropnú dosku vo vnútri budovy plošne - v ľavej časti stropu je uvažovaná hodnota  $0,7 \text{ kN/m}^2$ , v pravej  $1,45 \text{ kN/m}^2$ . Na stranu bezpečnú sme ich zaradili do stáleho zaťaženia.

### 3.1.4 Zaťaženie zemným tlakom a vztlakom

Toto zaťaženie je uvažované aj s vplyvom HPV aj bez HPV. Zjednodušene bude zásyp konštrukcie realizovaný jedným druhom zeminou, ktorého bude vo výkope najviac. Podľa tohto predpokladu som zvolil zeminu triedy G4 GM - hlinito piesčitý štrk a ďalej som počítal s parametrami tejto zeminu, ktoré sú uvedené v hydrogeologickom prieskume.

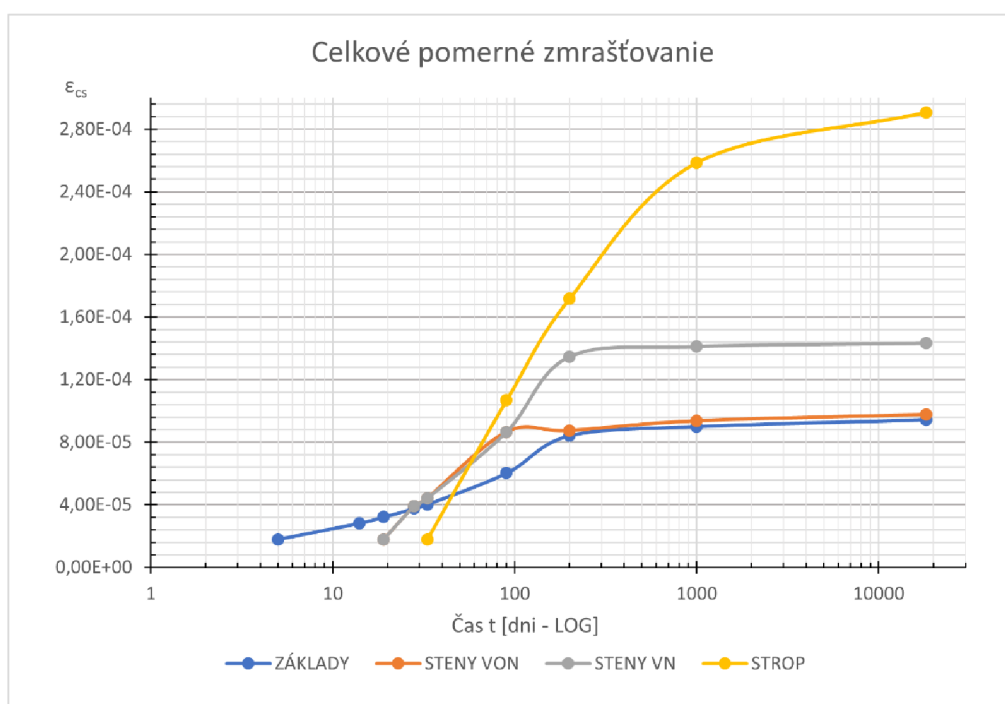
Zaťaženie zeminou s HPV v päte stien nádrží je  $39,69 \text{ kN/m}^2$ . Zaťaženie podzemnou vodou je potom  $51,50 \text{ kN/m}^2$ . Zaťaženie zeminou bez HPV je  $59,43 \text{ kN/m}^2$ . Zaťaženie je podrobnejšie popísané a spočítané v statickom výpočte - príloha P3.

Keďže je HPV pomerne vysoko, pôsobí na plochu základovej dosky vztlaková sila. Jej veľkosť je vypočítaná na  $20467,6 \text{ kN}$  resp.  $49,57 \text{ kN/m}^2$ .

### 3.1.5 Zaťaženie zmrašťovaním

Zmrašťovanie je spočítané pre základovú dosku, steny nádrží a stropnú dosku nádrží. Každá konštrukcia zmrašťuje rozdielne v závislosti na svojej hrúbke, obvode v styku so vzduchom (či je priľahlá k zemi alebo nie), vlhkosti v jej okolí a čase zhotovenia. Nádrže budú z betónu rovnakej pevnosti a bude použitý cement s pomalým nábehom pevnosti triedy S.

Priebeh zmrašťovania jednotlivých konštrukcií je v nasledujúcom grafe:



Po analýze zmrašťovania z grafu vyplýva, že najväčšie rozdiely vznikajú u takmer všetkých konštrukcií na konci životnosti. Jedine pri zmrašťovaní základov a stien vzniká rozdiel po zasypaní (okolo dňa 90) a potom zmrašťujú približne rovnakým tempom. Zaťaženie je určené ako rozdiel pomerných pretvorení od zmrašťovania pre jednotlivé na seba prilahlé konštrukcie. Tieto rozdiely sú potom prevedené na teplotné zaťaženie, ktorým je zadané vo výpočtovom modeli.

Zaťaženie základov bude teda nulové, zaťaženie stien je určené ako rozdiel zmrašťovania stien a základovej dosky a zaťaženie stropu nad nádržami je určené ako rozdiel zmrašťovania stropu a vonkajších stien. Hodnoty vid'. kapitola 2.1.8 v prílohe P3.

## 3.2 Premenné zaťaženia

Do skupiny premenných zaťažení sú uvažované zaťaženia náplňou nádrží, úžitkové zaťaženia na stropy a schodisko, zaťaženia od technológií a klimatické zaťaženia snehom, vetrom a teplotou.

### 3.2.1 Zaťaženie náplňou nádrže

V nádržiac 003 a 004 je ako náplň uvažovaná voda s objemovou tiažou  $10 \text{ kN/m}^3$ . v ostatných nádržiac okrem miestnosti 005 armatúrny priestor je ako náplň uvažovaný kal s objemovou tiažou  $11 \text{ kN/m}^3$ . Zaťaženie je uvažované do maximálnej možnej výšky hladiny 4,9 m od dna nádrží.

V dosadzovacích nádržiac 006 a 007 prenesú veľkú časť zaťaženia spádové klíny. Preto sa pri pôsobení náplne na steny uvažuje len výška nad spádovým klinom.

Toto zaťaženie je rozdelené do viacerých zaťažovacích stavov tak, aby sme z hľadiska deformácií a tým aj namáhania konštrukcií dosiahli najnepriaznivejšie návrhové situácie, ktoré by mohli v extrémnych prípadoch nastať. V ZS10 je plné zaťaženie - všetky nádrže naplnené. V ZS11 a ZS12 je uvažované naplnenie šachovnicovo. V ostatných ZS13 - ZS17 sú uvažované rôzne naplnené len určité nádrže, napr.: nádrže na ľavej strane ČOV, na pravej strane, uprostred, atď.

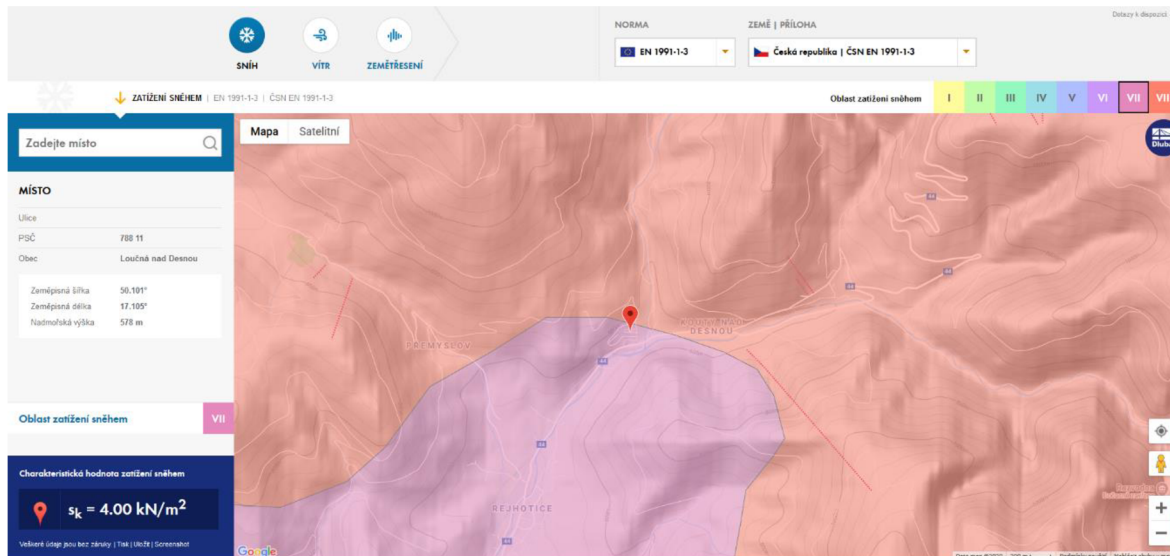
Tieto zaťaženia budú zadané do jednotlivých kombinácii súčasne ale v jednej skupine, čo znamená že sa budú kombinovať striedavo, takže bude medzi nimi namiesto „+“ výraz „alebo“. Tiež bude pre tieto ZS zmenená hodnota dielčieho súčiniteľa spoľahlivosti z hodnoty 1,5 na 1,35 podľa [4]. Kombinačné pravidlá a hodnoty dielčích súčiniteľov spoľahlivosti sú detailnejšie popísané v kapitole 6.

### 3.2.2 Úžitkové zaťaženia

- Na lávku nad aktivačnými nádržami je úžitkové zaťaženie uvažované v kategórií A s veľkosťou  $q_k = 2 \text{ kN/m}^2$
- na schodisko je zadané úžitkové zaťaženie v rovnakej kategórií osamelým bremenom v mieste vretena s veľkosťou  $Q_k = 11,2 \text{ kN}$
- Na celú stropnú dosku nad nádržami je uvažované úžitkové zaťaženie v kategórií E2 - od technológií s veľkosťou  $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$

### 3.2.3 Zataženie snehom

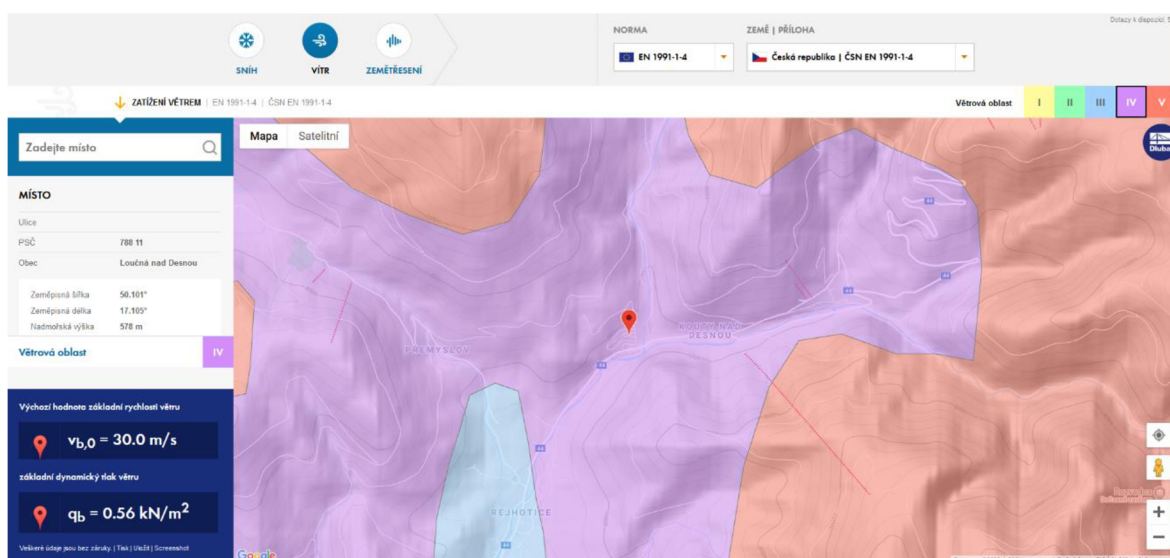
Objekt sa nachádza v obci Kouty nad Desnou – snehová oblasť VII, chránený typ krajiny, nadmorská výška 575 m.n.m. Strecha je sedlová, nezateplená, ale objekt nebude vykurovaný. Sklon strechy je 35°. Charakteristická hodnota zataženia snehom na zemi je stanovená podľa snehovej mapy na  $s_k = 4,00 \text{ kN/m}^2$ . Zataženie je prepočítané na líniové a zadané v mieste stien na ktorých je uložený krov. Hodnota líniového zataženia je 16,63 kN/m.



Obrázok 1 - Oblasť zataženia snehom [12]

### 3.2.4 Zataženie vetrom

Objekt sa nachádza v obci Kouty nad Desnou – vetrová oblasť IV, kategória terénu III. Východzia základná rýchlosť vetra je  $v_{b,0} = 30 \text{ m/s}$ . Zataženie je obdobne ako sneh prepočítané na líniové a zadané na steny na ktorých je uložený krov.



Obrázok 2 - Oblasť zataženia vetrom [12]



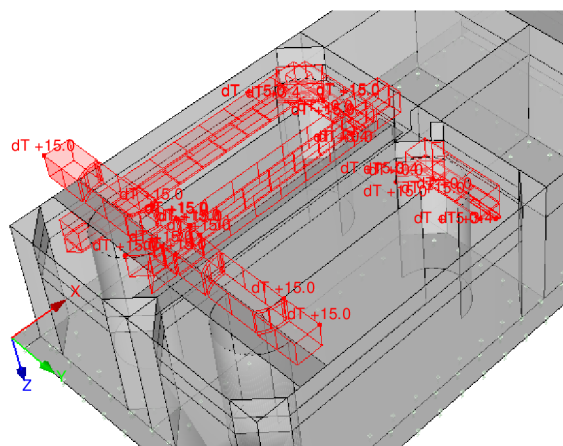
### 3.2.5 Zaťaženie teplotou

Toto zaťaženie určuje norma ČSN EN 1991-1-5. Taktiež je zjednodušene definované v TP ČBS 02, podľa ktorého je nakoniec toto zaťaženie zvolené. Je to aj z dôvodu že návrh podľa ČSN EN by mohol viesť na nedimenzovateľné špičky vnútorných síl.

Keďže ide o pomerne zložitú konštrukciu z hľadiska pôsobenia teplôt, na začiatku sa stanovili určité predpoklady, podľa ktorých je konštrukcia zaťažovaná. Teplotné zaťaženie je uvažované len na plne zaťažujúcu konštrukciu a teda nebude uvažovaná na nezasypanú plnú nádrž a zasypanú prázdnu nádrž. Viedlo by to na rôzne priebehy teplotného zaťaženia, ktoré reálne ak nastanú, budú pôsobiť na konštrukciu veľmi krátku dobu. Napr. je málo pravdepodobné že nádrž bude v zimnom období odkopaná alebo prázdna kvôli čisteniu, ktoré bude navyše trvať len niekoľko dní. Taktiež predpokladáme, že časti konštrukcie zasypané zeminou a súčasne pod hladinou náplne nebudú zaťažované teplotnými zmenami.

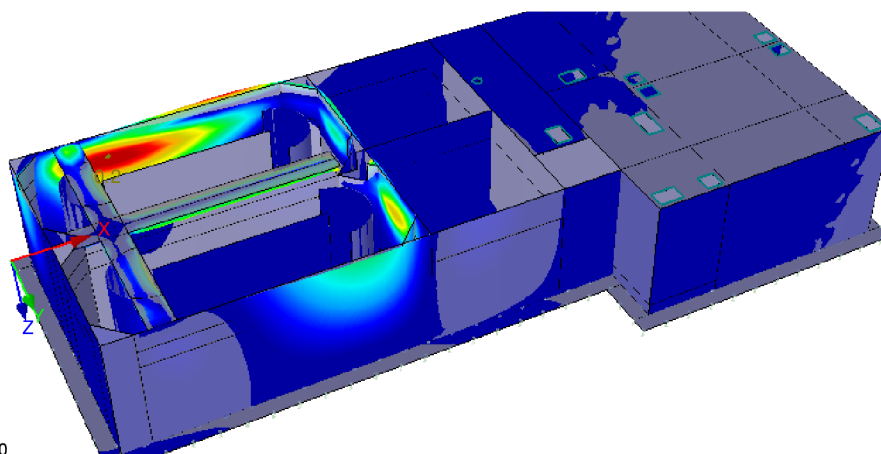
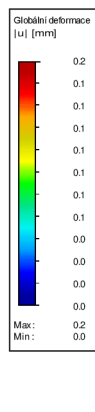
Rovnomerná a nerovnomerná zmena teploty sú uvažované podľa literatúry TP ČBS 02 – Biele vany, oslnenie konštrukcie podľa ČSN EN 1991-1-5 nasledujúco:

- Rovnomerná zmena teploty v ťažisku prierezu  $\Delta T_c = \pm 20^\circ\text{C}$
- Nerovnomerná zmena teploty po priereze medzi vonkajším a vnútorným povrchom  $\Delta T = \pm 10^\circ\text{C}$
- Oslnenie – nerovnomerná zmena teploty na jednom kvadrante konštrukcie, na ktorý z hľadiska orientácie stavby k svetovým stranám dopadá priama slnečná energia (iba v lete)  $\Delta T = +15^\circ\text{C}$ . Pre lepšiu predstavu je priložený obrázok zaťaženia a deformácií od oslnenia:



Obrázok 3 - Zaťaženie oslnením [vlastne spracovanie - RFEM]

ZS25 : Oslnenie



Součinitel pro deformace: 2050.00

Obrázok 4 - deformácie od zaťaženia oslnením [vlastne spracovanie - RFEM]

## 4 Založenie objektu

### 4.1 Inžiniersko-geologický prieskum

Na parcele bol urobený dňa 21.11.2017 inžiniersko-geologický prieskum, ktorý je priložený do podkladov tejto práce – príloha P1.1. Vrtý boli zhotovené jadrovým aj špirálovým vrtákom s priemerom 112 mm. S ohľadom na geologické pomery boli vyvrtané dva vrtý hĺbky 4,3 a 4,5 m.

#### 4.1.1 Geologické pomery

Vrchná vrstva je prevažne v celom areáli ČOV tvorená navážkami z hlinito-kamenitých sutín a na ich povrchu konštrukčnými vrstvami vozoviek. Asfaltová vrstva je hrúbky 0,2 m. Tá prechádza do vrstvy hutneného makadamu hrubej 0,5 – 0,6 m. Pod konštrukčnými vrstvami vozovky je násyp hlinito-kamenitých sutín hrúbky cca 1,2 m.

Navážky ležia na vrstve piesčitých hlín triedy F3 MS s prímесou štrku tuhej až mäkkej konzistencie s hrúbkou 0, - 1,3 m.

Ďalej sa v profile nachádza vrstva náplavových ílovito-piesčitých hlín triedy F6 CI – F8 CH tuhej až mäkkej konzistencie s hrúbkou 0,4 – 1,1 m.

Posledná bola zastihnutá vrstva hlinito piesčitých štrkov triedy G4 GM s prechodom až do balvanitých štrkov cez priemer vrtu triedy G2 GP. Overená hrúbka vrstvy je 1,4 – 1,8 m kde boli vrtý ukončené.

Balvanité štrky nasadajú na pevné skalné podložie, ktorého priebeh je značne nepravidelný a miestami sa blíží tesne k povrchu. Skalné podložie je tvorené biotickými porfyroidmy, prípadne fylonytmy (metamorfity) v rôznom stupni zvetrania. Trieda skalného podložia je určená R2 – R3.

### 4.2 Zemné práce

Nádrže budú zhotovované do paženej stavebnej jamy hĺbky 6m. Výkop musí byť počas výstavby trvalo odvodňovaný z dôvodu vysokej hladiny podzemnej vody. Vo výkope sú zeminy triedy ťažiteľnosti 2 – 4. V prípade narazenia na skalné podložie sa môže trieda ťažiteľnosti zvýšiť až na 4 – 6.

### 4.3 Základové konštrukcie

Konštrukcia je založená na základovej doske hrúbky 450 mm. Je to najvhodnejší typ založenia pre vodonepriepustné konštrukcie. Doska bude uložená na podkladnom betóne hrúbky 100 mm a na asfaltovom páse, ktorý zabezpečí zmenšenie trecej sily medzi základovou doskou a podkladom. Vďaka tomuto opatreniu mohlo byť navrhnuté menšie množstvo výstuže na nesilové účinky od obmedzenej deformácie. Krytie pri spodnom povrchu je 40 mm, pri hornom povrchu minimálne 35 mm.

## **5 Nosný konštrukčný systém**

### **5.1 Zvislé nosné konštrukcie**

Zvislé nosné konštrukcie sú len steny. Steny nádrží sú monolitické železobetónové a sú navrhnuté ako vodonepriepustné, či už pre zamedzenie vniknutia tlakovej podzemnej vody do nádrží alebo aj opačne uniknutia kvapalných náplní nádrží.

V 1.NP je nad časťou nádrží budova na technológiu a prevádzku ČOV. Nosné steny sú murované z brúsených keramických priečne dierovaných blokov na tenkovrstvú maltu.

### **5.2 Vodorovné nosné konštrukcie**

Strop nad nádržami aj nad 1.NP sú monolitické železobetónové hrúbky 250 a 200 mm. Dosky sú uložené po celom obvode. V úrovni dosky nad 1.NP je železobetónový stužujúci veniec prierezu 320x350 mm.

Nad aktivačnými nádržami je lávka hrúbky 250 mm, šírky 1 m. Nad dosadzovacími nádržami sú len lávky na oceľových nosníkoch IPE 160, s podlahou s kompozitného pororoštu.

### **5.3 Schodisko**

Schodisko do jedinej prázdnej miestnosti v 1.PP – armatúrny priestor, je vretenové, oceľové točité so stupnicami z pororoštu.

### **5.4 Krov**

Strecha má sedlový tvar s polovalbami. Nosná konštrukcia je z drevených väzníkov s oceľovými styčnikovými plechmi. Tieto väzníky sú uložené na pomúrnici, ktorá je kotvená do železobetónového venca.

## 6 Výpočet vnútorných síl a dimenzovanie

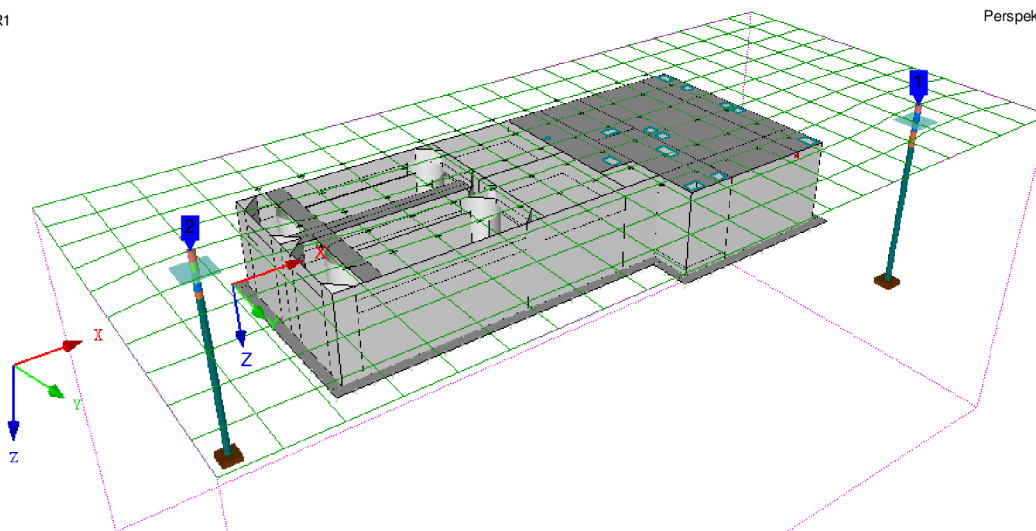
Vnútorné sily, deformácie a napätia sú spočítané vo výpočtovom programe metódou konečných prvkov. Vybrané hodnoty budú v kapitole 6.3 ručne overené.

### 6.1 Výpočtový model

Výpočtový model je vytvorený v programe RFEM 5.24. Z 2D plošných prvkov je vymodelovaný priestorový model, ktorý je zaťažovaný zaťažovacími stavmi popísanými v kapitole 3. Pre dosiahnutie reálnejších výsledkov vnútorných síl je pomocou prídavného modulu SOILIN spočítaná interakcia medzi konštrukciou a podložíom.

RF-SOILIN PŘ1

Perspektiva



Obrázok 5 - Výpočtový model s modulom SOILIN [vlastné spracovanie - RFEM]

### 6.2 Kombinácie

Kombinácie zaťažení sú vytvorené ručne podľa ČSN EN 1990, pre zistenie návrhových hodnôt vnútorných síl pre medzný stav použiteľnosti a únosnosti. Celkovo bolo vytvorených 52 kombinácií výsledkov – 18 MSÚ vrátane návrhovej obálkovej kombinácie, 17 MSP charakteristických a 6 MSP kvázistálych a 11 MSP častých pre posúdenie vzniku trhlín. Výpis kombinácií je uvedený v statickom výpočte – príloha P3. Kombinácie boli vytvorené podľa nasledujúcich rovníc:

- Pre medzný stav únosnosti – STR/GEO a rovnováhy UPL

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

- Pre medzný stav použiteľnosti – MSP

$$\text{Charakteristická} \quad \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6.14b)$$

$$\text{Častá} \quad \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6.15b)$$

$$\text{Kvázistála} \quad \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{j > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6.16b)$$

Hodnota súčiniteľov  $\psi$  je podľa odporúčaných hodnôt z normy ČSN EN 1990 ed. 2, tabuľka A1.1. Kombinácie a súčinitele sú tiež uvažované v súlade s normou ČSN EN 1991-4 ed.2, tabuľky A.1 pre MSÚ a A.5 pre MSP.

Konkrétne hodnoty súčiniteľov  $\psi$  a výpis kombinácií sú uvedené v prílohe P3 Statický výpočet, kapitole 3.2 Kombinácie.

Dielčie súčinitele spoľahlivosti  $\gamma$  majú hodnotu podľa nasledujúcich tabuliek:

- **Pre medzný stav rovnováhy – UPL**

Stále zaťaženia		Hlavné premenné zaťaženie – $\gamma_{Q,dst}$
Nepriaznivé - $\gamma_{G,dst}$	Priaznivé - $\gamma_{G,stb}$	
1,0	0,9	1,5 (priaznivé 0)

- **Pre medzný stav únosnosti – STR**

Trvalé a dočasné návrhové situácie	Stále zaťaženia		Hlavné premenné zaťaženie	Vedľajšie premenné zaťaženie	
	nepriaznivé	priaznivé		Najúčinnnejšie	Ostatné
(Rovnica 6.10)	1,35	1,00	1,5 (priaznivé 0)	-	1,5 (priaznivé 0)

**POZNÁMKA:** podľa ČSN EN 1991-4 ed. 2, prílohy A, kapitoly A.2.1 odstavca (2) je možné pre zaťaženie skladovanou kvapalinou hodnotu dielčieho súčiniteľa  $\gamma_Q$  znížiť z 1,50 na 1,35, ak je daná max. hĺbka kvapaliny a objemová tiaž najťažšej kvapaliny.

- **Pre medzný stav použiteľnosti**

Pre dielčie súčinitele sa uvažuje hodnota 1,0

Pri vytváraní kombinácií boli uvažované nasledujúce návrhové situácie:

- Plné nádrže nezasypané zeminou – napr. tlaková skúška po dokončení stavby, prípadné rekonštrukcie a sanácie
- Prázdne nádrže zasypané zeminou – napr. čistenie, údržba nádrží zvnútra
- Plne zaťažené nádrže – normálna prevádzka ČOV
- Pre každú návrhovú situáciu bola vytvorená osobitne kombinácia s hlavným premenným zaťažením kategórie A ďalšia s hlavným premenným zaťažením od snehu, zaťaženie od vetra je pomerne malé takže nie je uvažované ako hlavné
- Zaťaženie náplňou a kategórie E majú súčiniteľ  $\psi_0 = 1,0$ , preto sú uvažované vždy ako hlavné premenné zaťaženia
- Pre každú návrhovú situáciu boli vytvorené kombinácie bez zaťaženia snehom, ktoré sú neskôr kombinované s teplotným zaťažením v lete (sneh v lete nie je)
- Všetky návrhové situácie boli uvažované s HPV aj bez HPV
- Nakoniec sú vytvorené obáľkové kombinácie so snehom aj bez pre plné zaťaženie a tieto sa ešte skombinujú so zaťažením teplotou v zime a v lete

- Ako posledná pre každý medzný stav je vytvorená celková obáľková kombinácia, ktorej výsledky slúžia pre jednotlivé posúdenia a návrh konštrukcií

Do modulu SOILIN pre výpočet interakcie konštrukcie s podloží, musí byť použitý len jeden zaťažovací stav alebo kombinácia zaťažení. Nesmie to byť kombinácia výsledkov (obáľka), čo ani program neumožňuje, pretože tá obsahuje dva výsledky – maximum a minimum. Pre tento výpočet je vytvorená kvázistála kombinácia zaťažení s HPV.

### 6.3 Návrh na nesilové účinky od obmedzenej deformácie

V tomto výpočte je napätie vo výstuži spočítané z ťahovej sily, v ktorej je zohľadnené bránenie voľnej deformácie vplyvom trenia ZD o podložie. Kvôli strate hydratačného tepla ZD zmrašťuje ale vplyvom trecích síl s podloží sa v priereze vytvára ťahové napätie. Veľkosť trenia máme možnosť ovplyvniť návrhom „klznej“ vrstvy v základovej škáre. Týmto návrhom určíme základnú sieť výstuže ZD.

Postup výpočtu:

Šírka trhliny sa spočíta:  $w_k = s_{r,max} \times (e_{sm} - e_{cm})$

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

$$(e_{sm} - e_{cm}) = \frac{1}{E_s} \times \left( \sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \times (1 + \alpha_e \times \rho_{p,eff}) \right)$$

$s_{r,max}$  max. vzdialenosť trhlín

$(e_{sm} - e_{cm})$  rozdiel pomer. pretvoreni betónu a výstuže v okolí trhliny

$c$  krytie výstuže  $\Phi$  priemer výstuže

$\rho_{p,eff}$  účinný stupeň vystuženia

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$$

$A_s$  plocha výstuže

$A_{c,eff}$  účinná plocha betónu obklopujúca výstuž

$$A_{c,eff} = b \times h_{c,eff}$$

$$h_{c,eff} = \min \begin{cases} 2,5 \times (h - d) \\ (h - x) / 3 \\ h / 2 \end{cases}$$

$\alpha_e$  pomer modulov pružnosti výstuže a betónu

$f_{ct,eff}$  ťahová pevnosť betónu v dobe vzniku trhlín, v rannom veku sa odporúča  $0,5 \times f_{ctm}$

$k_i$  *súčinitele z nasledujúcej tabuľky*

Označení	Význam		EC2
$k$	Vliv nerovnomerného rozdelení vnitřních rovnovážných napětí vedoucích ke zmenšení sil vyplývajících z omezeného přetvoření	$h \leq 300$ m	1,0
		$h \geq 800$ m	0,65
$k_t$	Vliv doby trvání zatížení	krátkodobé	0,6
		dlouhodobé	0,4
$k_c$	Vliv napětí v průřezu před vznikem trhlin a změna ramene vnitřních sil	tah	1,0
		ohyb s normálovou silou, obdélníkové průřezy	$k_c = 0,4 \left[ 1 - \frac{\sigma_c}{k_1 (h/h') f_{ct,eff}} \right] \leq 1$
		ohyb s normálovou silou – přilehlé desky	$k_c = 0,9 \frac{F_{cr}}{A_{ct} \cdot f_{ct,eff}} \geq 0,5$
$k_1$	Vliv účinků normálových sil na rozdelení napětí – jen pro $k_c$	tlak	1,5
		tah	$2h'/3h$
$k_1$	Vliv vlastností soudržné výztuže	velká soudržnost	0,8
$k_2$	Vliv rozdelení poměrného přetvoření	tah	1,0
		ohyb	0,5
		mimostředný tah	$k_2 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / (2\varepsilon_1)$
$k_3$	Součinitel vyjadřující vliv poškozené soudržnosti betonu a výztuže v bezprostřední blízkosti trhliny		$k_3 = 3,4 \left( \frac{25}{c} \right)^{2/3} \leq 3,4$
$k_4$	Součinitel vyjadřující vztah mezi soudržností a pevností betonu v tahu		0,425 $\tau_{sm} = 2,25 f_{ct,eff}$

$A_{ct}$  je plocha betonu v tažené části průřezu těsně před vznikem trhlin,  
 $F_{cr}$  je absolutní hodnota tahové síly v přilehlé desce před vznikem trhlin vyvozená momentem na vzniku trhlin.

Obrázok 6 - Súčinitele  $k_i$  [14]

$\sigma_s$  *napätie vo výstuži*

$$\sigma_s = n_{ct,1} / A_s$$

$n_{ct,1}$  *ťahová sila v betóne so zohľadnením obmedzenej deformácie*

$$n_{ct,1} = \frac{1}{4} \times \mu_d \times (\gamma \times h + q_0) \times L$$

$\gamma$  *objemová hmotnosť betónu*

$h$  *hrúbka dosky*

$L$  *dĺžka dosky/dilatačného celku v uvaž. smere*

$q_0$  *úžitkové zaťaženie dosky v dobe vzniku trhlín*

$\mu_d$  *súčiniteľ trenia dosky o podlažie podľa tab.*

Spodní konstrukce pod základovou deskou	Oddělovací prvky	Součinitel tření $\mu_0$ (charakteristická hodnota <sup>*)</sup> )
Nesoudržné podloží	žádný	1,4 až 2,1
Štěrkové / pískové podloží	žádný	$h = 0,2$ m ... 1,4 <sup>†)</sup>
		$h = 0,8$ m ... 1,4 <sup>†)</sup>
Pískové podloží	Nopová fólie	0,8 až 1
	PE – fólie	0,5 až 0,7
Začišťovací betonová vrstva – vyhlazená	PE – fólie	0,8 až 1,4
	2x PE – fólie	0,6 až 1
	Hydroizolační pás (min. 5mm)	0,35 až 0,7

<sup>†)</sup>  $h$  je tloušťka základové desky

<sup>\*)</sup> návrhová hodnota součinitele tření je  $\mu_n = \gamma_n \mu_0 = 1,3 \mu_0$

Obrázok 7 - súčinitele trenia dosky o podlažie [14]

## 6.4 Návrh a posúdenie na silové účinky MSP – trhliny

### Postup výpočtu:

1. **Výpočet  $M_{cr}$**  – moment na medzi vzniku trhlín, pomocou ktorého určíme miesta

kde trhliny vzniknú:  $M_{cr} = f_{ctm} \times \frac{I_i}{h - c_{gi}}$

Kde vstupujú charakteristiky ideálneho prierezu. Výstuž ideálneho prierezu je uvažovaná ako navrhnutá základná sieť ZD.

Pomer modulov pružnosti výstuže a betónu:  $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$

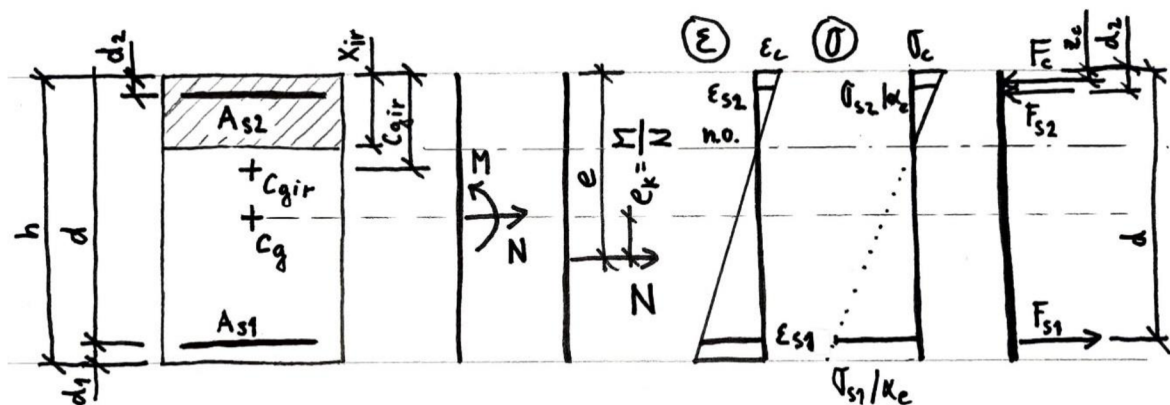
Plocha ideálneho prierezu:  $A_i = A_c + \alpha_e \times (A_{s1} + A_{s2})$

Ťažisko ideálneho prierezu k hornému povrchu:  $c_{gi} = \frac{A_c \times \frac{h}{2} + \alpha_e \times (A_{s1} \times d + A_{s2} \times d_2)}{A_i}$

Moment zotrvačnosti ideálneho prierezu:

$$I_i = \frac{1}{12} \times b h^3 + A_c \times \left( \frac{h}{2} - c_{gi} \right)^2 + \alpha_e \times \left[ A_{s1} \times (d - c_{gi})^2 + A_{s2} \times (c_{gi} - d_2)^2 \right]$$

2. **Výpočet napätia vo výstuži:**



Obrázok 8 – schéma vnútorných síl na odvodenie kubickej rovnice pre výpočet  $x_{ir}$  [vlastné spracovanie]

Určíme podmienky rovnováhy:

$$\sum F_{xi}: N = F_c + F_{s2} - F_{s1}$$

$$\sum M_{yi}: N \times e = F_c \times z_c + F_{s2} \times d_2 - F_{s1} \times d_1$$

Kde:

$$e = \frac{M}{N} + c_{gi}; \quad z_c = \frac{x_{ir}}{3}$$

$$F_c = \frac{1}{2} \times b \times x_{ir} \times E_c \times \varepsilon_c$$

$$F_{s1} = \alpha_e \times A_{s1} \times E_c \times \varepsilon_{s1} = \alpha_e \times A_{s1} \times E_c \times \frac{\varepsilon_c}{x_{ir}} \times (d - x_{ir})$$

$$F_{s2} = \alpha_e \times A_{s2} \times E_c \times \varepsilon_{s2} = \alpha_e \times A_{s2} \times E_c \times \frac{\varepsilon_c}{x_{ir}} \times (x_{ir} - d_2)$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_c}{x_{ir}} \times (d - x_{ir}); \quad \varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_c}{x_{ir}} \times (x_{ir} - d_2)$$



Po dosadení do podmienok rovnováhy a úpravami dostaneme kubickú rovnicu, ktorej riešením bude poloha neutrálnej osi  $x_{ir}$ .

$$x_{ir}^3 - 3 \times e \times x_{ir}^2 + \frac{6\alpha_e}{b} \times [A_{s1} \times (d - e) + A_{s2} \times (d_2 - e)] \times x_{ir} + \frac{6\alpha_e}{b} \times [A_{s1} \times d \times (e - d) + A_{s2} \times d_2 \times (e - d_2)] = 0$$

Rovnica bude riešená v programe Excel pomocou funkcie „Hľadanie riešenia“, kde program iteračnou metódou nájde správny koreň kubickej rovnice.

Následne budú spočítané prierezové charakteristiky ideálneho prierezu porušeného trhlinou:

$$A_{ir} = b \times x_{ir} + \alpha_e \times (A_{s1} + A_{s2})$$

$$c_{gir} = \frac{b \times \frac{x_{ir}^2}{2} + \alpha_e \times (A_{s1} \times d + A_{s2} \times d_2)}{A_{ir}}$$

$$I_{ir} = \frac{1}{12} \times b x_{ir}^3 + b \times x_{ir} \times \left(\frac{x_{ir}}{2} - c_{gir}\right)^2 + \alpha_e \times [A_{s1} \times (d - c_{gir})^2 + A_{s2} \times (c_{gir} - d_2)^2]$$

Napätie v krajných vláknach betónu:

$$\sigma_c = \frac{N}{A_{ir}} - \frac{N \times (e - c_{gir})}{I_{ir}} \times c_{gir}$$

Napätie vo výstuži:

$$\sigma_s = \frac{N}{A_{ir}} - \frac{N \times (e - c_{gir})}{I_{ir}} \times (d - c_{gir})$$

### 3. Výpočet maximálnej vzdialenosti trhlín $s_{r,max}$ a rozdielu pomerných pretvorení betónu a výstuže v okolí trhliny ( $e_{sm} - e_{cm}$ ).

Pri návrhu príložiek iného priemeru výstuže ako výstuže základnej siete do výpočtu  $s_{r,max}$  vstupuje ekvivalentný priemer spočítaný nasledujúcim vzorcom:

$$\emptyset_{eq} = \frac{n_1 \emptyset_1^2 + n_2 \emptyset_2^2}{n_1 \emptyset_1 + n_2 \emptyset_2}$$

### 4. Výpočet šírky trhliny $w_k$

### 5. Posúdenie šírky trhliny a veľkosti tlačenej oblasti

V programe Excel je spodná výstuž ( $A_{s1}$ ) myslená výstuž na strane ťahaných vlákien a výstuž horná ( $A_{s2}$ ) v tlačenej oblasti betónu. Tento popis v jednotlivých návrhoch nemusí reflektovať reálnu pozíciu v konštrukcii.

### 6.4.1 Posúdenie na MSÚ

Posudky budú vypočítané automatizovaným výpočtom v programe Excel. Prierezy budú posúdené na namáhanie kombinácie ohybu a normálovej sily (tlakovej alebo ťahovej).

Excelovský výpočet som vytvoril na výuke premetu Vybrané statě z betonových konstrukcií 2 a bol skontrolovaný vyučujúcim. Primárne bol vytvorený na posúdenie prúťových konstrukcií s N vrstvami výstuže. K tejto práci bol výpočet modifikovaný aj na návrh doskových konstrukcií.

Vo výpočte je postupované nasledovne:

Excel hľadá pomocou funkcie „hľadanie riešenia“ takú polohu neutrálnej osi x (resp. výšku tlačenej oblasti betónu), pri ktorej bude splnená silová podmienka rovnováhy v priereze.

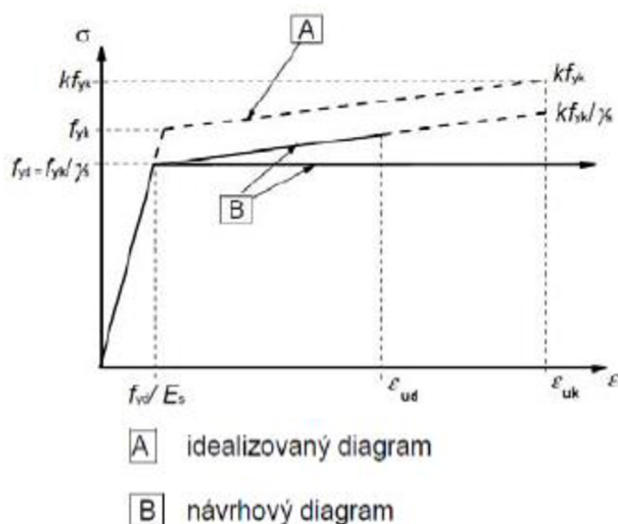
$$\sum F_{si} + F_c - N_{ed} = 0$$

Následne je na základe nájdenej výšky tlačenej oblasti dopočítaný moment únosnosti prierezu  $M_{rd}$ , a ten je porovnaný s návrhovým momentom  $M_{ed}$ .

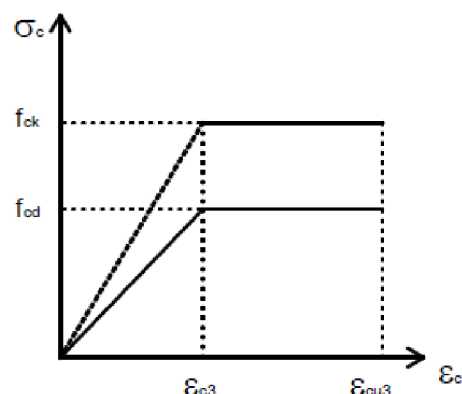
$$\sum M_{si} + M_c = \sum F_{si} \times z_{si} + F_c \times z_c = M_{rd} \geq M_{ed}$$

Predpoklady výpočtu:

- Použitý je bilineárny diagram betónu (presnejší výpočet napätia v betóne)
- Pre výstuž je použitý pracovný diagram s obmedzenou plastickou vetvou so spevnením
- Krajné vlákna betónu v tlaku sú plne využitú (max. pretvorenie  $\epsilon_{cu3}$ )



Obrázok 10 - pracovný diagram betonárskej ocele [16]



Obrázok 9 - bilineárny návrhový diagram betónu [16]

## 7 Návrh výstuže a tesniacich prvkov pre bielu vaňu

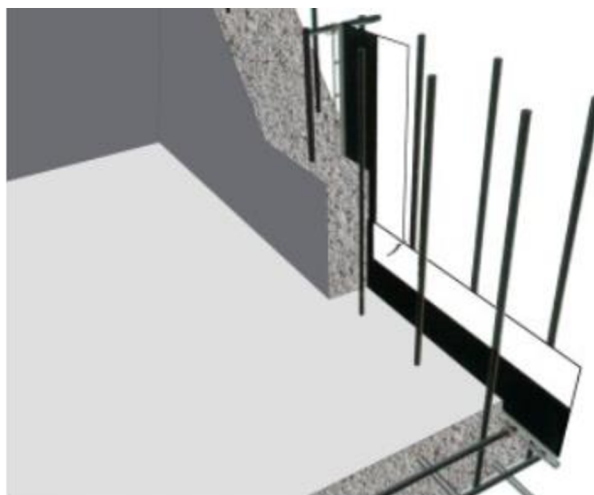
### VÝSTUŽ:

Do základovej dosky je navrhnutý základný raster výstuže na nesilové účinky vplyvom obmedzenej deformácie a to Ø14/150 v oboch smeroch pri oboch povrchoch. Táto základná sieť bude lokálne pri spodnom povrchu vždy pod stenami zosilnená príložkami Ø14/150, ktoré sa vložia podľa prílohy P2.03 medzi profily základného rastru. V jednom prípade sú kvôli väčším ťahovým silám navrhnuté príložky Ø10/150 k oboom povrchom ZD. Výstuž v smere Y je navrhnutá bližšie k povrchu.

Do stien je vo zvislom smere Y navrhnutá základná sieť Ø14/150. Táto bude lokálne v obvodových stenách aktivačných nádrží zosilnená príložkami Ø18/150. V stredovej stene aktivačných nádrží a v obvodových stenách kalojemov sú navrhnuté príložky Ø14/150. Vo vodorovnom smere X je výstuž navrhnutá v troch výškových pásoch s ohľadom na nesilové účinky vplyvom hydratačného tepla. V dolnom páse pri päte steny do výšky 1,5 je výstuž Ø16/110. Vyššie je navrhnutá výstuž Ø14/100. V obvodových stenách aktivačných nádrží je horný pás steny výšky jeden meter vystužený profilmi Ø18/100.

### TESNIACE PRVKY:

- Do pracovnej škáry doska – stena navrhujem tesniaci plech ILLICHMAN BK šírky 160 mm. Je potiahnutý špeciálnou elastickou vrstvou, ktorá je rezistentná aj proti organickým splaškom, preto je tento systém vhodný pre ČOV.
- Do základovej dosky sa uchyťí na hornú výstuž dosky pomocou upevňovacej hrany a zabetónuje na výšku krytia 40 mm, minimálne však 30 mm a maximálne 80 mm.



Obrázok 11 - Príklad napojenia podlaha – stena, stena – stena [17]

## ZÁVER

Cieľom tejto diplomovej práce bolo navrhnúť a posúdiť objekt nádrží ČOV. Po rozbere zaťaženia bola konštrukcia namodelovaná, zaťažená a spočítaná metódou konečných prvkov v programe RFEM. Do modelu bola zahrnutá aj interakcia s podložíom pomocou prídavného modulu SIOLIN. Konštrukcia sa z hľadiska založenia ukázala ako únosná s minimálnym nerovnomerným sadaním.

Keďže ide o nádrže na kvapaliny, konštrukcia bola navrhnutá ako biela vaňa – vodonepriepustná konštrukcia, pričom bol kladený dôraz na splnenie normových požiadaviek a usmernení pre nádrže a zásobníky a smernice pre vodonepriepustné betónové konštrukcie. Výstuž základovej dosky a stien bola navrhnutá s ohľadom na maximálnu dovolenú šírku trhliny podľa triedy namáhania, použiteľnosti a tlakového spádu. Výstuž je navrhnutá tiež na nesilové účinky v rannom veku konštrukcie ktoré môžu byť spôsobené vplyvom obmedzenej deformácie (hlavne u ZD) alebo vývinom hydratačného tepla a s tým spojeným začínajúcim zmrašťovaním betónu, kde ešte betón nemá dostatočnú pevnosť v ťahu. Aby konštrukcia fungovala ako biela vaňa, do pracovnej škáry doska – stena boli navrhnuté tesniace plechy, ktoré spĺňajú aj požiadavky odolnosti proti organickým látkam ktoré sa v procese prevádzky ČOV nachádzajú.

Navrhnutá výstuž bola posúdená nakoniec na MSÚ, kde väčšinou s rezervou vyhovovala. Väčšie množstvo výstuže z hľadiska MSÚ bolo navrhnuté len do hlavy stien najväčších nádrží, ktoré sú namáhané veľkými ťahovými silami od teplotného zaťaženia. Na základe tohto návrhu je spracovaná výkresová dokumentácia – výkresy tvaru a výstuže základovej dosky a stien nádrží.

# ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

## NORMY

- [1] ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Ed. 2. Praha: Český normalizační instiut, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-1: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení. 1. Praha: Český normalizační instiut, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-5: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-5: Obecná zatížení - Zatížení teplotou. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [4] ČSN EN 1991-4: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 4: Zatížení zásobníků a nádrží. Ed. 2. Praha: Český normalizační instiut, 2011.
- [5] ČSN EN 1992-1-1: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Ed. 2. Praha: Český normalizační instiut, 2011.
- [6] ČSN EN 1992-3: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 3: Nádrže na kapaliny a zásobníky. 1. Praha: Český normalizační instiut, 2007.

## ODBORNÁ LITERATÚRA

- [7] *Bílé vany: vodotěsné betonové konstrukce : technická pravidla ČBS 02.* 2., upr. vyd. [Praha]: ČBS Servis, 2007. ISBN 978-80-87158-03-6.
- [8] PROCHÁZKA, Jaroslav. *Navrhování betonových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2.* Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knihnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87438-03-9.
- [9] *Směrnice pro vodonepropustné betonové konstrukce: DAfStb-Richtlinie wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie).* Praha: Česká betonářská společnost ČSSI, [2015]. Technická pravidla ČBS 04. ISBN 978-80-903806-9-1.
- [10] HOLICKÝ, Milan a Jana MARKOVÁ. *Zásady navrhování stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1990.* Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2007. Technická knihnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 978-80-87093-27-6.

- [11] HOLICKÝ, Milan, Jana MARKOVÁ a Miroslav SÝKORA. *Zatížení stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1991*. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knihovna (ČKAIT). ISBN 978-80-87093-89-4.

## WEBOVÉ STRÁNKY

- [12] Oblasti zatížení sněhem, větrem a zemětřesením. *Dlubal software s.r.o.* [online]. Praha: Dlubal software, 2021 [cit. 2021-01-04]. Dostupné z: <https://www.dlubal.com/cs/reseni/online-sluzby/oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim>
- [13] VAN SETERS, Adriaan. *EUROCODE 7 Water pressures - safety approach safety approach*. Netherland, 2010. Dostupné také z: [https://www.eurocode7.com/etc10/Pavia/downloads/Day%202/Lecture%204%20-%20Water%20pressures%20\(van%20Seters\).pdf](https://www.eurocode7.com/etc10/Pavia/downloads/Day%202/Lecture%204%20-%20Water%20pressures%20(van%20Seters).pdf)
- [14] ŠMEJKAL, Jiří a Jaroslav PROCHÁZKA. Výpočet šířky trhlin. *BETON* [online]. 2014, 2014(6), 9 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: [http://www.betontks.cz/sites/default/files/2014-6-68\\_0.pdf](http://www.betontks.cz/sites/default/files/2014-6-68_0.pdf)
- [15] VINKLER, Marek a Jaroslav PROCHÁZKA. Návrh výztuže bílé vany s ohledem na šířku trhliny. *BETON* [online]. 2017, 2017(5), 8 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/sites/default/files/2017-5-60.pdf>
- [16] ŠIMŮNEK PH.D., Ing. Petr. 02\_cv1\_materiály\_diagramy. In: *FCE VUTBR* [online]. Brno [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: [https://www.fce.vutbr.cz/bzk/simunek.p/prvky/02\\_cv1\\_materi%C3%A1ly\\_diagramy.pdf](https://www.fce.vutbr.cz/bzk/simunek.p/prvky/02_cv1_materi%C3%A1ly_diagramy.pdf)
- [17] Příklad napojení: podlaha - zed' /zed' - zed'/. In: *ILLICHMAN* [online]. Praha [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: [http://www.illichman.cz/in/plech\\_bk](http://www.illichman.cz/in/plech_bk)

## SOFTWARE

MS Word  
MS Excel  
AutoCAD 2018  
RFEM 5.24

## ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV

ČBS	Česká betonářská společnost ČSSI
ČOV	Čistička odpadových vôd
FEM	Finite element method (metóda konečných prvkov)
HPV	Hladina podzemnej vody
IGP	Inžiniersko-geologický prieskum
MKP	Metóda konečných prvkov
VNK	Vodorovné nosné konštrukcie
ZD	Základová doska
ZNK	Zvislé nosné konštrukcie
ZS	Zaťažovací stav
$A_c$	Plocha prierezu
$A_s$	Plocha výstuže
$A_{s,max}$	Maximálna plocha výstuže
$A_{s,min}$	Minimálna plocha výstuže
$c$	Krytie výstuže
$c_{min}$	Min. hodnota krytie s súdržnosti a na stupeň vplyvu prostredia
$c_{min,b}$	Minimálna krycia vrstva vzhľadom na požiadavku súdržnosti
$c_{min,dur}$	Minimálna krycia vrstva s prihliadnutím na podmienky prostredia
$c_{nom}$	Nominálna hrúbka betónovej krycej vrstvy
$d$	Účinná výška prierezu
$D_{max}$	Maximálny priemer kameniva
$E_{cm}$	Sečnový modul pružnosti betónu
$E_s$	Sečnový modul pružnosti ocele
$f_{bd}$	Medzné napätie v súdržnosti
$F_c$	Sila v tlačennom betóne
$f_{cd}$	Návrhová valcová pevnosť v tlaku
$f_{ck}$	Charakteristická valcová pevnosť v tlaku
$f_{cm}$	Priemerná hodnota valcovej pevnosti v tlaku
$f_{ctm}$	Priemerná hodnota pevnosti betónu v ťahu
$F_s$	Sila vo výstuži
$F_{tk}$	Minimálna pevnosť v ťahu ocele
$F_{yd}$	Návrhová medza klzu ocele
$F_{yk}$	Charakteristická minimálna medza klzu ocele
$G_d$	Návrhová hodnota stáleho zaťaženia
$G_k$	Charakteristická hodnota stáleho zaťaženia
$G_{k,j}$	Stále zaťaženie
$h$	Hrúbka dosky
$l_0$	Presahová dĺžka výstuže
$l_{0,min}$	Minimálna presahová dĺžka výstuže

$l_{b,min}$	Minimálna kotevná dĺžka
$l_{b,rd}$	Návrhová kotevná dĺžka
$l_{b,rqd}$	Základná kotevná dĺžka
$M_{Ed}$	Celková hodnota ohybového momentu v posudzovanom priereze
$\emptyset$	Priemer výstuže
$q_d$	Návrhová hodnota premenného zaťaženia
$q_k$	Charakteristická hodnota premenného zaťaženia
$Q_{k,1}$	Hlavné premenné zaťaženie
$Q_{k,i}$	Ostatné premenné zaťaženie
$s$	Minimálna vzdialenosť pozdĺžnej výstuže
$V_{Ed}$	Návrhová posúvajúca vnútorná
$x$	Výška tlačenej oblasti betónu
$\alpha_1$	Súčiniteľ vyjadrite. vplyv tvaru prútu za predpokladu zodpovedajúce krycej vrstvy
$\alpha_1$	Súčiniteľ spolupôsobenia stužujúcich trémov s doskou
$\alpha_2$	Súčiniteľ vyjadrujúci vplyv minimálnej betónovej krycej vrstvy
$\alpha_3$	Súčiniteľ vyjadrujúci vplyv ovinutia priečnou výstužou
$\alpha_4$	Súčiniteľ vyjadrujúci vplyv jedného alebo viacerých priečne privarených prútov v návrhovej kotevnej dĺžke $L_{bd}$
$\alpha_5$	Súčiniteľ vyjadrujúci vplyv tlaku kolmého na rovinu odštiepavaniu betónu v návrhovej kotevnej dĺžke
$\alpha_6$	Súčiniteľ pre výpočet stykovej dĺžky
$\gamma_c$	Súčiniteľ spoľahlivosti materiálu pre betón
$\gamma_{G,j}$	Čiastkový súčiniteľ spoľahlivosti pre stále zaťaženie
$\gamma_{Q,1}$	Čiastkový súčiniteľ spoľahlivosti pre rozhodujúce premenné zaťaženie
$\gamma_{Q,i}$	Čiastkový súčiniteľ spoľahlivosti pre sprievodné premenné zaťaženie
$\gamma_s$	Súčiniteľ spoľahlivosti materiálu pre oceľ
$\epsilon_{cu3}$	Max. pomerné pretvorenie betónu pre bilineárny pracovný diagram
$\epsilon_{yd}$	Pretvorenie výstuže
$\theta$	Uhol šmykovej plochy
$\lambda$	Redukčný súčiniteľ pre betón
$V_{Ed0}$	Maximálne šmykové napätie tesne okolo stĺpu
$V_{Ed1}$	Maximálne šmykové napätie
$V_{min}$	Minimálna odolnosť v pretlačení
$V_{Rd,c}$	Návrhová hodnota únosnosti v šmyku pri pretlačení dosky bez šmykovej výstuže na pretlačenie v uvažovanom kontrolovanom priereze
$V_{Rd,max}$	Návrh. hodnota max. únosnosti v šmyku pri pretlačení v uvažovanom kontrolnom priereze
$\sigma_{sd}$	Návrhové namáhanie výstuže



## ZOZNAM PRÍLOH

- P1. Použité podklady
- P2. Výkresy
  - P2.1 Výkres tvaru základovej dosky
  - P2.2 Výkres tvaru nádrží a stropu nad nádržami
  - P2.3 Výkres výstuže základovej dosky
  - P2.4 Výkres výstuže stien nádrží
- P3. Statický výpočet
  - P3.A Výstupy z MKP programu
  - P3.B Idealizácia vodorovného zaťaženia steny nádrže od postupného betónovania spádových klinov
- P4. Stavebný postup