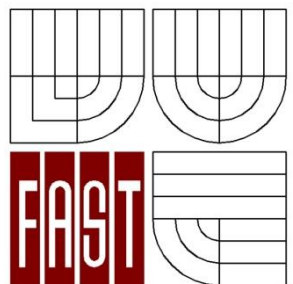


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEOTECHNIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

STAVEBNÍ JÁMY KRUHOVÉHO PRŮŘEZU

FOUNDATION PITS OF CIRCULAR CROSS-SECTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lenka Plevová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. VĚRA GLISNÍKOVÁ, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav geotechniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Lenka Plevová
Název	Stavební jámy kruhového průřezu
Vedoucí diplomové práce	Ing. VĚRA GLISNÍKOVÁ, CSc.
Datum zadání diplomové práce	30.9.2013
Datum odevzdání diplomové práce	17.1.2014
V Brně dne 30. 9. 2013	

.....
doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.
Vedoucí ústavu

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

Podklady a literatura

Budou předány vedoucím diplomové práce zvlášť.

Zásady pro vypracování

Diplomová práce se zabývá pažícími konstrukcemi pro jámy kruhového půdorysu. Úkolem práce je v teoretické části popsat druhy těchto konstrukcí, jejich využití v praxi a možná technická řešení. Důraz je kladen zejména na požární a sprinklerové nádrže. V praktické části je úkolem práce navrhnout konkrétní nádrž pro hasicí zařízení obchodního domu Sconto v Hradci Králové. Součástí práce je statický výpočet a výkresová dokumentace.

Předepsané přílohy

.....

Ing. Věra Glisníková, CSc.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomové práce se zabývá návrhem podzemní hasicí sprinklerové nádrže pro obchodní dům Sconto v Hradci Králové. Jejím cílem je návrh a následné posouzení této konstrukce. A to jak jejich stěn, které jsou řešeny jako převrtávaná pilotová stěna, tak i dna a stropu. Zejména problematika zajištění desky dna nádrže je vzhledem k vysoké hladině podzemní vody, která na dno nádrže působí velkým vztlakem, významnou součástí této práce. Pro statický výpočet byly využity programy Scia Engineer 2013 a FIN EC – Beton 3D. Součástí práce je také přehled a stručný popis metod používaných pro zajištění stavebních jam kruhového půdorysu a dále část věnovaná sprinklerovým hasicím zařízením se zaměřením na jejich stručnou historii, druhy a technologii. Závěr práce je věnován návrhu dalších dvou variant zajištění dna nádrže a jejich ekonomickému porovnání.

Klíčová slova

Geotechnika, stavební jáma, pažící konstrukce kruhového půdorysu, převrtávaná pilotová stěna, sprinklerová nádrž, podzemní voda, Scia Engineer 2013, FIN EC – Beton 3D, Geo 5

Abstract

The master's thesis focuses on design of underground sprinkler tank for a shopping centre Sconto in Hradec Králové. The purpose of this thesis is to design and to analyse all parts of this construction. These parts are the roof, the bottom plate and the wall, which is represented by secant piles. Due to the high level of the ground water which causes a great pressure on the bottom of the tank, the solution of the bottom plate represents very important part of this thesis. There were used two programs for an analysis, Scia Engineer 2013 and FIN EC – Beton 3D. Furthermore, the work contains a view and a brief description of methods used for sheeting of foundation pits of a circular cross-section. In the end, this thesis contains the design of two other solutions of bottom plate and its economic comparison.

Key words

Geotechnics, construction pit, sheeting construction of circular cross-section, sekant pile wall, sprinker tank, ground water, Scia Engineer 2013, FIN EC – Beton 3D, Geo 5

Bibliografická citace VŠKP

PLEVOVÁ, Lenka. *Stavební jámy kruhového průřezu*. Brno, 2013. XX s., YY s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky.
Vedoucí práce Ing. Věra Glisníková, CSc.

Počet stran práce: 77

Počet příloh: 2



Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně, a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

Bc. Lenka Plevová

Poděkování

Ráda bych poděkovala všem, kteří mi pomáhali s přípravou práce nebo mě jakkoliv podporovali během jejího vytváření. Zejména vedoucímu Ústavu geotechniky doc. Ing. Lumíru Mičovi, Ph.D za vytvoření optimálních pracovních podmínek v průběhu celého studia a dále vedoucí své diplomové práce Ing. Věře Glisníkové, CSc. za podnětné rady a čas strávený konzultacemi.

OBSAH

ABSTRAKT	- 1 -
KLÍČOVÁ SLOVA.....	- 1 -
ABSTRACT	- 2 -
KEY WORDS	- 2 -
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP	- 3 -
PROHLÁŠENÍ:.....	- 4 -
PODĚKOVÁNÍ.....	- 5 -
OBSAH.....	- 6 -
1. ÚVOD	- 9 -
2. STAVEBNÍ JÁMY KRUHOVÉHO PRŮŘEZU	- 11 -
2.1 STATICKÉ PŮSOBNÍ KRUHOVÉHO PRŮŘEZU	- 11 -
2.2 DRUHY STAVEBNÍCH JAM PRO KONSTRUKCE KRUHOVÉHO PRŮŘEZU	- 12 -
2.2.1 Šachty.....	- 12 -
2.2.2 Nádrže.....	- 15 -
2.2.2.1 Retenční nádrže	- 15 -
2.2.2.2 Sprinklerové nádrže	- 17 -
2.2.2.3 Skladovací nádrže.....	- 18 -
2.3 MOŽNOSTI ZAJIŠTĚNÍ STAVEBNÍCH JAM KRUHOVÉHO PRŮŘEZU	- 19 -
2.3.1 Převrtávaná pilotová stěna	- 19 -
2.3.2 Podzemní stěna.....	- 20 -
2.3.3 Trysková injektáž.....	- 21 -
3. SPRINKLEROVÉ HASICÍ ZAŘÍZENÍ.....	- 22 -
3.1 FUNKCE SYSTÉMU.....	- 22 -

3.2 HISTORIE.....	- 23 -
3.3 DRUHY SPRINKLEROVÝCH SYSTÉMŮ.....	- 27 -
4. SPRINKLEROVÁ NÁDRŽ.....	- 29 -
4.1 PŘEDMĚT PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE.....	- 29 -
4.2 LOKALIZACE.....	- 30 -
4.3 GEOMORFOLOGICKÉ POMĚRY.....	- 30 -
4.4 GEOLOGICKÁ STAVBA LOKALITY.....	- 31 -
4.5 HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY.....	- 33 -
4.6 ZÁKLADOVÉ POMĚRY.....	- 34 -
5. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ SPRINKLEROVÉ NÁDRŽE.....	- 35 -
5.1 POŽADAVKY NA KONSTRUKCI.....	- 35 -
5.2 VOLBA PAŽÍCÍ KONSTRUKCE.....	- 35 -
5.3 ZVOLENÉ ŘEŠENÍ STĚN NÁDRŽE.....	- 36 -
5.4 ZVOLENÉ ŘEŠENÍ DNA NÁDRŽE.....	- 39 -
5.5 ZVOLENÉ ŘEŠENÍ STROPU NÁDRŽE.....	- 41 -
6. STATICKÝ VÝPOČET.....	- 42 -
6.1 POSOUZENÍ STĚNY NÁDRŽE.....	- 42 -
6.1.1 <i>Posudek betonu primární piloty na příčný tah.....</i>	<i>- 42 -</i>
6.1.2 <i>Model.....</i>	<i>- 48 -</i>
6.2 POSOUZENÍ KONSTRUKCE STROPU NÁDRŽE.....	- 50 -
6.3 KONSTRUKCE DNA NÁDRŽE.....	- 54 -
6.3.1 <i>Vztlak na dno nádrže</i>	<i>- 55 -</i>
7. ALTERNATIVNÍ NÁVRHY ŘEŠENÍ DNA NÁDRŽE.....	- 58 -
7.1 DESKA TLOUŠTKY 0,45 M S MIKROPILOTAMI.....	- 58 -

7.2 DESKA TLOUŠŤKY 0,3 M SE ZPĚTNÝM VENTILEM.....	59 -
7.3 POROVNÁNÍ NAVRŽENÝCH VARIANT.....	61 -
7.3.1 Tvorba rozpočtu	62 -
7.3.2 Praktická aplikace rozpočtu.....	62 -
7.3.3 Závěrečné zhodnocení variant	63 -
8. ZÁVĚR.....	65 -
POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE.....	67 -
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	67 -
SEZNAM ODKAZŮ NA ELEKTRONICKÉ STUDIJNÍ ZDROJE	68 -
SEZNAM POUŽITÝCH NOREM.....	70 -
SEZNAM GRAFŮ	70 -
SEZNAM ILUSTRACÍ	71 -
SEZNAM TABULEK.....	73 -
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	74 -
SEZNAM PŘÍLOH.....	76 -

1. ÚVOD

Jedním z nejúčinnějších a nejvyužívanějších konstrukčních prvků v tisíciletém vývoji stavitelství je klenba. A tak jako nás po staletí neustále fascinuje její úchvatné rozpětí v římském Pantheonu, tak i v současnosti má své opodstatněné postavení. Díky tomu nachází své uplatnění také v oblasti speciálního zakládání staveb, kde se využívá její mimořádná statická vlastnost, kterou je eliminace ohybových momentů.

Tato diplomová práce se zabývá uplatněním tohoto stavebního prvku v současnosti na konstrukci kruhových stavebních jam. Jako konkrétní řešení bylo zvoleno provedení kruhové podzemní nádrže, která slouží jako zásobník vody pro sprinklerové hasicí zařízení.

První část práce pojednává o jednotlivých typech stavebních jam pro konstrukce kruhového půdorysu. Ty jsou rozděleny jednak dle funkce, kterou budou po dokončení splňovat, a dále pak dle způsobu provedení jejich pažení. V teoretické části práce je také kapitola věnovaná sprinklerovým hasicím zařízením se zaměřením na jejich stručnou historii, druhy a technologii.

Zájmová lokalita, v níž se daná nádrž realizuje, se nachází na výjezdu z Hradce Králové směrem na Pardubice, v komerční a průmyslové zóně u vesnice Březhrad. Tato oblast se nachází v říční nivě řeky Labe, která se vyznačuje zvýšenou hladinou podzemní vody. V konkrétním místě podzemní nádrže se voda pohybuje cca 1 m pod stávajícím terénem. Tato situace pak fatálním způsobem ovlivňuje řešení jakéhokoliv podzemního díla a tím pádem i výše zmíněnou sprinklerovou nádrž.

Výchozím zadáním každé nádrže pro hasicí systémy je objem vody, který musí pojmout. Ten je odvozen z velikosti objektu, pro který je nádrž určena. V řešeném případě byl požárním specialistou definován minimální využitelný objem požární vody 722 m³ s tím, že z technologického důvodu musí mezi hladinou požární vody a podhledem stropu nádrže zůstat volná prostor cca 1 m. Z tohoto zadání a z výsledků inženýrsko – geologického průzkumu byly stanoveny základní rozměry nádrže. Při

jejich návrhu bylo zohledněno hledisko provádění pažení stěn nádrže pomocí převrtávané pilotové stěny pomocí rotační náběrového vrtání, kdy na tuto technologii je výrazně výhodnější ukončovat paty pilot ve skalním případně podskalním podloží než ve zvodnělé šterkové terase. S ohledem na tuto skutečnost byla definována limitní délka pilot, která je cca 15 m. Této délce pak odpovídá vnitřní průměr nádrže 9,4 m. Pro zvolené rozměry je pak potřeba nadimenzovat dno i strop nádrže. V případě dna je tato úloha zkomplikována působením velké vztlakové síly vyvolané vysokým vodním sloupcem.

Statický výpočet byl prováděn v několika programech. Prvním z nich je program Scia Engineer 2013, ve kterém byl sestaven prostorový model celé konstrukce a také posouzen stropní průvlak a deska dna. Průvlak i dno byly dále posouzeny z hlediska vyztužení v programu FIN EC – Beton 3D. Pro variantu desky dna s mikropilotami byl použit také program Geo 5, který je v geotechnické praxi jednoznačně nejrozšířenějším programem. Statickým výpočtem bylo prokázáno, že všechny rozhodující části konstrukce jsou dostatečně nadimenzované tak, aby přenesly všechna zatížení, jež na ně působí.

2. STAVEBNÍ JÁMY KRUHOVÉHO PRŮŘEZU

2.1 Statické působení kruhového průřezu

Jak již bylo zmíněno v úvodu této práce, kruhový průřez má z hlediska pažení stavební jámy velkou statickou výhodu a tou je tzv. klenbový efekt. To znamená, že radiální vodorovné napětí, které působí na pažící konstrukci v hloubce z , vyvolá v této konstrukci pouze normálovou sílu N a není tedy nutné navrhovat žádné další podpory, například v podobě kotev. Tento předpoklad ovšem platí pouze v případě, že je konstrukce provedena s maximální přesností, a je tedy zachován pravidelný kruhový tvar po celé výšce konstrukce, a zároveň na ni nepůsobí nerovnoměrné zatížení na povrchu. V opačném případě je ohrožena statická funkce konstrukce vznikem ohybových momentů. Eliminovat nežádoucí odchylky od ideálního tvaru je možné například pomocí zřízení vodicích zídek, které přesně vymezí požadovaný tvar pažící konstrukce. [1]

$$N = p \cdot R \text{ [kN]}$$

kde N ...normálová síla v pilotách [kN]

p ...radiální vodorovné napětí [kPa]

R ...poloměr kruhové šachty [m]

2.2 Druhy stavebních jam pro konstrukce kruhového průřezu

Ve stavební praxi se vyskytují konstrukce kruhového průřezu, které dle jejich umístění vzhledem k terénu můžeme rozdělit na dva základní typy. A to konstrukce nadzemní a podzemní. Problematiku konstrukcí nadzemních řeší klasické betonové stavitelství, zatímco konstrukcemi podzemními se zabývá speciální zakládání staveb.

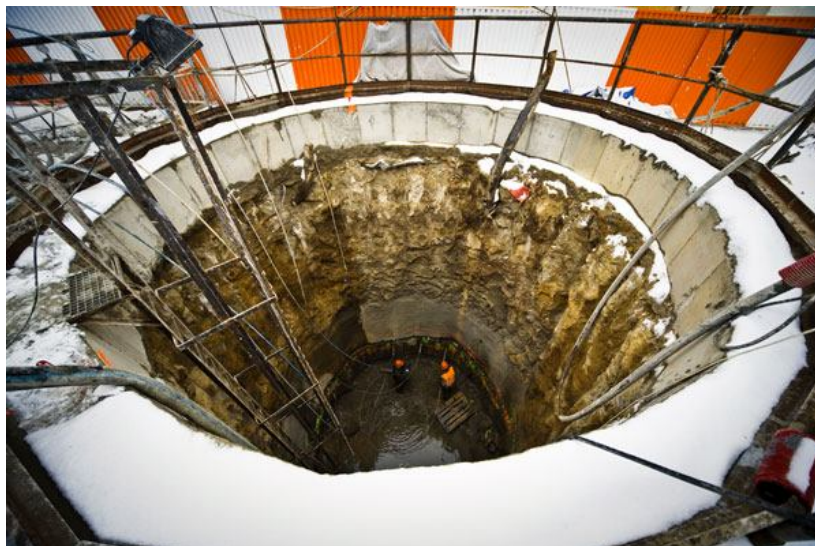
Stavební jámy pro podzemní kruhové konstrukce můžeme zapažit pomocí dvou druhů pažení. Pomocí pažení odsazeného nebo pažení se sdruženou funkcí. V případě odsazeného pažení je vytvořena samostatná stavební jáma, která bývá zapažena pomocí štetovnic, záporového pažení, pilotových stěn, svahováním apod. Do této jámy je následně vestavěna vlastní konstrukce kruhového průřezu. Provedením zapažení stavební jámy se sdruženou funkcí získáme konstrukci, která v sobě zahrnuje jak prvek pažící, tak i konstrukční.

Dle konkrétních podmínek stavby je pak z výše uvedených způsobů pažení stavebních jam zvolena většinou ta, která je z ekonomického hlediska výhodnější. Ve zvodněném geologickém prostředí, kde pažení stavební jámy musí mít zároveň i funkci těsnící, je pak nejvhodnější volbou konstrukce se sdruženou funkcí. Vzhledem k tomu, že takovou konstrukcí je sprinklerová nádrž řešená v této diplomové práci, tak bude teoretická část práce zaměřena právě na tyto konstrukce.

2.2.1 Šachty

Mezi nejrozšířenější druh stavebních jam kruhového průřezu patří šachty. Jedná se o díla, jejichž hloubkový rozměr převažuje nad rozměrem půdorysným, tedy průměrem šachty. Těchto stavebních děl se využívá zejména v podzemním stavitelství při ražbě tunelů a kolektorů. Dle životnosti rozeznáváme šachty dočasné, sloužící pro komunikaci během ražby podzemního díla, a šachty trvalé neboli definitivní. Ty druhé mohou

sloužit k mnoha účelům jako například k přístupu či úniku z tunelu, k větrání či k přívodu inženýrských sítí. Velmi často bývají tyto funkce sdružené.

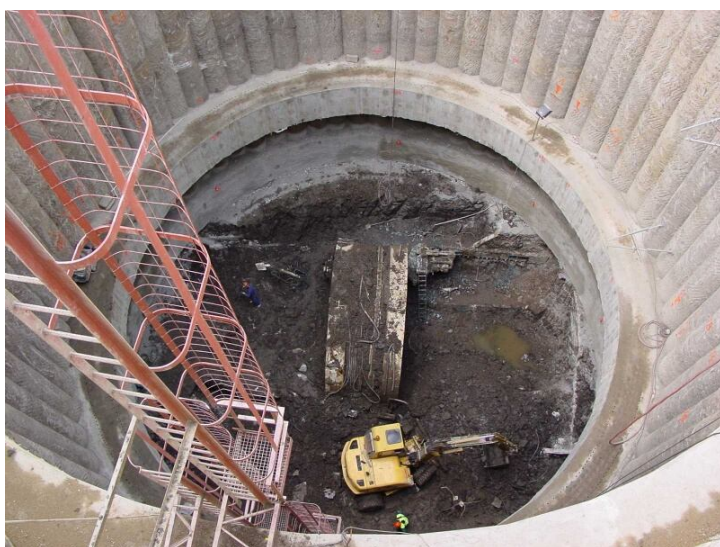


Obr. 2-1: Šachta pro provádění kompenzační injecktáže sloužící k eliminování sedání budov při ražbě Královopolských tunelů v Brně [14]

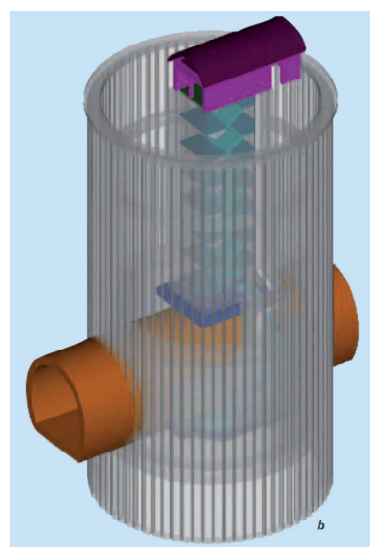
Unikátní konstrukci na našem území představuje pažená hluboká šachta z převrtávaných pilot, jež byla navržena v roce 2013 za účelem vyproštění zavaleného vrubovacího stroje Perforex, razícího jednokolejný železniční tunel Březno. Tunel byl navržen jako přeložka železniční tratě Březno u Chomutova – Chomutov z důvodu plánovaného rozšíření těžby hnědého uhlí v povrchovém dole DNT Tušimice. Průměr šachty je 21 m na osu pilot a její hloubka dosahuje 35 m. Piloty mají průměr 1,18 m a délku až 40 m. Vzhledem k umístění závalu téměř uprostřed tunelu vznesl investor požadavek na sekundární využití šachty jako únikového východu. Tomuto mimořádnému projektu se blíže věnuje časopis Zakládání staveb, a.s. z ledna roku 2007. [5]



a



b



c

Obr. 2-2: Šachta v prostoru závalu tunelu Březno [6]

a) Pohled na šachtu z jeřábu

b) Zavalený vrubovací stroj Perforex na dně šachty

c) 3D model konečného řešení šachty s pilotami a únikovým východem

2.2.2 Nádrže

Mezi další konstrukce, které často využívají statické výhody kruhové stavební jámy je možné zařadit také nádrže neboli zásobníky. S ohledem na účel, kterému mají tyto kruhové podzemní objekty sloužit, byly rozděleny do několika kategorií.

2.2.2.1 Retenční nádrže

Funkcí retenčních nádrže je dočasné zadržení dešťové vody před vypuštěním do kanalizační sítě. Během přívalových dešťů se zvedne objem srážkové vody natolik, že kanalizační systém není schopný takové množství pojmout a mohlo by tak dojít k jeho zahlcení. To by mělo za následek například rozlití vody po okolí nebo, v případě blízkosti vodního toku, k jeho velkému znečištění. Aby k tomuto nedocházelo, jsou realizovány retenční nádrže, ve kterých je srážková voda dočasně akumulována a následně řízeně vypouštěna do kanalizace. Nejčastěji jsou tyto objekty budovány v blízkosti průmyslových objektů či obchodních center, kde se vyskytují velké zpevněné plochy a dešťová voda se tak nemá kam vsakovat.

Jedna z nejvýznamnějších kruhových retenčních nádrží na území České republiky byla zrealizována v Brně. Jedná se o nádrž Jeneweinova, která je součástí stokové sítě města Brna, a jsou do ní přiváděny vody, které během větších dešťů není schopna pojmout stávající kanalizace, a které by se tak dostávaly bez čištění do řeky Svatky a Svitavského náhonu. Hlavním úkolem nádrže je tedy dočasně zadržet znečištěnou srážkovou vodu a separovat z ní větší nečistoty. Tyto nečistoty jsou odváděny na Čističku odpadních vod Brno - Modřice a ostatní voda odtéká zpět do městské stokové sítě.



Obr. 2-3: *Retenční nádrž Jeneweinova v Brně* [7]

Díky svým rozměrům, tedy průměru 32 m a hloubce výkopu 20,8 m, představuje nádrž zajímavý úkol i z hlediska speciálního zakládání staveb. Pažení stavební jámy bylo provedeno jako monolitická podzemní stěna ve tvaru pravidelného 45stěnu složeného z 15 třízáběrových lamel podzemních stěn tloušťky 1 m a výšky 30 m. Lamely je třeba provádět s maximální přesností, neboť se zde počítá s výše zmíněným klenbovým efektem. Pro zajištění stability dna nádrže byly zeminy pod dnem výkopu zpevněny vrstvou tryskové injektáže o mocnosti 4 m. Ta je tvořena vzájemně se překrývajícími sloupy průměru 1 m s pevností tlaku proinjektované zeminy po 28 dnech 6,0 MPa. Vzájemná rozteč těchto sloupů je 0,75 m. Článek o tomto zajímavém projektu je opět v časopise *Zakládání staveb*, a.s. 4/2011. [7]



a



b

Obr. 2-4: *Retenční nádrž Jeneweinova v Brně [7]*
a) Mechanizace pro výrobu podzemních stěn
b) Pracovní plocha pro tryskovou injektáž s průchodkami a jímacím žlabem

2.2.2.2 Sprinklerové nádrže

Obdobu retenčních nádrží představují nádrže sprinklerové. Rozdíl je však v tom, že zatímco nádrže retenční slouží k dočasnému zadržení vody, v nádržích sprinklerových se naopak voda vyskytuje neustále. Tento druh nádrží, které můžeme nazývat též nádržemi požárními, slouží totiž jako zásoba požární vody. V dnešní době je většina obchodních a logistických center, parkovacích domů a kancelářských objektů vybavena sprinklerovým hasicím zařízením což je hasicí systém používající coby hasicí látku vodu. A protože tento hasicí systém musí být neustále v pohotovosti, potřebuje být nepřetržitě napojen na nevyčerpatelný zdroj vody. Tím může být například jezero či řeka. V případě, že se v blízkém okolí stavby takový zdroj nevyskytuje, je třeba ho nahradit sprinklerovou nádrží.



Obr. 2-5: *Provádění sprinklerové nádrže v prostoru komerční zóny Hradce Králové*

2.2.2.3 Skladovací nádrže

Účelem skladovacích nádrží je uchovávání nějakého materiálu. Možností, co lze ve skladovacích nádržích skladovat, je opravdu mnoho. Často se využívají například v zemědělství pro uskladnění močůvky či tekutého hnojiva složeného z výkalů hospodářských zvířat a zbytků jejich krmiv, tzv kejdy. Další možnost využití uskladňovacích nádrží představují nádrže na zkapalněný zemní plyn (LNG) [10]. Velmi atraktivní příklad nádrží na tento biopohon do automobilu můžeme najít například v Koreji (Obr. 2-6).



a



b

Obr. 2-6 a, b: *Skladovací nádrže na LNG, Korea [10]*

2.3 Možnosti zajištění stavebních jam kruhového průřezu

Na základě rozvoje mechanizace a strojního vybavení v posledních 50 letech můžeme pro vytvoření kruhových jam použít technologie, které byly ještě v 1. polovině 20. století pro stavební inženýry nepředstavitelné. Se zkvalitněním a zrobustněním vrtných soustav pro piloty můžeme pomocí vrtační náběrové technologie hloubit piloty až do hloubky 50 - 60 m což v minulosti nebylo vůbec možné. Dále použitím kvalitních vedených drapáků a zemních fréz jsme schopni vytvářet lamely pro mnohoúhelníky kruhových jam. Za účelem využití i dříve nepřístupných stavebních parcel v městské zástavbě došlo k rozvoji technologie tryskové injektáže, kterou můžeme tím pádem také úspěšně používat za účelem pažení kruhových jam.

2.3.1 Převrtávaná pilotová stěna

Jednou z nejstarších a zároveň v dnešní době velmi rozšířenou metodou zajištění stavební jámy kruhového půdorysu je převrtávaná pilotová stěna. Jedná se o druh pilotové stěny, kdy je poloměr pilot větší než jejich osová vzdálenost. Dochází tak k vzájemnému překrývání tzv. primárních pilot, které jsou nevyztužené a vrtají se jako první, a vyztužených pilot sekundárních, které jsou následně vyvrtány mezi piloty primární. Tato metoda je díky překrytí a provedení bez pracovních spár považována za vodotěsnou a jsou-li piloty vetknuty do nepropustného podloží, dá se říci, že celá konstrukce stavební jámy působí jako těsnící.[3]

Největší výhodou využití převrtávané pilotové stěny k zajištění stavební jámy kruhového půdorysu je její schopnost opsat téměř dokonalý kruh. Minimální průměr, kterého jsme pomocí této technologie docílit je cca 5 m, což představuje nejmenší možný rozměr těžní šachty kolektorů, k jejichž pažení se tato metoda často využívá. Pomocí převrtávané pilotové stěny však můžeme vytvořit stavební jámu i o mnohem větších poloměrech, vždy je však třeba kontrolovat dodržení půdorysné polohy a svislosti pilot. K tomu nám může pomoci vodící šablona, která představuje jakousi obdobu vodící zídky u podzemních stěn. Šablona pomáhá co nejvěrněji kopírovat

kruhový půdorys stěny, což je velmi důležité pro zachování klenbového efekt a zamezení vzniku ohybových momentů. [2]

Je-li potřeba konstrukci ztuhlout, provedou se ztuhující prstence. Ty se provádí jednak jako hlavová převázka, která je s pilotami pevně spojena pomocí výztuže vyčnívající z pilot, a dále jako předsazená převázka pod hlavou pilot v jedné či více úrovních. Pokud je potřeba stěnu také kotvit, vytvoří se v převázce niky s kontaktní stěnou kolmou na směr kotev. Kotvy se obvykle provádí skrz nevyztužené primární polity. Ztuhující prstence se využívají zejména u šachet k tunelům neboť tam je vstupem do tunelu narušen klenbový efekt a vzniká tak potřeba zachytit vzniklé momenty.

2.3.2 Podzemní stěna

Další metodou, kterou lze použít k zajištění kruhové stavební jámy, je monolitická podzemní stěna, známá také pod názvem Milánská stěna. Technologie jejich výroby spočívá ve vyplnění vytěžené rýhy betonem či železobetonem s využitím pažicí suspenze. Právě ta znevýhodňuje tuto metodu oproti pilotovým stěnám, neboť ty jsou paženy pomocí ocelových spojovatelných pažnic, což je nejen ekologičtější, ale také rychlejší.

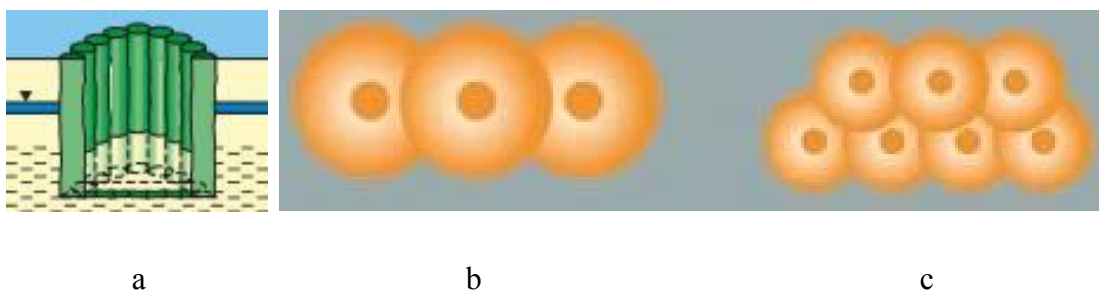
Za nevýhodu se dá považovat také fakt, že pomocí podzemní stěny není možné vytvořit dokonalý kruhový tvar. Avšak při dostatečném poloměru stavební jámy a při precizním provedení je možné požadovanou statickou funkci, tedy klenbový efekt, zajistit. Názorným příkladem může být výše zmíněná retenční nádrž Jeneweinova [7], která je navržena jako monolitická stěna ve tvaru pravidelného 45 stěnu.

Stejně jako převrtávaná pilotová stěna, také stěna podzemní je považována za pažicí konstrukci vodotěsnou, schopnou odolávat hydrostatickému tlaku. Její těsnicí funkce je zde zajištěna pomocí tzv. water stopů v podobě umělohmotných těsnění, které se vkládají mezi jednotlivé lamely. [3]

2.3.3 Trysková injektáž

Moderní a rychlou metodou, která se používá v místech s omezeným prostorem pro přístup velké stavební techniky, je trysková injektáž. Ta se u kruhových stavebních jam vyskytuje hlavně v podobě sloupů při pažení šachet kolektorů. Jedná se opět o konstrukci vodotěsnou, jejíž nevýhodou je malá ohybová tuhost neboť nelze jednoduše vyztužit. Tento problém je sice v případě konstrukcí kruhovému půdorysu eliminován klenbovým efektem, avšak u šachet a tunelů je tato statická výhoda v místě vstupu do tunelu narušena, a dochází tak ke vzniku ohybových momentů. Ty se mohou zachytit jak zajištěním dostatečné tloušťky konstrukce, například zdvojením stěny, aby ve stěně nevznikala tahová napětí, tak spolupůsobením s dalšími konstrukčními prvky, jako jsou například mikropiloty, které to tahové napětí přebírají. Stěnu je možné také kotvit a to jak v jedné, tak více úrovních.[13]

Tuto metodu je možné použít ke zpevnění či utěsnění téměř ve všech druzích zemin včetně jílu. V případě skalního či poloskalního podloží se tato metoda dá ve speciálních případech také použít, avšak obecně není příliš vhodná a hlavně není ekonomická. Trysková injektáž však obecně nepatří mezi ekonomicky výhodné metody, což představuje její hlavní nevýhodu.



Obr. 2-7: Trysková injektáž

a) Šachta z přezávaných sloupů trykové injektáže [13]

b) Jednoduchá stěna ze sloupů trykové injektáže [12]

c) Zdvojená stěna z trykové injektáže [12]

3. SPRINKLEROVÉ HASICÍ ZAŘÍZENÍ

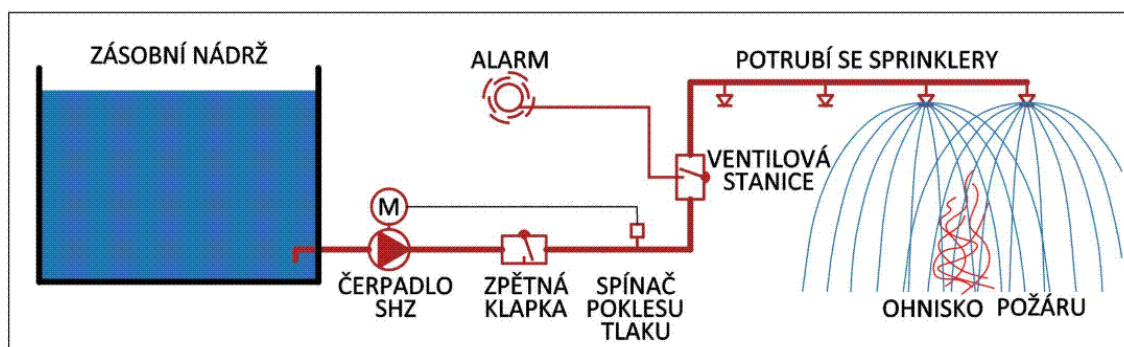
Vzhledem k tomu, že se praktická část této práce zabývá návrhem požární nádrže sloužící jako zásoba vody pro sprinklerové hasicí zařízení, bude jedna kapitola věnována stručnému popisu, historii a druhům těchto zařízení.

Sprinklerové hasicí zařízení je aktivní hasicí opatření, které se skládá ze tří částí: zdroje požární vody, sprinklerové soustavy a na ní napojených distribučních prvků, tedy sprinklerových hlavice. V současné době se jedná o nejrozšířenější a hlavně nejspolehlivější hasicí zařízení. Nejčastěji se bývá navrhováno tam, kde se shromažďuje velké množství lidí nebo tam, kde je třeba chránit nějaký cenný materiál. Takovým místem mohou být obchodní centra, kancelářské objekty, skladovacích a logistických centra, parkovací domy a dalších prostory, kde je povoleno hašení vodou. Hasicí látkou je totiž čistá netoxická voda, která je velmi levná, což je jedna z výhod tohoto zařízení. Další výhodou je fakt, že zařízení se aktivuje samočinně. Teplotní čidlo ve sprinklerové hlavici detekuje zvýšenou teplotu a tím dojde k otevření pouze hlavice v místě zasaženém požárem, což minimalizuje škody způsobené vodou. Dlouhodobé statistiky prokazují, že až 80 % požárů bylo uhašeno otevřením jedné až tří sprinklerových hlavice. To že se tento systém aktivuje sám znamená, že je připraven zasáhnout prakticky 365 dní v roce. [15]

3.1 Funkce systému

Během požáru dochází k vývinu tepla. To se hromadí pod stropem místnosti, kde jsou osazeny sprinklerové hlavice. Ty jsou osazeny teplotním čidlem, které po dosažení mezní teploty samočinně otevřou hlavici a umožní tak výtoku vody. Vytékající vodní paprsek naráží na tříštič, který vodu rozptyluje, takže vzniklý "tryskající déšť" pokrývá oheň. Jak voda protéká ventilovou stanicí, dochází ke spuštění požárního poplachu. Ten je v místě požáru reprezentován světelnou a akustickou signalizací a zároveň je požár nahlášen hasičské záchranné službě. Následkem hašení je pokles tlaku vody v potrubí,

což je detekováno a následně vyřešeno spuštěním čerpadla, které dodává vodu do potrubní sítě.



Obr. 3-1: Schéma funkce sprinklerového zařízení [16]

3.2 Historie

Historie sprinklerových zařízení sahá až do počátku 19. století, kdy díky průmyslové revoluci vznikalo mnoho průmyslových závodů a továren, ve kterých se požár často velmi rychle šířil díky prachovému a papírovému materiálu, a sílila tak potřeba jejich ochrany. A to ochrany takové, při které nebylo potřeba zásahu člověka. [8]

1806 John Carey

Prvním samočinným hasicím zařízením s potrubním systémem byl systém Angličana Johna Careye z roku 1806. Zdroj vody představovala gravitační nádrž, jež byla umístěna na střeše budovy. V přívodním potrubí, jež vedlo od nádrže, se nacházel ventil, který byl napojený na spouštěcí zařízení v podobě provazu a závaží. V případě požáru provaz prohořel, čímž se uvolnilo závaží a otevřelo tak spouštěcí ventil. Tento systém však nebyl příliš spolehlivý neboť provaz se časem prodlužoval, což způsobovalo samovolné otvírání ventilu.

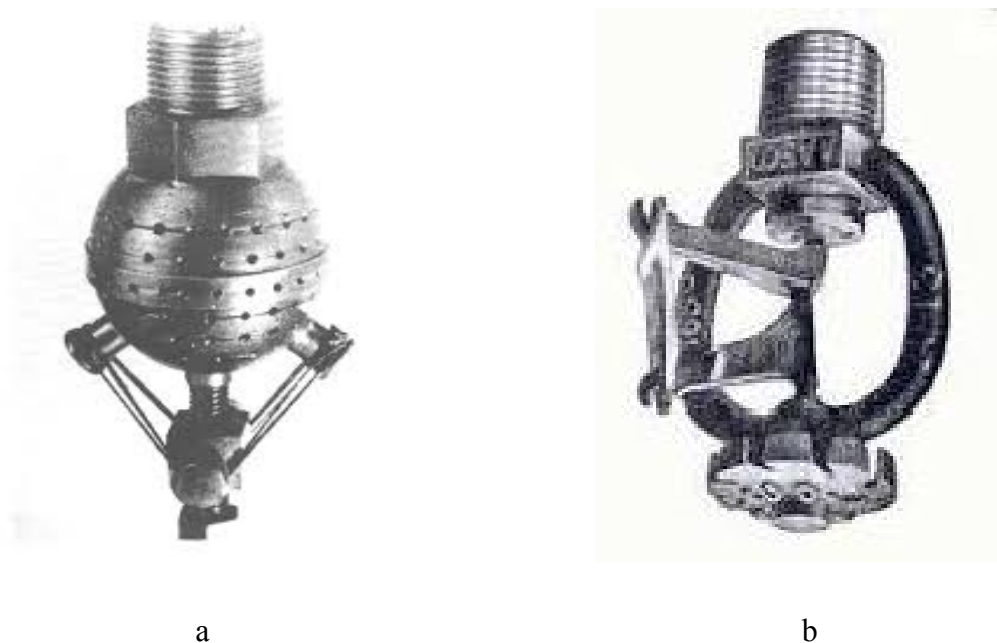
1812 William Congrave

Dalším z předchůdců dnešních hasicích zařízení vymyslel taktéž Angličan William Congrave a použil jej v divadle Theatre Royal v Drury Lane. Toto zařízení se skládalo z děrovaného potrubí, jež bylo vedeno po celé budově a barelů naplněných vodou z vodovodu. V případě vyhlášení požáru byla uvedena do chodu parní stříkačka, která představovala tlakový zdroj. Problémem tohoto zařízení byl zejména čas. Stříkačka byla uvedena do chodu 20 minut po vyhlášení poplachu.

Přes všechny nedostatky, jako byla například malá schopnost odolávat korozi či vysokému tlaku, se požární systém využívající perforované potrubí velmi ujal. Upouštět se od něj začalo až s příchodem samočinných sprinklerových hlavice.

1864 A. Stewart Harrison

První samočinná sprinklerová hlavice spatřila světlo světa v Londýně roku 1864 díky A. Stewartu Harrisonovi (Obr. 3-2a). Jednalo se o děrovanou mosaznou kouli, jíž procházel čep přitlačující pryžovou zátku v horní části hlavice a zabraňující tak proudění vody. Jako čidlo na detekci požáru sloužila kovová krytka připájená ke spodní hraně hlavice. V případě požáru došlo k roztavení pájky a následnému vystřikování vody všemi otvory v hlavici. Velkým pokrokem bylo, že docházelo k hašení pouze v místě požáru. Přestože tato hlavice byla v mnohém dokonalejší, než některé hlavice navržené po ní, nedošlo k jejímu většímu rozšíření, zřejmě díky právě probíhající občanské válce v Americe.



Obr. 3-2: *Sprinklerová hlavice* [8]

a) Perforovaná mosazná koule A. Stewarta Harrisona

b) Hlavice Henryho S. Parmaleea s pákovým uzavíracím mechanismem

1974 Henry S. Parmalee

Dalším člověkem, který se výrazně zasadil o rozvoj sprinklerových hlavice, byl americký továrník Henry S. Parmalee. Jeho hnacím motorem byla snaha ochránit továrnu na výrobu pián, již vlastnil. Parmalee vymyslel několik druhů hlavice, z nichž ty pozdější měli již i poplašné zařízení a otočnou hlavici pro lepší rozstřikování vody. Jeho hlavice byly velmi úspěšné a rychle se rozšířily. Na obrázku 3-2b je jedna z dokonalejších Parmaleeových hlavice, která je založena na principu páky a spojky. Jakmile spojka prohoří, dojde k uvolnění páky, otevře se ventil a začne proudit voda.



a



b

Obr. 3-3: *Sprinklerová hlavice*

a) Grinnellova hlavice se skleněným ventilem [8]

b) Moderní sprinklerová hlavice se skleněnou baňkou [16]

1881 Federrick Grinnell

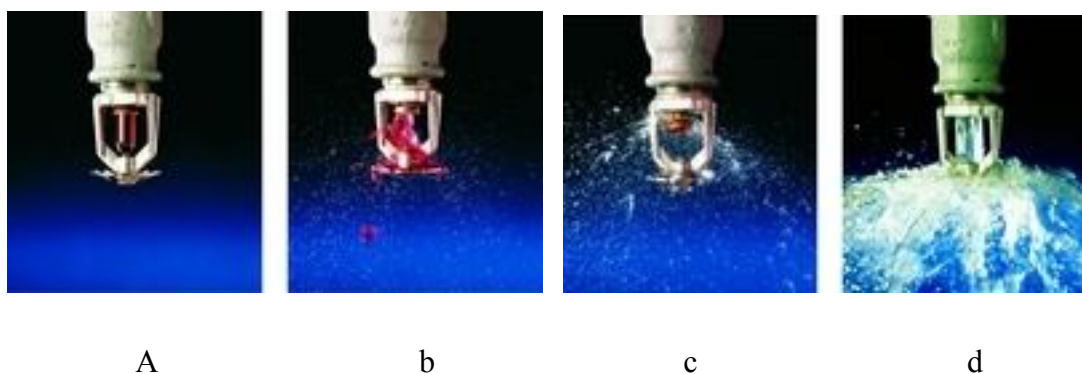
Velmi významným konstruktérem sprinklerových hlavice byl i Federick Grinnell. Ten se zaměřil hlavně na citlivost hlavice a rychlost reakce na požár. Stejně jako Parmelee, také Grinnell vynalezl několik druhů hlavice. Jeho nejlepším výrobkem byla sprinklerová hlavice se skleněným ventilem a tříštičem vody (Obr. 3-3a), která je již velmi podobná těm, které se používají dnes.

Moderní sprinklerové hlavice

V současnosti se vyrábí nesčetné množství různých druhů sprinklerových hlavice. Ty se liší například spouštěcím elementem, kterým může být skleněná baňka či tavná pojistka.

Dále rozlišujeme hlavice na jedno či více použití, hlavice s různými spouštěcími teplotami, různým průtokovým faktorem a odlišnou citlivostí.

V České republice je nejčastěji používaná jednorázová hlavice se skleněnou baňkou, v níž se nachází kapalina s vysokou roztažností. V případě požáru dojde k zahřátí a následnému roztažení kapaliny, čímž dojde k prasknutí baňky a následnému uvolnění ventilu, který brání průtoku kapaliny. Vzhledem k využívání jednorázových hlavice je třeba použité hlavice po požáru vyměnit za nové. Popsaný postup je znázorněn na obrázku 3-4. [15]



Obr. 3-4: *Průběh aktivace moderní sprinklerové hlavice* [18]

- a) *Fáze 1: Neporušená hlavice před aktivací*
- b) *Fáze 2: Prasknutí baňky a výtok kapaliny s velkou roztažností*
- c) *Fáze 3: Uvolnění ventilu*
- d) *Fáze 4: Vodní paprsek narážející na tříštič rozstřikující vodu na požár*

3.3 Druhy sprinklerových systémů

3.3.1. Mokrý systém

V případě mokré soustavy je celá potrubní síť naplněna tlakovou vodou. V případě aktivace hlavice může voda okamžitě proudit do ohniska požáru díky čemuž je tento druh sprinklerového zařízení využíván nejčastěji. Stálá přítomnost vody v potrubí má však jednu velkou nevýhodu, kterou je vliv okolní teploty. Díky tomu je možné mokrou soustavu navrhovat v prostorách se zabezpečenou teplotou od $+4^{\circ}\text{C}$ do $+95^{\circ}\text{C}$.

3.3.2. Suchá soustava

U suché soustavy je zařízení po ventilovou stanici naplněno, stejně jako je tomu u mokré soustavy, vodou pod tlakem, a dále nad ventilovou stanicí je v potrubním systému stlačený vzduch. Po aktivaci sprinklerové hlavice dojde k poklesu tlaku vzduchu v potrubí, čímž se otevře ventilová stanice a umožní tak proudění vody do systému. Problémem tohoto druhu sprinklerového systému je zpoždění, které představuje doba, než voda doteče potrubním systémem k příslušné hlavici. Z tohoto důvodu se suchá soustava využívá minimálně a to pouze v případě, že hrozí poškození mokré soustavy mrazem, nebo když je provozní teplota vyšší než 70 °C.

3.3.3. Smíšená soustava

Smíšená soustava představuje kombinaci suché a mokré sprinklerové soustavy. Jedná se o zařízení, které po dobu letních měsíců funguje jako mokrá soustava, tedy je celé naplněno tlakovou vodou, a přes zimní období potom jako soustava suchá. Tento druh bývá využíván například v prostorách podzemních parkovišť,

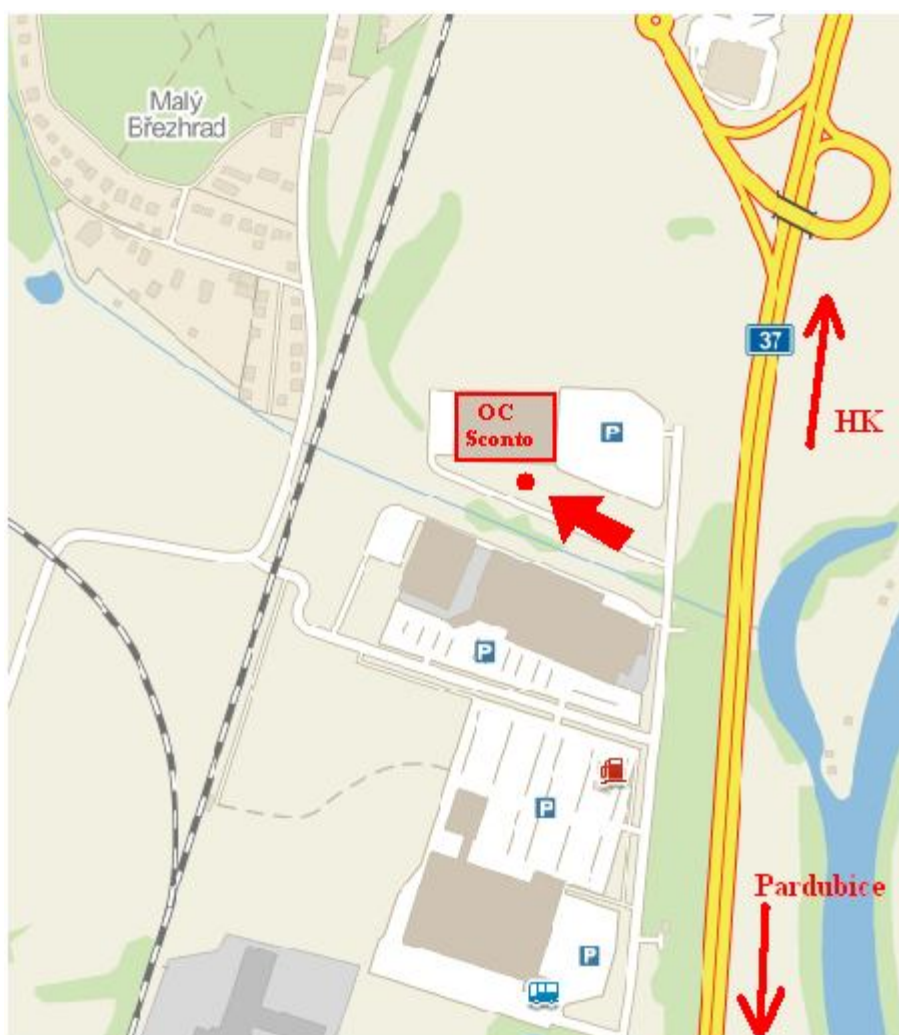
3.3.4. Soustava s předstihovým řízením

Tento druh hasicího systému je řešen jako suchá soustava, avšak na rozdíl od ní se ventilová stanice neaktivuje otevřením sprinklerové hlavice, nýbrž signálem ze samočinného detekčního zařízení, kterým může být například systém elektrické požární signalizace. Po otevření hlavice však musí být splněna ještě jedna podmínka, a tou je prasknutí tepelné pojistky. Teprve poté je spuštěna voda a hlavice může začít s hašením požáru. Soustava s předstihovým řízením je instalována v prostorách, kde se nachází drahá zařízení a je tedy žádoucí, aby bylo hašení zahájeno jen v případě skutečné hrozby. Předejde se tak škodám v případě nějaké poruchy hasicího zařízení. Těmito prostory jsou například archivy, knihovny či prostory s IT vybavením. [16]

4. SPRINKLEROVÁ NÁDRŽ

4.1 Předmět praktické části práce

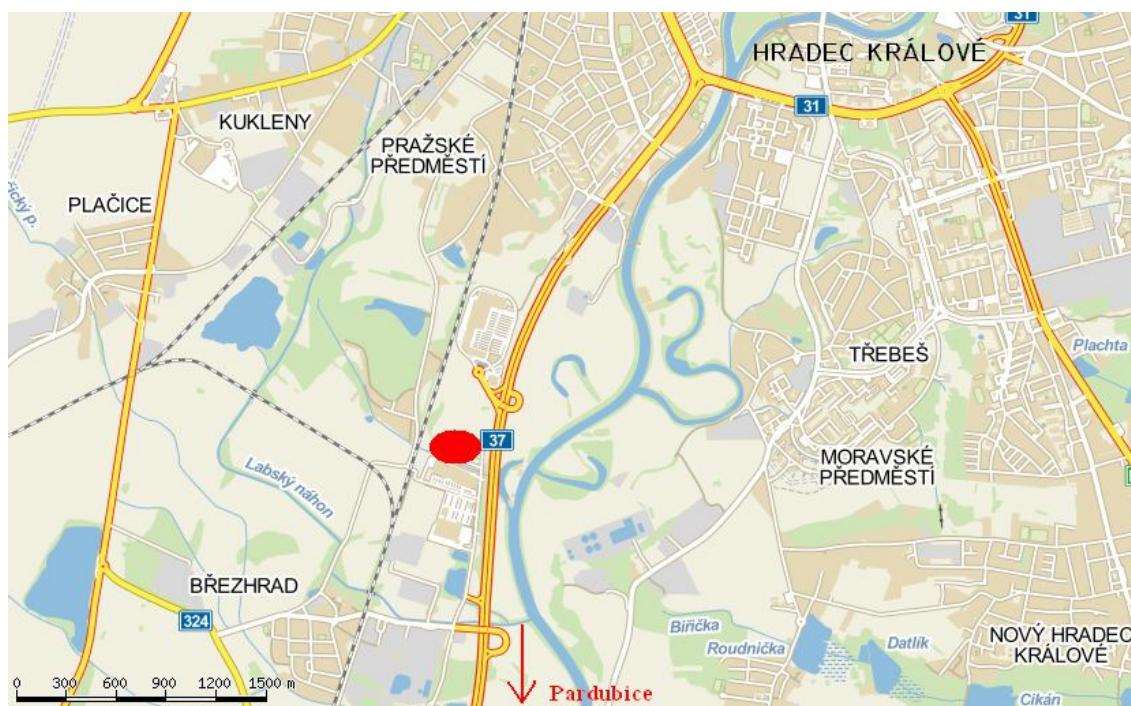
Předmětem praktické části této diplomové práce je požární nádrž pro sprinklerové hasicí zařízení v prodejně a skladu obchodního domu Sconto v Hradci Králové. Tato nádrž je provedena jako podzemní, umístěná mimo pojižděné plochy vedle objektu prodejny (Obr. 4-1), a to pomocí převrtávané pilotové stěny. Součástí projektu je rovněž konstrukce dna a stropu nádrže.



Obr. 4-1: Umístění nádrže vzhledem k OC Sconto 1:12 000 [19]

4.2 Lokalizace

Zájmové území pro výstavbu sprinklerové nádrže se nachází na jižním okraji Hradce Králové v prostoru městské komerční zóny. Tato zóna spadá pod katastrální území Březhrad. Východně od stavební lokality vede silnice I.třídy č. 37 Rašínova třída ve směru na Pardubice (Obr. 3-2). Požární nádrž je umístěna jižně od OC Sconto (Obr. 3-1).



Obr. 4-2: Mapa širších poměrů území 1:47 000 [19]

4.3 Geomorfologické poměry

Řešená lokalita náleží dle geomorfologického členění České republiky ke geomorfologickému celku Východolabská tabule s hierarchií viz Tab. 3-1.

Tab. 4-1: Zatřídění zájmové lokality do geomorfologie ČR [21]

Členění geomorfologie ČR	
Systém	HERCYNSKÝ
Subsystém	HERCYNSKÉ POHOŘÍ
Provincie	Česká vysočina
Subprovincie	Česká tabule
Oblast	Východočeská tabule
Celek	Východolabská tabule

4.4 Geologická stavba lokality

Konkrétní geologické poměry v prostoru staveniště byly dle IG Průzkumu [9] zjištěny jednak pomocí archivních průzkumů, dále pak z nového inženýrsko - geologického průzkumu, jež byl proveden firmou K+K environmentální průzkum s.r.o. V rámci tohoto průzkumu bylo realizováno pět jádrových vrtů dosahujících hloubky šest až patnáct metrů. Dále bylo provedeno osm sond kopaných a jedna sonda dynamické penetrace.

Nejspodnější vrstvu tvoří skalní podklad budovaný mezozoickými horninami křídového stáří, a to konkrétně slínovci teplického souvrství coniaqu. Tyto slínovce se zde vyskytují jak velmi, tak i mírně až slabě zvětralé.

Lokalita staveniště se nachází v rovinatém terénu široké údolní nivy řeky Labe a pokryvná vrstva je tudíž tvořena zejména fluvialními sedimenty. Tyto sedimenty se zde vyskytují ve formě pleistocenních terasových písků a štěrkopísků a v jejich nadloží jsou vyvinuty písčitojílovité sedimenty holocenního stáří tzv. povodňové hlíny.

Vzhledem k tomu, že má lokalita v současnosti podobu zemědělsky obdělávaného pole, je její nadloží tvořeno humózní hlínou. Ta však nemá zakládání žádný vliv, neboť v rámci přípravy staveniště bude provedena skrývka ornice a tato vrstva bude sejmuta.

Protokoly o vrtech, ze kterých se vycházelo při statickém výpočtu, jsou součástí Přílohy A.


Obr. 4-3: *Geologická mapa 1:50 000* [20]

Tab. 4-2: Legenda ke geologické mapě z obr. 4-3 [20]

	Nivní sediment
Eratém	Kenozoikum
Útvar	Kvartér
Oddělení	Holocén
Horniny	Hlína, písek, štěrk
Typ hornin	Sediment nezpevněný
Zrnitost	Hlína písek štěrk
Poznámka	Inundovaný za vyšších vodních stavů
Soustava	Český masív – pokryvné útvary a postvariské magmatity
Oblast	Kvartér

Tab. 4-3: Geologický profil v místě navrhované stavební jámy

Hloubka	Zatřídění*	Zatřídění**	Název	Konzistence/ ulehlost
0 – 6	F7 MH	CISi	Jíl	Konzistence tuhá
6 – 9,2	S3 SF	siSa	Slabě zahliněný písek	Ulehlý
9,2 – 12,3	G3 GF	sisGr	Slabě zahliněný písčitý štěrk	Ulehlý
12,1 – 12,9	R6	R6	Velmi zvětralý slínovec	-
12,9 – 16,5	R5	R5	Mírně zvětralý slínovec	-

* Pojmenováno dle ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy

**Zatříděno dle ČSN EN ISO 14688-2 Pojmenování a zařizování zemín

4.5 Hydrogeologické poměry

Slínovce, jež se nachází v podloží staveniště, jsou popsány jako mírně až velmi zvětralé s úlomkovitým rozpadem. Je třeba, přestože se jedná o poloskalní horniny, uvažovat u těchto hornin s puklinovou propustností. Nad nimi je voda vázána na omezeně průlinově propustné holocenní a pleistocenní sedimenty. Zdrojem vody jsou převážně vodoteče či voda srážková. Díky mírnému uklonění terénu proudí podzemní voda na jihovýchod směrem k řece Labe. V době maximálního průtoku a zvýšené hladiny vody v řece může docházet naopak ke zpětnému toku vody směrem od vodoteče. Dá se říci, že se jedná o vodu poříční.

Ve všech vrtech se hladina podzemní vody ustálila v hloubce 0,8 – 0,85 m pod terénem. Avšak dle zpracovatele průzkumu lze tento stav považovat spíše za průměrný s možností vystoupení úrovně hladiny podzemní vody až po stávající terén.

Během IG průzkumu byla také zjišťována agresivita podzemní vody na betonové konstrukce. Ta byla, dle ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, stanovena jako stupeň XA1 – slabě agresivní a neagresivní. Vzhledem k nízkým hodnotám, pohybujícím se pod úrovní slabě agresivní vody, lze podzemní vodu označit jako neagresivní.



Obr. 4-4: *Zvětralé slínovce nacházející se v zájmové lokalitě*

4.6 Základové poměry

Základové poměry se zde na základě provedeného průzkumu hodnotí jako složité a je tudíž třeba při zakládání postupovat dle zásad III. geotechnické kategorie. Hlavním důvodem je zejména úroveň hladiny podzemní vody, která se nachází velmi mělko pod terénem, a to 0,8 až 0,85 m. Výška vodního sloupce ke dnu nádrže společně s puklinovou propustností podložních slínovců komplikuje zejména výstavbu dna nádrže, na které tak působí velký vztlak.

5. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ SPRINKLEROVÉ NÁDRŽE

5.1 Požadavky na konstrukci

Hlavním požadavkem při zadání projektu této diplomové práce bylo navrhnout nádrž pro požární zabezpečení areálu obchodního domu Sconto. V této nádrži musí být dle ČSN EN 73 0873 Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou zajištěna stálá zásoba vody o využitelném objemu minimálně 722 m³. Nádrž má být provedena jako podzemní, krytá a umístěna mimo pojížděné plochy vedle objektu obchodního domu. Dalším požadavkem je, aby pažení stěny stavební jámy sloužilo zároveň jako stěny nádrže. Pažící konstrukci je tedy nutno navrhnout jako trvalou, vodotěsnou konstrukci, která bude dostatečně stabilní jak ve fázi výstavby, tak i v provozním stavu.

5.2 Volba pažící konstrukce

Cílem návrhu bylo najít takové řešení, které bude splňovat všechny statické a technické požadavky a zároveň bude ekonomicky nejvýhodnější. Vzhledem k zastížené vysoké hladině podzemní vody je nutné brát v potaz velký tlak vody, který nadměrně zatěžuje stěny nádrže. To byl také hlavní důvod, proč byl zvolen staticky velmi výhodný kruhový půdorys nádrže. Tím se výběr metody pažení stěn nádrže zúžil na takové konstrukce, které jsou schopné tento kruhový půdorys vytvořit. Jedná se o metody popsané v kapitole 2.3.

Jako nejméně vhodná varianta se jeví podzemní stěna, a to jak z ekonomického, tak časového hlediska. Technologie výstavby podzemní stěny je poměrně složitá, což s sebou přináší nejen větší finanční náročnost, ale také prodloužení doby výstavby. Nepříliš vhodnou variantu představuje také trysková injektáž, jejíž nevýhodou je malá tuhost. Vzhledem k hloubce nádrže, která je téměř 13 m, by bylo třeba sloupy tryskové injektáže ztužit, popřípadě kotvit, což by ovšem přineslo další zdražení už tak finančně nákladné metody. Dalším důvodem, proč nesáhnout po tryskové injektáži je poloskalní podloží, které pro tuto metodu není příliš vhodné a vede k dalšímu nežádoucímu

zdražení. Nejvhodnější metodou se tedy zdá být stěna z převrtávaných pilot. Tato metoda je nejen rychlá a finančně přijatelná, ale velkou roli sehrály také předchozí kladné zkušenosti s pilotovým zakládáním v areálu městské komerční zóny Hradce Králové. Toto řešení podpořil i fakt, že výstavbě nádrže těsně předcházelo zakládání objektu Sconto, pro který je tato nádrž určena, a bylo tudíž výhodné využít tutéž vrtnou soupravu, jež byla použita při zakládání obchodního centra.

5.3 Zvolené řešení stěn nádrže

S přihlédnutím k výše uvedeným faktorům, které hrály roli ve volbě zajištění stěn sprinklerové nádrže, byla konstrukce navržena z převrtávaných pilot profilu 900 mm.

Vzhledem k požadavku na minimální využitelný objem nádrže 722 m³ bylo potřeba optimálně zvolit poměr hloubky a průměru nádrže. Jak již bylo zmíněno v úvodu této diplomové práce, je s ohledem na technologii provádění pažení stěn nádrže velmi výhodné zvolit takovou délku pilot, aby byly jejich paty ukončeny ve skalním respektive poloskalním podloží raději než ve zvodnělé šterkové terase. Na základě tohoto požadavku byla stanovena délka pilot cca 15 m. K této délce byl s přihlédnutím k požadavku na zajištění minimálního odčerpatelného objemu nádrže navržen průměr na osu pilot 10,3 m.

Při profilu pilot 900 mm je tedy vnitřní průměr 9,4 m a půdorysná plocha zvětšená o plochy mezi pilotami činí 71 m². Aby byl tedy zajištěn minimální využitelný neboli vyčerpatelný objem nádrže a zároveň dodržen stálý nevyčerpatelný objem, byl horní líc desky dna nádrže, jak je patrné z obrázku 5-2, umístěn na kótu 214,6, tedy do hloubky 11,3 m pod horní hranu piloty. Celková výška vody v nádrži je tak 11,2 m, z toho nevyčerpatelná výška 1 m a vyčerpatelná výška 10,2 m. Vyčerpatelný objem je tedy 724,2 m³.

$$V_{\text{vyčerpatelný}} = A \cdot h$$

$$V_{\text{vyčerpatelný}} = 71 \cdot 10,2$$

$$V_{\text{vyčerpatelný}} = 724,2 \text{ m}^3 > V_{\text{min.vyčerpatelný}} = 722 \text{ m}^3$$

Základová deska byla navržena tloušťky 1 m a piloty jsou zapuštěny 3 m pod dolní líc této desky. Celková délka pilot činí 15,3 m. Ty jsou svými osami situovány na kružnici o průměru 10,3 m. Osová vzdálenost pilot na této kružnici je 735 mm. Převrtání je tedy 165 mm a projektovaná tloušťka stěny v místě převrtu je 520 mm. Při tomto rozmístění vychází na kružnici 22 kusů primárních pilot nevyztužených a 22 kusů sekundárních pilot vyztužených. Piloty jsou provedeny z betonu C25/30 a armokoše z třídy oceli R10 505. V horním líci pilot je navržen ztužující prvek v podobě ŽB převázky sloužící k přenosu případných dalších zatížení, jako například od provozu jeřábů či nákladní dopravy, v okolí nádrže a také k uložení stropního průvlaku. V převázce je navržen prostup osazený PE trubicou DN90 sloužící pro nouzový přepad vody z nádrže, který je zdokumentován na obrázku 5-1.



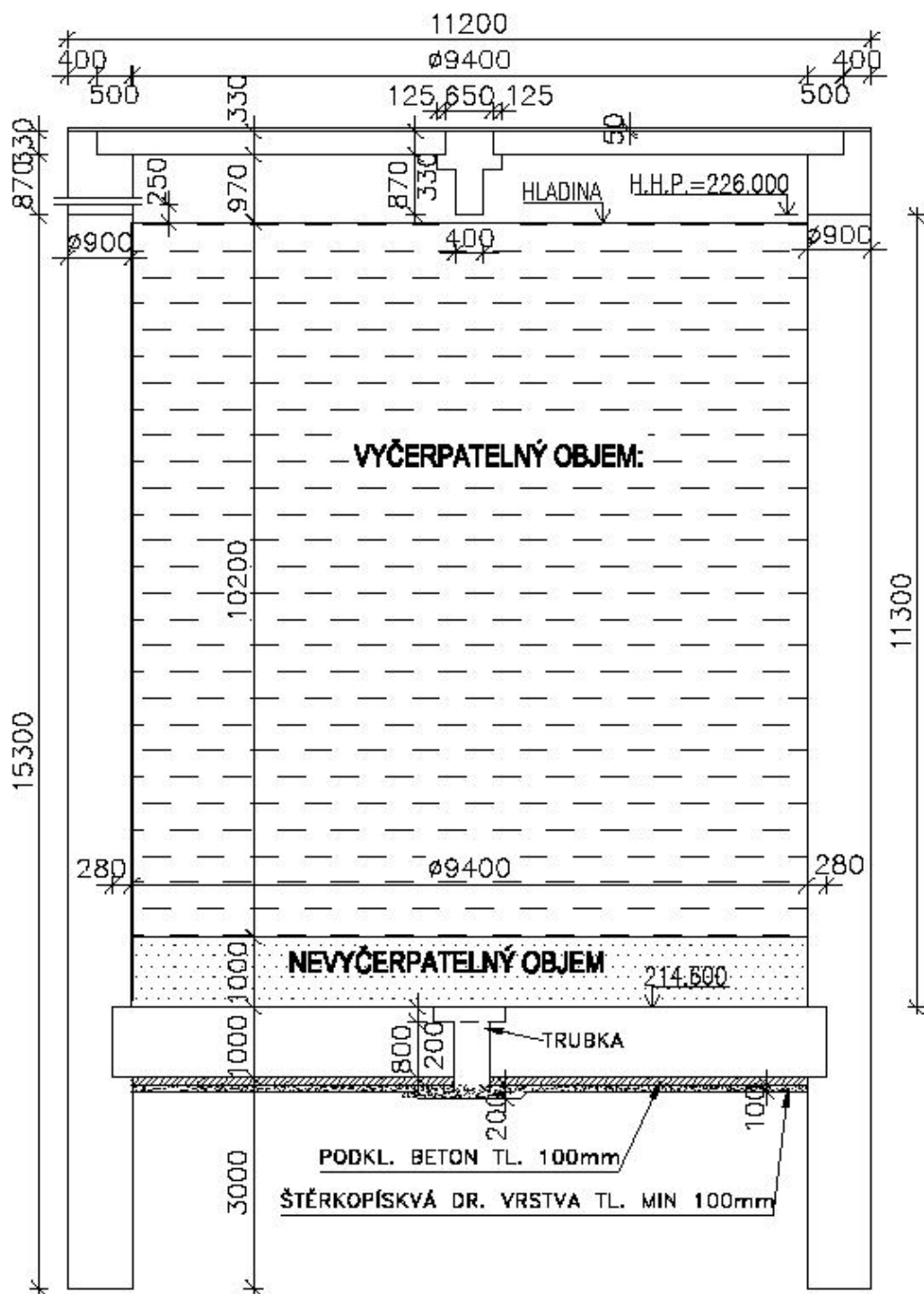
a

b

Obr. 5-1: Osazení PE trubky nouzového přepadu

a) Před zabetonováním do převázky

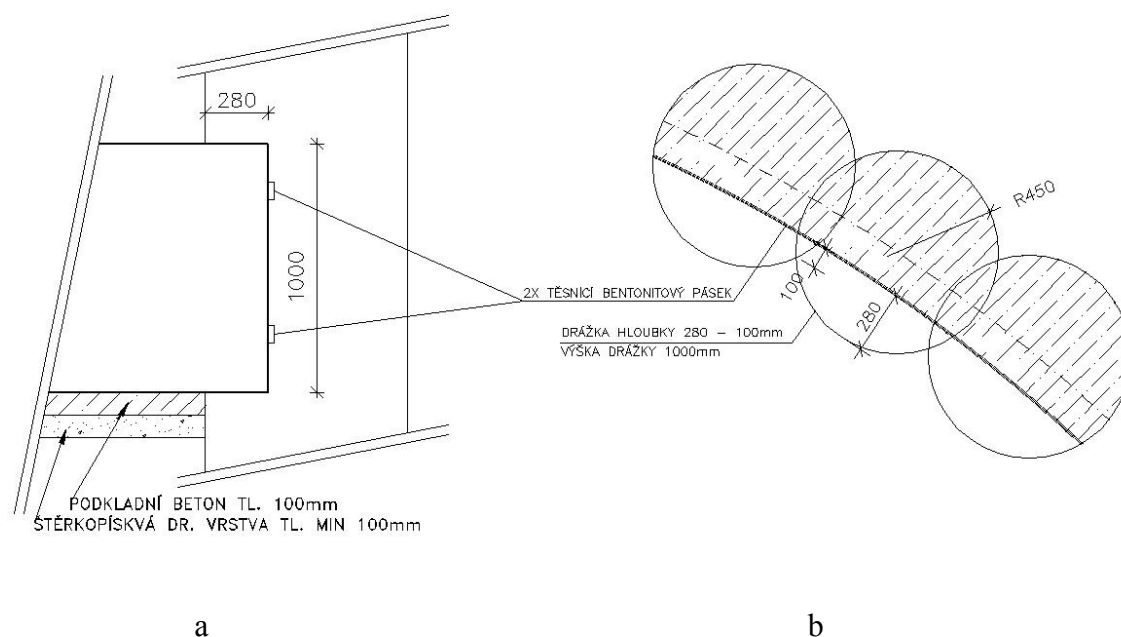
b) Po betonáži převázky



Obr. 5-2: Schéma podélného řezu nádrže s vyznačením vyčerpatelného a nevyčerpatelného objemu nádrže

5.4 Zvolené řešení dna nádrže

Jak již bylo zmíněno výše, základová deska byla navržena tloušťky 1 m. Jedná se o desku ŽB vyztuženou u obou okrajů. Beton desky je stejně jako v případě pilot třídy C25/30 XA1. Ze statického hlediska a pro dosažení maximální nepropustnosti nádrže, je třeba desku zapustit do pilotové stěny. Při provádění je tedy na celou výšku základové desky vysekána drážka hloubky 280 mm, v místě převru pilot 100 mm, do které jsou vloženy dva těsnící bentonitové pásy.



Obr. 5-3: Detail zapuštění desky dna do pilotové stěny

a) řez

b) půdorys



Obr. 5-4: Těsnicí bentonitový pásek uložený ve vysekané drážce v pilotové stěně

Vzhledem k ustálené hladině vody 0,8 m pod horní hranou pilot je základová deska namáhána vztlakem podzemní vody. Aby deska nebyla porušena před dosažením 100 % pevnosti betonu, tak je třeba ve dně nádrže osadit trubku, skrz kterou bude odčerpávána podzemní voda a tím snižován tlak podzemní vody po dobu provádění dna nádrže a během tuhnutí betonu. Pod ŽB desku dna je navržen štěrkopískový podsyp, který složí jako drenáž a zabezpečuje tak průchod vody k trubce. Tloušťka této drenážní vrstvy je 100 mm a v místě osazení průchodky je rozšířena na 150 mm. Na tuto vrstvu bude po osazení trubky položena vrstva podkladního betonu tloušťky 100 mm, na kterou bude osazena a následně zabetonována výztuž desky. Po dosažení 100 % pevnosti betonu bude průchodka zabetonována a zavařena a deska dna tak bude odolávat celému nesníženému tlaku podzemní vody.



a

b

Obr. 5-5: *Průchodka na snižování vzlaku podzemní vody před dosažením 100 % pevnosti betonu*

a) Pokládka podkladního betonu na štěrkopískovou drenážní vrstvu

b) Detail průchodky před zabetonováním dna nádrže

5.5 Zvolené řešení stropu nádrže

Vzhledem k požadavku, aby byla nádrž krytá, bylo potřeba navrhnout jí zastřešení. Autorka při návrhu zvažovala dvě možné alternativy. První z nich představuje monolitická ŽB desku. Tato varianta je velmi rychlá a finančně příznivá, avšak pro konstrukci, již se zabývá tato práce, není příliš vhodná. Důvodem je velká hloubka nádrže, pro kterou je potřeba sehnat dostatečně vysoké podpůrné spojky a následná ruční demontáž těchto spojek a bednění po zhotovení stropu. Proto bylo od této varianty upuštěno.

Druhou a finální alternativou je strop z panelů Spiroll PPS 330-11+2. Ty jsou uloženy kolmo na ŽB prefabrikovaný průvlak, který je uložen na piloty do drážky v převázce, jak je patrné z obrázku 5-5. V místě styků panelů bude aplikována cementová zálivka s výztuží z prutů R12. Na krajích nádrže bude Spiroll panel nahrazen prefabrikovanými prvky, z nichž jež je jeden opatřen studničním otvorem o rozměrech 1200 x 600 mm,

který bude sloužit k revizi nádrže. Na povrch panelů i prefabrikátů bude nanесena vrstva betonu třídy C25/30 XA1. Tato vrstva má tloušťku 50 mm a je vyztužena kari sítěmi o průměru 6 mm s roztečí ok 150/150 mm a minimálním přesahem sítí 3 oka.



Obr. 5-6: Převázka v hlavě pilot s drážkou pro uložení stropního průvlaku

6. STATICKÝ VÝPOČET

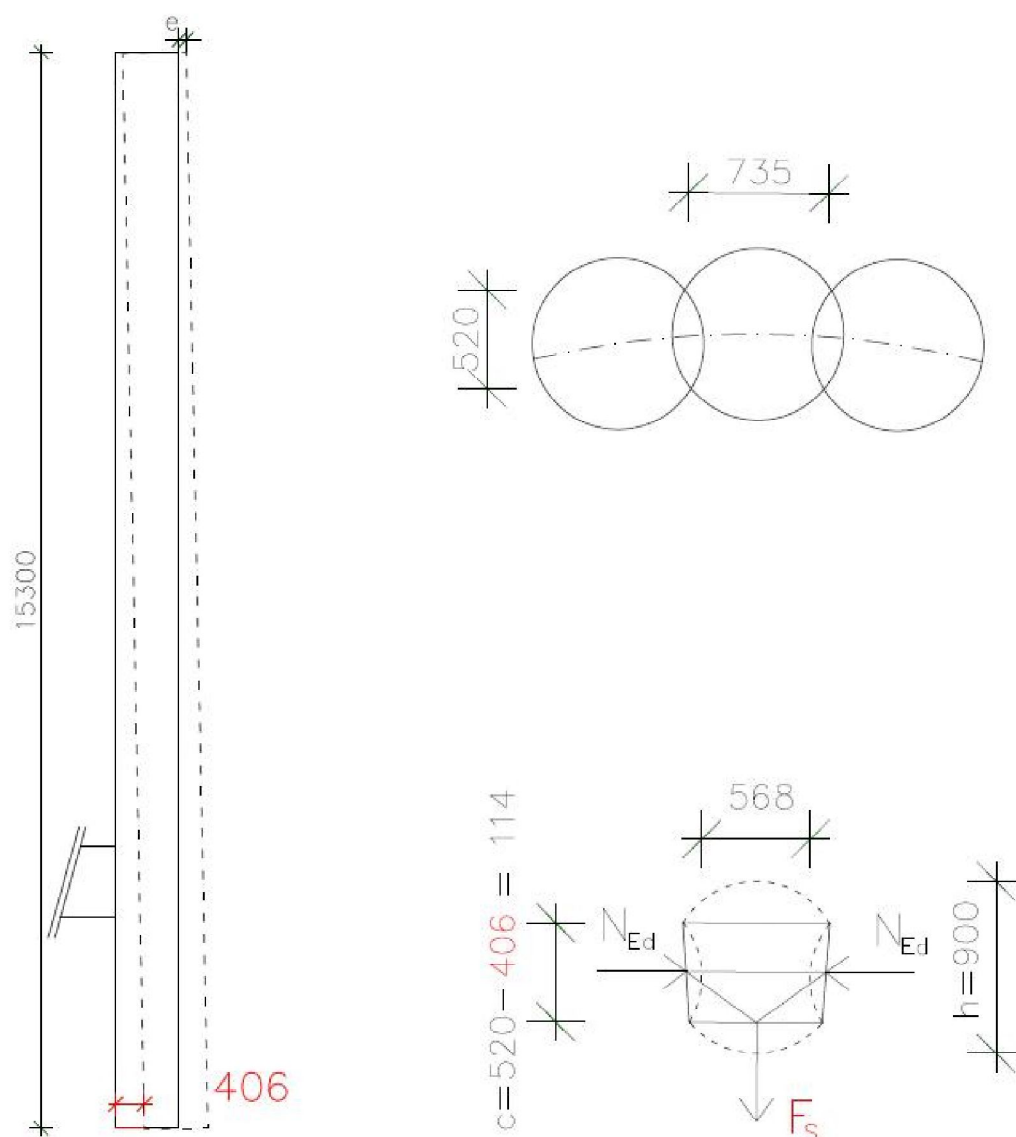
Statickým výpočtem byl proveden návrh a posudek rozhodujících všech částí konstrukce. Ty byly navrženy tak, aby byly minimalizovány deformace a zároveň bylo dosaženo dimenzovatelných momentů na konstrukci.

6.1 Posouzení stěny nádrže

6.1.1 Posudek betonu primární piloty na příčný tah

Statický výpočet převrtávané pilotové stěny vychází z již dříve několikrát zmíněného principu chování kruhového objektu. To znamená, že při rovnoměrném zatížení po obvodu vznikají v průřezu pouze osově síly. V praxi však během provádění konstrukce může docházet k odchylkám od navrženého půdorysného umístění a svislosti pilot. To vede ke zmenšení kontaktní plochy v místě převrtání pilot a díky tomu může v betonu primárních nevyztužených pilot vznikat příčný tah. Dle normy ČSN EN 1536 (73

10361) pro provádění vrtaných pilot je třeba uvažovat, nestanoví-li realizační dokumentace jinak, polohovou odchylku svislé piloty od projektované pozice v místě pracovní plošiny $e_{\max} = 0,1$ m a odchylku ve sklonu od svislice 2%. S ohledem na tyto hodnoty byl beton nevyztužené piloty na příčný tah posouzen [25]. Poloha piloty při maximálním pootočení a posunutí od projektované polohy je vidět na obrázku 6.1.



Obr. 6-1: Schéma vychýlení pilot od projektované polohy

Výpočet příčné tahové síly

$$F_s = 0,25 \cdot \left(1 - \frac{c}{h}\right) \cdot N_{Ed}$$

$$F_s = 0,25 \cdot \left(1 - \frac{520 - 406}{900}\right) \cdot 781,53$$

$$F_s = 170,63 \text{ kN}$$

kde N_{Ed} normálová síla v pilotách [kN]

$$N_{Ed} \equiv p \cdot R$$

$$N_{Ed} \equiv 151,75 \cdot 5,15$$

$$N_{Ed} \equiv 781,53 \text{ kN}$$

kde p maximální zemní tlak na pilotovou stěnu [kPa]

R poloměr kružnice, na níž jsou umístěny osy pilot [m]

$$\sigma_{td} = \frac{F_s}{A_d}$$

$$\sigma_{td} = \frac{170,63}{0,568 \cdot 1,0}$$

$$\sigma_{td} = 0,3 \text{ MPa}$$

Výpočet návrhové pevnosti betonu v tahu

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk0,05}}{\gamma_c}$$

$$f_{ctd} = \frac{1,8}{1,5}$$

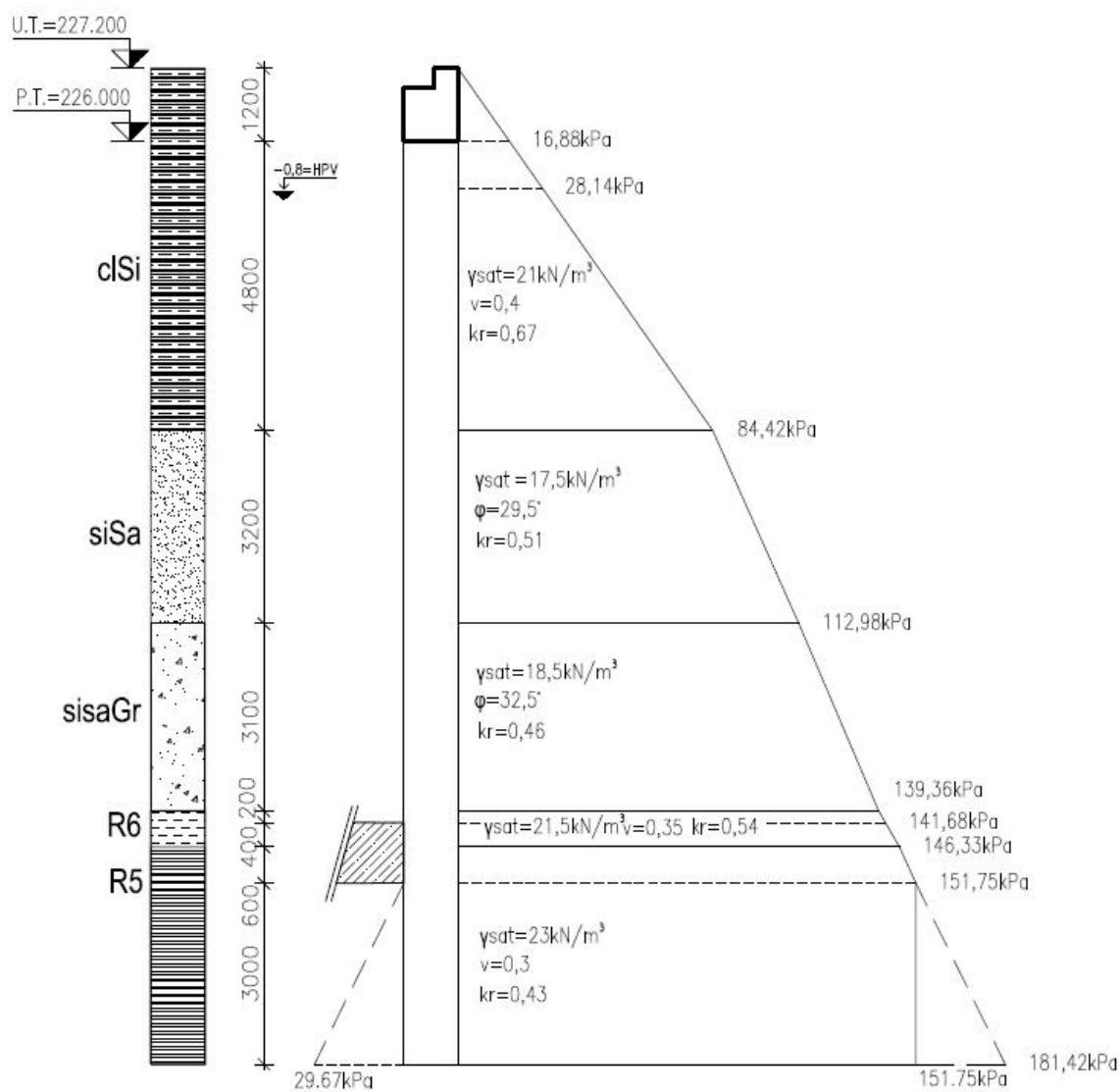
$$f_{ctd} = 1,2 \text{ MPa}$$

Posudek betonu primární piloty na příčný tah

$$\sigma_{td} \leq f_{ctd}$$

$$0,3 \text{ MPa} < 1,2 \text{ MPa}$$

primární nevyztužená pilota vyhoví na příčný tah



Obr. 6-2: Schéma zatížení konstrukce zemním tlakem

Pro výpočet zemních tlaků, které lze vidět na obrázku 6-1, byl na základě sond, jež byly provedeny v rámci IG průzkumu, sestaven geologický profil (Tab. 4-3). Hlavními sondami, ze kterých při sestavování geologického profilu a stanovování parametrů zemin autorka vycházela, jsou kopaná sonda K10 a jádrový vrt J5. Tyto sondy jsou součástí přílohy A. Přehled o stanovených parametrech zemin, které byly použity ve výpočtu, udává Tabulka 6-1.

Tab. 4-3: Geologický profil v místě navrhované stavební jámy

Hloubka	Zatřídění*	Zatřídění**	Název	Konzistence/ ulehlost
0 – 6	F7 MH	clSi	Jíl	Konzistence tuhá
6 – 9,2	S3 SF	siSa	Slabě zahliněný písek	Ulehlý
9,2 – 12,3	G3 GF	sisGr	Slabě zahliněný písčitý štěrk	Ulehlý
12,3 – 12,9	R6	R6	Velmi zvětralý slínovec	-
12,9 – 16,5	R5	R5	Mírně zvětralý slínovec	-

Tab. 6-1: Parametry zemin z tabulky 4-3

Zatřídění*			clSi	siSa	sisGr	R6	R5
Zatřídění**			F7 MH	S3 SF	G3 GF	R6	R5
Objemová tíha	γ	[kN/m ³]	21	17,5	18,5	21,5	23
Konzistence / ulehlost	-	-	tuhý	ulehlý	ulehlý	-	-
Úhel vnitřního tření	φ'	°	17	29,5	32,5	25	25
Soudržnost	c'	kPa	7	-	-	20	25
Zemina / hornina	-	-	soudržná	nesoudržná	nesoudržná	poloskalní	poloskalní
Poissonovo číslo	ν	-	0,4	0,3	0,25	0,35	0,3
Souč. zemního tlaku v klidu	K_r	-	0,67	0,51	0,46	0,54	0,43
Obj. tíha saturevané zeminy	γ_{sat}	[kN/m ³]	21	20,5	20,5	21,5	23

* Pojmenováno dle ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy

**Zatříděno dle ČSN EN ISO 14688-2 Pojmenování a zařizování zemin

Při stanovování zemního tlaku byla převrtávaná pilotová stěna uvažována jako tuhá a nepoddajná konstrukce, tudíž byl ve výpočtu uvažován zemní tlak v klidu σ_0 , při kterém nedochází k vzájemnému posunu zeminy a konstrukce.

Postup výpočtu zemní tlaku v klidu

$$\sigma_0 = \sigma_z \cdot K_0$$

kde σ_zsvislé geostatické napětí [kPa]
 K_0součinitel zemního tlaku v klidu [-]

$$\sigma_z = \gamma \cdot h$$

kde γobjemová tíha zeminy [kN/m³]
 hmocnost zeminy [m]

Stanovení součinitele zemního tlaku v klidu

Součinitel zemního tlaku v klidu, neboli součinitele vodorovného napětí, se stanoví rozdílně pro soudržné a nesoudržné zeminy. Pro soudržné zeminy je uvažován vztah dle Terzaghiho

$$K_0 = \frac{\nu}{1-\nu}$$

V případě nesoudržných zemin se počítá se vzorcem dle Jákyho

$$K_0 = 1 - \sin \varphi$$

Tab. 6-2: Výpočet součinitele zemního tlaku v klidu
použitého ve výpočtu zemní tlaku na stěnu nádrže

Zatřídění	Výpočet dle	Výpočet	K_0
clSi	Terzaghi	$\frac{0,4}{1-0,4}$	0,67
siSa	Jáky	$1-\sin 29,5$	0,51
sisGr	Jáky	$1-\sin 32,5$	0,46
R6	Terzaghi	$\frac{0,35}{1-0,35}$	0,54
R5	Terzaghi	$\frac{0,3}{1-0,3}$	0,43

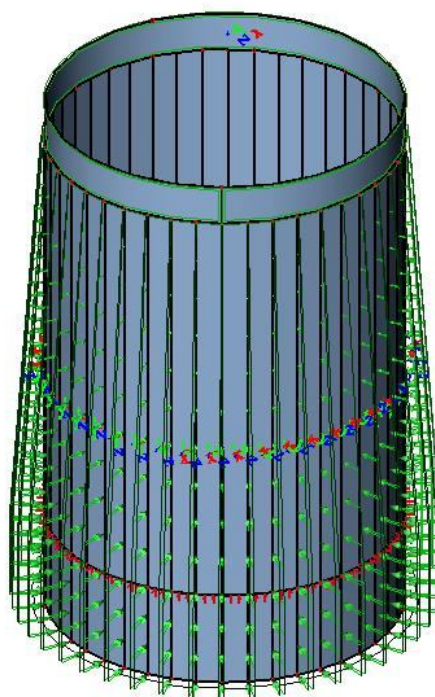
6.1.2 Model

Pro ověření statického působení konstrukce byl sestaven prostorový model celé konstrukce v programu Scia Engineer 2013. Piloty byly nahrazeny stěnovými prvky, u kterých bylo pomocí rozdílu ohybové tuhosti nevyztužené primární piloty a vyztužené sekundární piloty určeny náhradní tloušťky. V patě je vyloučen svislý posun ve směru z. Převážka v hlavě pilot byla modelována jako průběžný stěnový prvek. Součástí modelu je i dno nádrže, které je tvořeno plochou připojenou k pilotám pomocí prvku průnik.

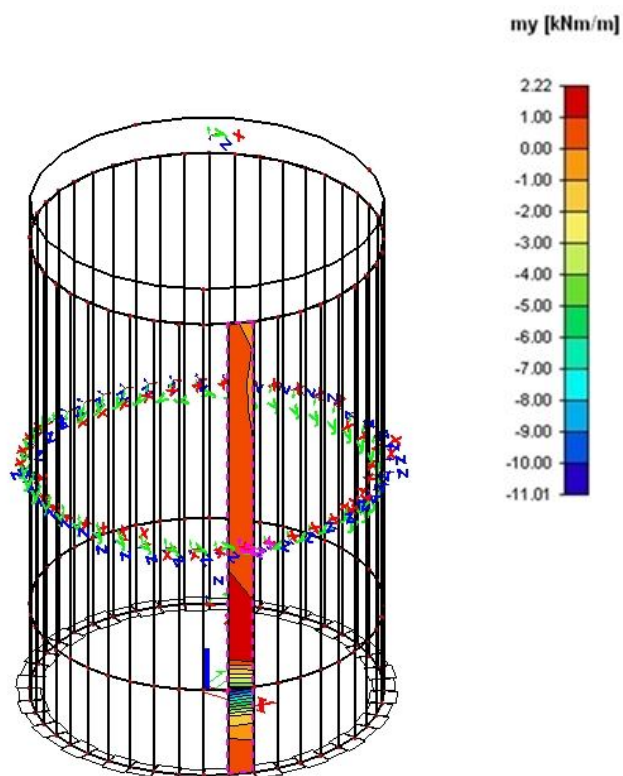
Z modelu je patrné, že vlivem klenbového efektu dochází na konstrukci k výše zmíněné eliminaci ohybových momentů. Na obrázku 6-3 sice momenty vznikají, avšak pouze velmi malé. Maximální moment vznikající na konstrukci je $M_y = -11 \text{ kN/m}$. Na obrázku 6-4 ale můžeme pozorovat normálové síly, jež jsou vyvolané normálovým vodorovným napětím působícím na konstrukci nádrže. Maximální normálová síla je dle modelu pod úrovní dna a má velikost $N_y = 788,72 \text{ kN}$. Tuto sílu můžeme ověřit pomocí následujícího vzorce, kde p [kPa] reprezentuje maximální zemní tlak a R poloměr [m].

$$N = p \cdot R$$

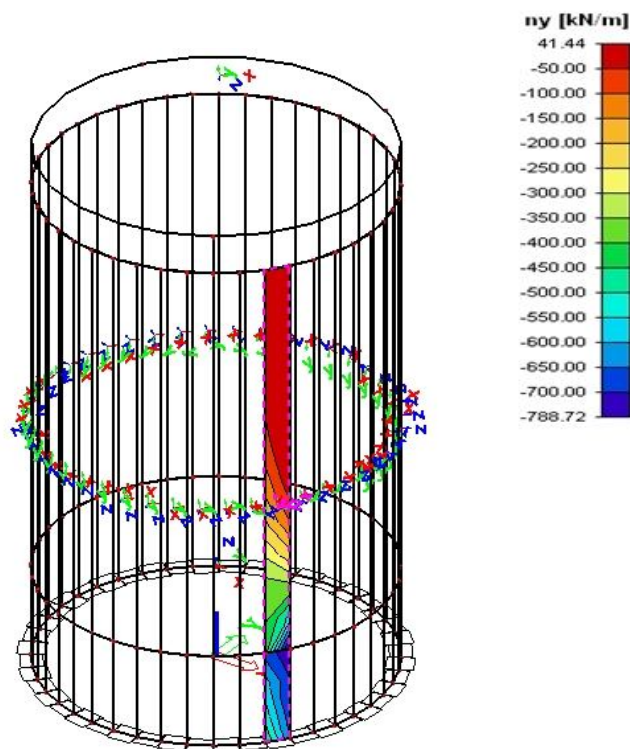
$$N_y = 151,75 \cdot 5,15 = 781,51 \text{ kN} \cong 788,72 \text{ kN}$$



Obr. 2-1: Model nádrže s naneseným zatížením (Scia Engineer 2013)



Obr. 2-2: Vnitřní síly na modelu nádrže – M_y (Scia Engineer 2013)



Obr. 6-3: Vnitřní síly na modelu nádrže – N_y (Scia Engineer 2013)

6.2 Posouzení konstrukce stropu nádrže

Další částí statického výpočtu představuje posudek stropu nádrže, který byl proveden nejprve v programu Scia Engineer 2013, kde byl posouzen stropní průvlak, který byl následně vyztužen s využitím programu FIN EC – Beton 3D.

Prvním krokem výpočtu železobetonového stropního průvlaku bylo stanovení zatížení. Strop je dimenzován na zatížení vlastní tíhou, tíhou zeminy do maximální výšky 0,5 m, nahodilým zatížením na pochůzná ploše v maximální hodnotě 5 kN/m^2 a sněhem. Vzhledem k vyloučení dopravy v místě nádrže není strop na toto zatížení dimenzován. Výpočet zatížení je v tabulce 6-3.

Tab. 6-3: Výpočet stálého zatížení na strop nádrže

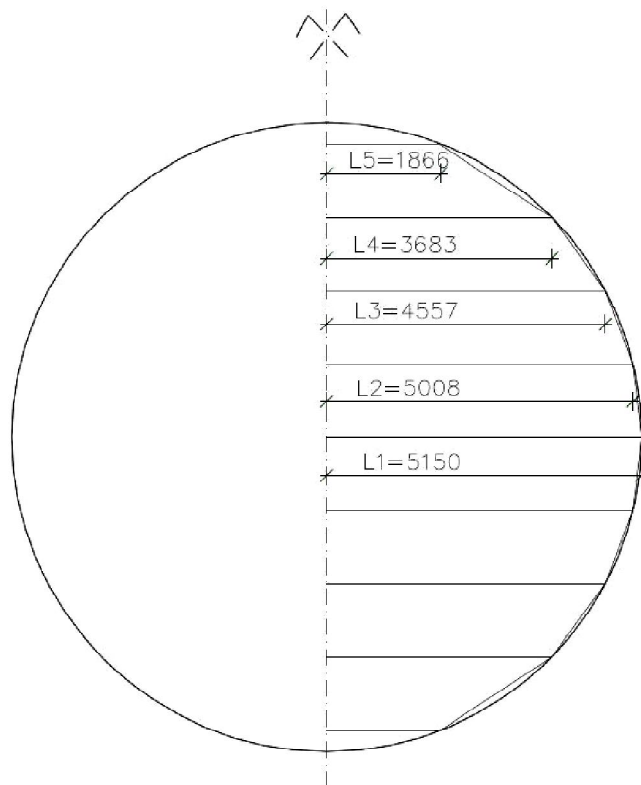
Sálé atížení na průvlak	g_k [kNm ⁻²]	γ_G [-]	g_d [kNm ⁻²]
Spiroll panel	4,53	1,35	6,1155
Zemina výšky 0,5 m	10	1,35	13,5
	14,53		19,6155

Tab. 6-4: Výpočet proměnného zatížení na strop nádrže

Proměnné zatížení na průvlak	q_k [kNm ⁻²]	γ_Q [-]	q_d [kNm ⁻²]
Nahodilé zatížení	5	1,5	7,5
Sníh	0,8	1,5	1,2
	5,8		8,7

Dále byly Spiroll panely nahrazeny prostými nosníky a na nich byla spočítána reakce R, která reprezentuje zatížení, jež přenáší průvlak. Zatěžovací schéma i náhradní nosník





Obr. 6-6: Rozpětí náhradních prostých nosníků

Výpočet reakcí na prostém nosníku

$$R_i = \frac{(g + q) \cdot L_i}{2}$$

$$R_1 = \frac{(19,62 + 8,7) \cdot 5,150}{2} = 72,92 \text{ kN}$$

$$R_2 = \frac{(19,62 + 8,7) \cdot 5,008}{2} = 70,91 \text{ kN}$$

$$R_3 = \frac{(19,62 + 8,7) \cdot 4,557}{2} = 64,53 \text{ kN}$$

$$R_4 = \frac{(19,62 + 8,7) \cdot 3,683}{2} = 46,63 \text{ kN}$$

$$R_5 = \frac{(19,62 + 8,7) \cdot 1,866}{2} = 26,42 \text{ kN}$$

Vzhledem k tomu, že na průvlaku leží vždy dva panely, každý z jedné strany, působí na nosník reakce dvojnásobná.

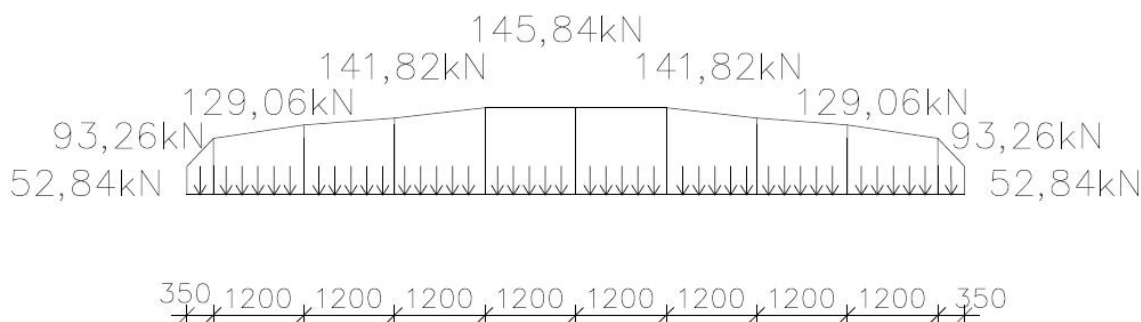
$$R_1 \times 2 = 145,84 \text{ kN}$$

$$R_2 \times 2 = 141,82 \text{ kN}$$

$$R_3 \times 2 = 129,06 \text{ kN}$$

$$R_4 \times 2 = 93,26 \text{ kN}$$

$$R_5 \times 2 = 52,84 \text{ kN}$$



Obr. 6-7: Schéma zatížení na průvlak

Průvlak i zatížení, které je patrné z obrázku 6-6, byl následně vymodelován v programu Scia Engineer 2013. Výpočtem byly zjištěny momenty i posouvající síly. Maximální návrhový moment na nosníku byl $M_d = 2106,83 \text{ kNm}$ a posouvající síla $V_d = 764,24 \text{ kN}$. Na tyto zjištěné hodnoty byl následně proveden návrh a posudek vyztužení průřezu v programu Beton 3D. Protokoly o statickém výpočtu jsou součástí přílohy A.

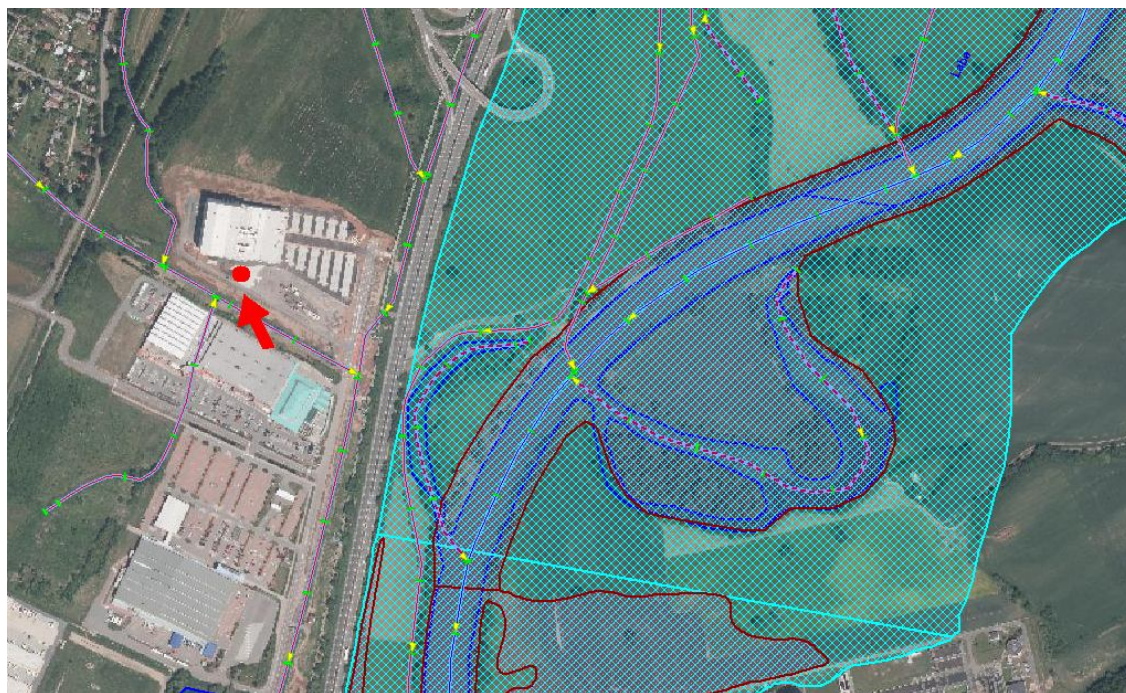
6.3 Konstrukce dna nádrže

V případě posouzení dna nádrže byl vzhledem k vysoké hladině podzemní vody rozhodujícím faktorem vztlak podzemní vody. Na ten bylo dno dimenzováno a posouzeno, a to opět s využitím programů Scia a Beton 3D.

6.3.1 Vztlak

Zakládání staveb je založeno na principu mezních stavů základové půdy a stavební konstrukce. Rozlišujeme dva mezní stavy, a to mezní stav porušení a mezní stav použitelnosti. Jeden z mezních stavů porušení je UPL. Tato zkratka pochází z anglického slova uplift neboli zvedání či vztlak a představuje ztrátu rovnováhy konstrukce nebo základové půdy, jež nastává vlivem vztlaku vody nebo jiných svislých zatížení. V geotechnické praxi se tento mezní stav nevyskytuje příliš často, avšak v této diplomové práci hraje ve statickém výpočtu zásadní roli.

Základová deska nádrže se nachází pod hladinou podzemní vody, jejíž ustálená hladina byla dle inženýrsko-geologického průzkumu zastižena 0,8 m pod stávajícím terénem. Vodní sloupec má tedy vzhledem ke dnu nádrže výšku 11,5 m. Avšak z popisu hydrogeologických poměrů v zájmové lokalitě vyplývá, že tento stav se může při jiných klimatických podmínkách změnit a hladina podzemní vody se tak může zvýšit. Autorka tedy zjišťovala ve Státním podniku Povodí Labe [22] maximální hladinu při Q100, tedy při stoleté vodě, v místě navrhované konstrukce. Tato lokalita, jak je patrné z obrázku 6-7, se nachází mimo záplavové území a maximální hladina podzemní vody při Q100 dosahuje úrovně stávajícího terénu. Maximální vodní sloupec vzhledem ke dnu nádrže je při uvažování hladiny podzemní vody v úrovni terénu 12,3 m, což je oproti stavu z inženýrského průzkumu rozdíl hladin 0,8 m.



Obr. 6-8: Záplavové území v zájmové lokalitě při Q_{100} [22]

Desku je tedy potřeba navrhnout tak, aby měla dostatečnou hmotnost a byla tak schopná odolávat vztlaku vlastní tíhou. Návrh je proveden na nejnepříznivější fázi, tedy před naplněním nádrže vodou. Při ověření vztlaku je dle Eurokódu 7: Navrhování geotechnických konstrukcí nutné prokázat, že návrhová hodnota kombinace destabilizujících stálých a proměnných svislých zatížení $V_{dst,d}$, v našem případě vztlak podzemní vody, je menší než návrhové hodnoty stabilizujících stálých svislých zatížení $G_{etb,d}$, tedy vlastní tíha desky dna, a případné návrhové hodnoty jakékoliv dodatečné odolnosti ke vztlaku R_d . Vzhledem k tomu, že se v této práci žádné hodnoty R_d nevyskytují, je tedy posudek následující:

$$V_{dst,d} \leq G_{stb,d}$$

kde $V_{dst,d} = G_{dst,d} + Q_{dst,d}$

V tomto posudku je nutné použít dílčí součinitele γ_G resp. γ_Q z tabulky 6-4.

Tab. 6-5: Dílčí součinitele zatížení γ_f pro ověření
mezního stavu způsobeného vztlakem

Zatížení	Značka	Hodnota
Stálé		
Nepříznivé ^a	$\gamma_{G;dst}$	1,0
Příznivé ^b	$\gamma_{G;stb}$	0,9
Proměnné		
Nepříznivé ^a	$\gamma_{Q;dst}$	1,5
^a Destabilizující;		
^b Stabilizující		

S ohledem na EC 7 je tedy vztlak do úrovně zastižené hladiny podzemní vody počítán jako zatížení nepříznivé stálé s využitím součinitele $\gamma_G = 1,0$ a výše po úroveň terénu je uvažováno se součinitelem $\gamma_Q = 1,5$ pro zatížení nepříznivé proměnné.

Výpočet vztlaku na dno nádrže

$$F_{vz} = V_{dst,d} = G_{dst,d} + Q_{dst,d}$$

$$F_{vz} = \gamma_w \cdot h_1 \cdot \gamma_G \cdot r^2 \cdot \pi + \gamma_w \cdot h_2 \cdot \gamma_Q \cdot r^2 \cdot \pi$$

$$F_{vz} = 10 \cdot 11,5 \cdot 1,0 \cdot 4,7^2 \cdot \pi + 10 \cdot 0,8 \cdot 1,5 \cdot 4,7^2 \cdot \pi$$

$$F_{vz} = 8813,52 \text{ kN} \rightarrow 127 \text{ kN/m}^2$$

Zjištěná hodnota vztlaku na dno nádrže je $F_{vz} = 127 \text{ kN/m}^2$. Na tuto hodnotu byla navržena tloušťka desky dna 1 m a posouzena v programu Scia Engineer 2013. Zde byl zjištěn ohybový moment $M_y = -544,63 \text{ kNm}$ a posouvající síla $V_z = 263,34$, které byly následně použity v programu Beton 3D při vyztužování. Protokol z obou programů je opět součástí přílohy A.

Během výstavby před dosažením 100% pevnosti betonu, tedy v době, kdy deska dna ještě není schopná odolávat vztlaku, bude podzemní voda pod dnem nádrže odčerpávána skrz navrženou průchodku. Toto řešení je více popsáno i fotograficky zdokumentováno výše, v kapitole 5.3.

7. Alternativní návrhy řešení dna nádrže

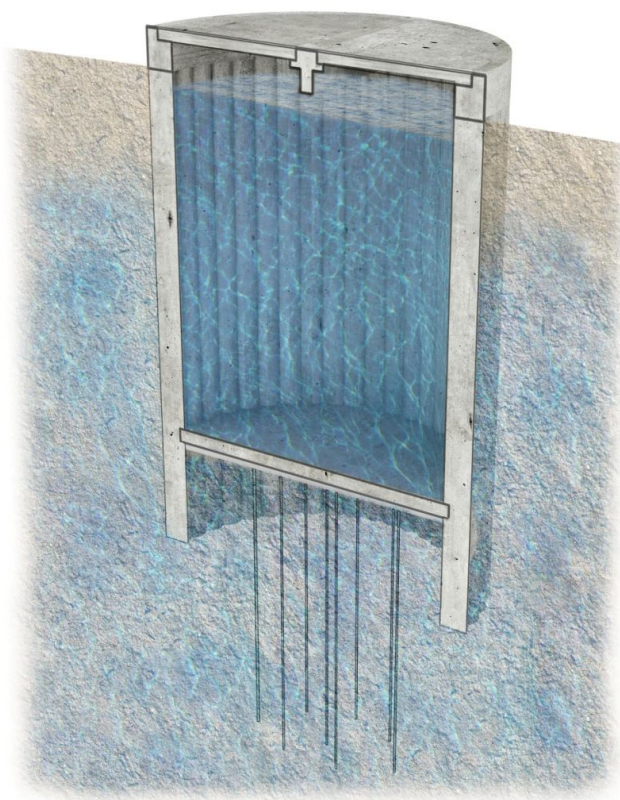
Dalším cílem mé práce bylo navržení jiných možností konstrukce dna nádrže, jejich statické posouzení a následné porovnání všech variant.

7.1 Deska tloušťky 0,45 m s mikropilotami

Mezi jedno z nejběžnějších opatření k zabránění poruchy vztlakem patří ukotvení konstrukce do podložních vrstev. To je navrženo v případě, že deska dna představuje natolik lehkou konstrukci, že by velkému tlaku podzemní vody, který na ni působí, nezvládla svou vlastní tíhou vzdorovat. Autorka tedy zvolila desku menší tloušťky, než u první varianty, která bude přikotvena pomocí čtrnácti tažených mikropilot rozmístěných pod dnem nádrže tak, aby co nejrovnoměrněji přichytily desku a pomohly jí odolávat tlaku podzemní vody. Navržená tloušťka desky 0,45 m vychází jednak z potřeby důkladného zakotvení mikropilot do desky, ale také z ohybových momentů, které v desce vznikají po přichycení mikropilotami, na které je dimenzována výztuž desky v programu Beton 3D.

Tahové mikropiloty jsou v programu Scia modelovány jako pružné podpory, kterým je přiřazena tuhost 50 MN/m. Při této tuhosti vzniká v desce maximální ohybový moment $M_y = -189,07 \text{ kNm}$ a v místě vetknutí mikropilot do desky je maximální reakce $R_z = 341,97 \text{ kN}$.

Tažené mikropiloty byly navrženy a posouzeny v programu Geo 5 – mikropiloty. Jejich průměr je 108 mm s tloušťkou stěny 16 mm a průměr kořene je 0,2 m. Volná délka mikropilot má délku 2 m a kořen dosahuje délky 5,5 m.

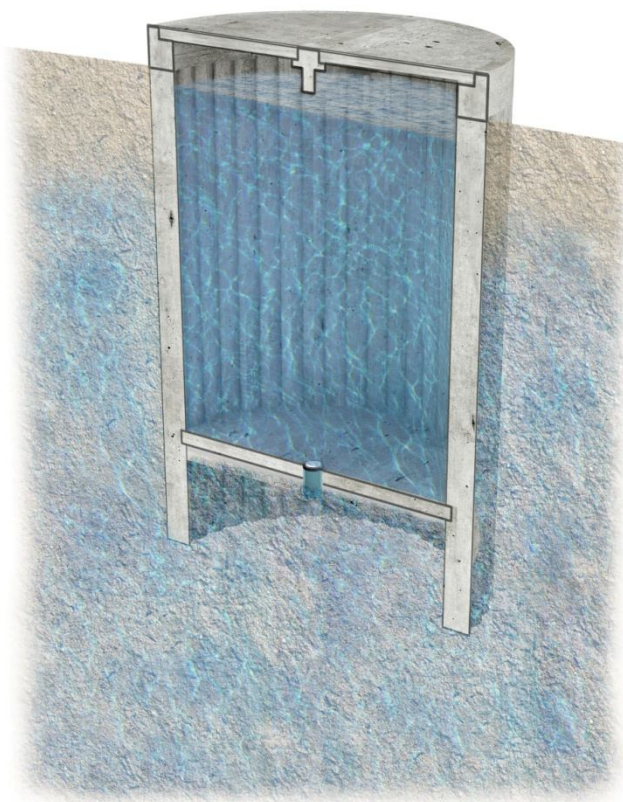


Obr. 7-1: *Sprinklerová nádrž s deskou dna tloušťky 0,45 m přichycenou mikropilotami*

7.2 Deska tloušťky 0,3 m se zpětným ventilem

Druhou alternativní variantou je deska o tloušťce 0,3 m, ve které je osazen tzv. zpětný ventil. Princip tohoto ventilu je velmi jednoduchý a efektivní. Ventil umožňuje průtok

vody pouze dovnitř nádrže a je nastaven na určitou hodnotu vztlaku, v případě této diplomové práce 20 kN/m^2 , při kterém se otevře a začne dovnitř nádrže vpouštět podzemní vodu, čímž zabrání zvyšování vztlaku působícímu na dno nádrže.



Obr. 7-2: *Sprinklerová nádrž s deskou dna tloušťky*

0,3 m osazenou zpětným ventilem

Připomeňme si, že se jedná o sprinklerovou nádrž, která slouží jako zásobárna hasicí vody. Při normálním stavu je tedy nádrž plná vody a dno je zevnitř přitěžováno tlakem vody, který působí proti tlaku podzemní vody. Zpětný ventil je zavřený a nepropouští vodu ani ven ani dovnitř. Avšak v případě požáru, kdy dochází k odčerpávání vody do sprinklerové hasicí soustavy, se hladina vody v nádrži začne snižovat, což způsobí zvyšování vztlaku. Ve chvíli, kdy se vztlak dostane na nastavenou kritickou hodnotu,

v tomto případě 20 kN/m^2 , ventil se otevře a vpouští podzemní vodu do nádrže tak dlouho, dokud vztlak opět neklesne pod tuto hodnotu.



Obr. 7-3: Zpětný ventil [24]

Při výpočtu nádrže je na stranu bezpečnou uvažováno se vztlakem o 10 kN/m^2 větším, než je hodnota nastavena na ventilu. Tento rozdíl reprezentuje zvýšení hladiny podzemní vody respektive snížení hladiny vody v nádrži o 1 m.

Posudek desky byl proveden v programu Scia, kde byly zjištěny hodnoty maximálního ohybového momentu $M_y = -120,37 \text{ kN}$ a maximální posouvající síly $V_z = -58,52 \text{ kN}$, které byly následně použity ve FIN EC - Beton 3D při posouzení vyztužení desky.

7.3 Porovnání navržených variant

Na výběr nejvhodnějšího způsobu provedení desky dna řešené sprinklerové nádrže je třeba pohlížet z několika hledisek. Je třeba uvážit, zda je navržené řešení vhodné do daných podmínek na staveništi, a to zejména z pohledu geologie. Autorka uvažovala také o variantě utěsnění dna pomocí tryskové injektáže, avšak tato metoda není vhodná do poloskalního podloží nacházejícího se v zájmové lokalitě. Další omezující faktor

může představovat účel, ke kterému bude po dokončení konstrukce sloužit, a s tím související technologické požadavky. A v neposlední řadě je třeba brát v potaz také ekonomické hledisko, které hraje v rozhodování často významnou roli.

7.3.1 Tvorba rozpočtu

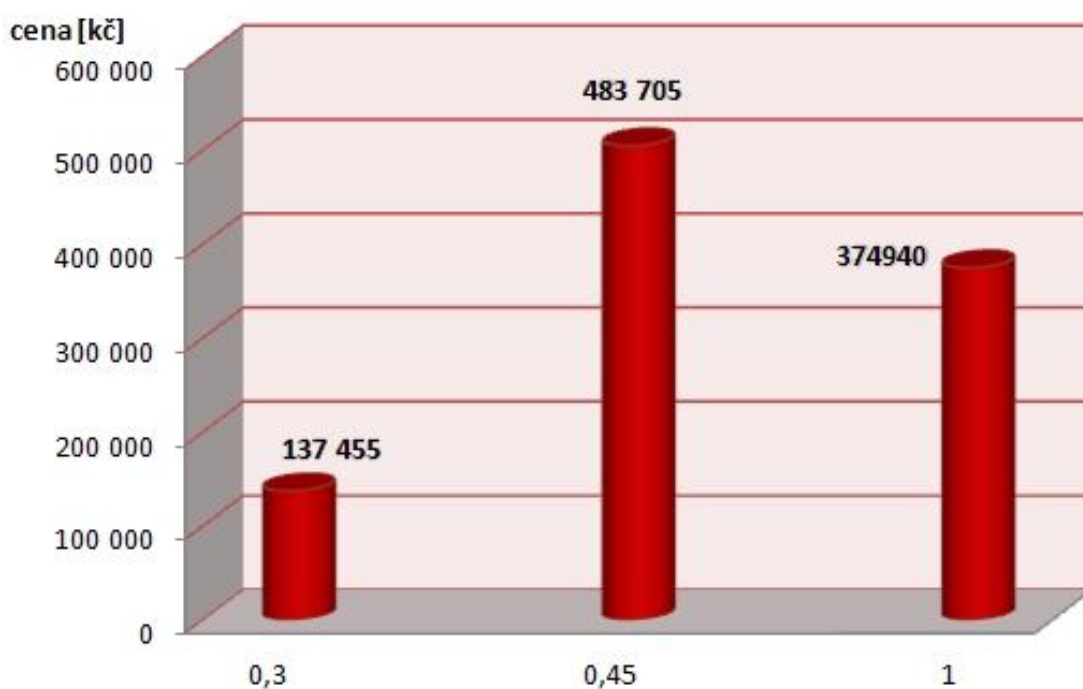
Rozpočet každé stavby se skládá ze dvou základních položek. Z materiálu, který je reprezentován především betonem a ocelí, a z ostatních nákladů. Mezi ostatní náklady patří projekční, geodetické a zemní práce, mzdy a ubytování zaměstnanců, dále nafta, doprava, jeřáby a také režie zahrnující provoz skladu a kanceláří, servis aut či bankovní poplatky a úvěry. Pro potřeby této práce budou ostatní náklady zanedbány a bude proveden zjednodušený rozpočet zohledňující materiál, neboť ten představuje hlavní část nákladů.

7.3.2 Praktická aplikace rozpočtu

Pro ekonomické porovnání byla vytvořena kalkulace ceny pro tři navržené varianty základové desky dna. Desku tloušťky 0,3 m osazenou zpětným ventilem, desku tloušťky 0,45 m přichycenou mikropilotami a nejtlustší desku 1 m, jež odolává vztlaku svou vlastní tíhou.

Tab. 7-1: Výpočet orientační ceny tří navržených variant desky dna

TLOUŠŤKA DESKY [m]	MATERIÁL	OBJEM MATERIÁLU	MĚRNÁ JEDNOTKA	CENA ZA MĚRNOU JEDNOTKU [kč]	CENA ZA MATERIÁL [kč]	CENA CELKEM [kč]
0,3	ŽB	24,99	m ³	4 500	112 455	137 455
	zpětný ventil	1	ks	25 000	25 000	
0,45	ŽB	37,49	m ³	4 500	168 705	483 705
	mikropiloty	14 x 7,5 = 105	mb	3 000	315 000	
1	ŽB	83,32	m ³	4500	374940	374 940



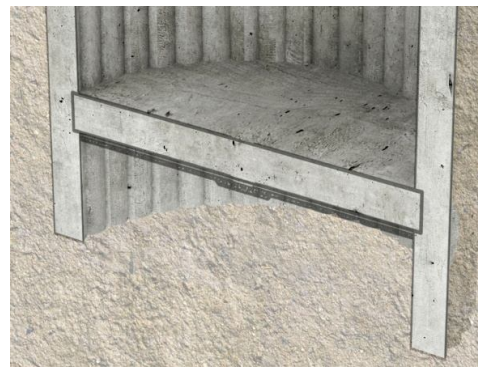
Graf 7-1: Ekonomické porovnání nákladů na provedení variantních řešení dna nádrže

7.3.3 Závěrečné zhodnocení variant

Pro celkové zhodnocení je třeba uvážit všechny výše zmíněné faktory. Po ekonomické stránce vychází jako nejvhodnější varianta tenká stěna osazena zpětným ventilem, která vychází na 137 455 Kč. Toto elegantní řešení je sice velmi ekonomicky výhodné, avšak zrovna u této varianty je třeba brát ohled také na další hlediska, a to zejména hledisko technologické. Tato konstrukce bude po dokončení sloužit jako zásoba vody do hasicích sprinklerových systémů, které mají velmi přísné požadavky na kvalitu vody, které by v případě vpuštění podzemní vody do nádrže nebylo možné dodržet. Jemné částičky nacházející se ve vodě by mohly znehodnotit čerpadla či ventily, jež jsou součástí sprinklerové soustavy. Dále je zde také riziko působení agresivní vody na technologie hasicí soustavy.



a



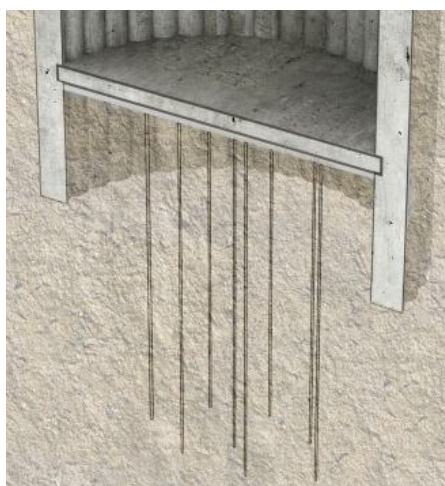
b

Obr. 7-4: Deska dna a) Deska tl. 0,3 m osazena zpětným ventilem

b) Deska tl. 1 m

Druhým nejlevnějším návrhem s cenou 374 940 Kč je deska tloušťky 1 m. Tato varianta není nijak omezena požadavkem na geologii ani technologickými předpisy a zároveň je její provedení v porovnání s deskou s mikropilotami rychlé. Proto byl také tento způsob zajištění dna nádrže zvolen jako nejvhodnější pro konstrukci sprinklerové nádrže řešené v této diplomové práci.

Nejdražší variantou je deska osazená tahovými mikropilotami. Tento návrh, jehož cena je 483 705 Kč, je nejen ekonomicky nejméně příznivý, vzhledem k využití relativně tlusté desky v kombinaci s mikropilotami, ale také oproti předchozím dvěma variantám časově náročný.



Obr. 7-5: Deska dna tl. 0,45 m s mikropilotami

8. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo přiblížit využití mimořádných statických výhod klenby v oblasti speciálního zakládání. A to na příkladu stavebních jam pro konstrukce kruhového průřezu.

První část této diplomové práce byla zaměřena na popis jednotlivých druhů těchto kruhových stavebních jam. Ty byly rozděleny jednak dle účelu, pro který jsou navrhovány, a dále pak dle metody pažení stěn. V teoretické části práce je také popsána část věnovaná sprinklerovým hasicím systémům.

Konkrétním řešením, jež bylo zvoleno pro demonstraci uplatnění klenbového efektu v dnešním zakládání staveb, byla kruhová podzemní nádrž sloužící jako zásobník vody pro sprinklerové hasicí zařízení obchodního domu Sconto v Hradci Králové. Tato nádrž byla navržena jako převrtávaná pilotová stěna. S ohledem na stanovený minimální využitelný objem nádrže, který je 722 m^3 , a technologii provádění, pro kterou je vhodné ukončovat piloty ve skalním podloží, byla zvolena délka pilot $15,3 \text{ m}$ a vnitřní průměr nádrže $9,4 \text{ m}$. Strop nádrže byl navržen ze Spiroll panelů, které jsou uloženy na stropním průvlaku. Dno nádrže bylo navrženo jako monolitická ŽB deska tloušťky 1 m , která je po celé výšce zapuštěna do drážky v pilotové stěně.

Vzhledem k tomu, že se zájmová lokalita nachází v říční nivě řeky Labe, panují na staveništi složité hydrogeologické poměry. Podzemní voda se v místě nádrže nachází cca $0,8 \text{ m}$ pod stávajícím terénem, což výrazně ovlivnilo návrh základové desky. Ta byla navržena tak, aby byla schopna odolávat velkému vztlaku, který na ni působí. A to jak ve fázi výstavby před dosažením 100% pevnosti betonu, tak i během užívání nádrže.

Součástí práce jsou i alternativní návrhy základové desky, tedy deska tloušťky $0,3 \text{ m}$ osazená zpětným ventilem a deska $0,45 \text{ m}$ přichycená do podloží pomocí tahových mikropiloty, a jejich posouzení. A to jak z hlediska ekonomické náročnosti, tak i s ohledem na konkrétní geologické podmínky na staveništi a účel, kterému bude



konstrukce sloužit po dokončení výstavby. Při uvážení všech požadavků kladených na konstrukci sprinklerové nádrže byla jako nejvýhodnější varianta zvolena deska dna tloušťky 1 m, čímž byla potvrzena správnost volby pro konkrétní nádrž řešenou v této práci.

Statický výpočet prováděný převážně v programu Scia Engineer 2013 a FIN EC – Beton 2D bylo prokázáno, že všechny navrhované části konstrukce na působení zatížení vyhoví.

Použité informační zdroje

Seznam použité literatury

- [1] MASOPUST, J.: Navrhování základových a pažících konstrukcí Příručka k ČSN EN 1997 Informační centrum ČKAIT, s.r.o. Praha, 2012, vydání 1., ISBN 978-80-87438-31-2
- [2] MASOPUST, J. a kolektiv: Rizika prací speciálního zakládání staveb, Informační Centrum ČKAIT, s.r.o., Praha 2011, vydání 1., ISBN 978-80-87438-10-7
- [3] MASOPUST, J.: Speciální zakládání staveb 2.díl. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2006, vydání 1., ISBN 80-7204-489-3
- [4] WEIGLOVÁ, K., GLISNÍKOVÁ, V., MASOPUST, J.: Mechanika zemin a zakládání staveb pro kombinované studium, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2003, AA-VA 15,7-15,57
- [5] Časopis Zakládání: Odborný časopis. Praha: Zakládání staveb, a.s, 2007, XIX, 1/2007. ISSN 1212-1711.
- [6] Časopis Zakládání: Odborný časopis. Praha: Zakládání staveb, a.s, 2010, XXII, 4/2010. ISSN 1212-1711.
- [7] Časopis Zakládání: Odborný časopis. Praha: Zakládání staveb, a.s, 2011, XXIII, 4/2011. ISSN 1212-1711.
- [8] ŠČOKTOVÁ, Petra. Historický vývoj sprinklerového zařízení [online]. Ostrava, 2008 [cit. 12/2014]. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Petr Kučera.
- [9] Inženýrsko – geologický průzkum, RNDr. Jan Král

Seznam odkazů na elektronické studijní zdroje

- [10] TOKYO GAS Co.: environmentally friendly in-ground LNG storage tanks. LNG Technologies[online]. [cit. 2013-10-10]. Dostupné z: <http://www.tokyo-gas.co.jp/lngtech/ug-tank/index.html>
- [11] PERI, spol. s.r.o.: Vzduchotechnické šachty, tunel Blanka, Praha. In: [Http://www.peri.cz/](http://www.peri.cz/): Projekty - Tunely [online]. 1/2012. [cit. 2013-11-20]. Dostupné z: http://www.peri.cz/projekty.cfm/fuseaction/showreference/reference_ID/2560/referencecategory_ID/20.cfm
- [12] Zakládání staveb, a.s. [online]. [cit. 2013-02-01]. Dostupné z: <http://www.zakladani.cz/cz/>
- [13] KELLER - speciální zakládání, spol. s r.o. [online]. [cit. 2013-02-01]. Dostupné z: <http://www.kellergrundbau.cz/firma.aspx>
- [14] SIRNÝ, Aleš. Malá podzemní odyssea v Brně. In: [Http://www.casopisstavebnictvi.cz/](http://www.casopisstavebnictvi.cz/) [online]. 04/09. [cit. 2013-11-28]. Dostupné z: <http://www.casopisstavebnictvi.cz/clanek.php?detail=2196>
- [15] PO-PROJEKT, s.r.o.: Sprinklerová hasicí zařízení. [Http://www.po-projekt.cz/](http://www.po-projekt.cz/): Specialisté na požárně bezpečnostní zařízení [online]. 2010. vyd. [cit. 2013-11-21]. Dostupné z: http://www.po-projekt.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=56
- [16] KAFKA, Bohumil. Požární bezpečnost (I) - Sprinklerové hasicí zařízení: Krátký průvodce sprinklerovým zařízením. [Www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz) [online]. 2004 [cit. 2013-11-24]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2017-pozarni-bezpecnost-i-sprinklerove-hasici-zarizeni>
- [17] [Http://en.wikipedia.org/](http://en.wikipedia.org/): Fire sprinkler system. [online]. 12/2013. [cit. 2013-12-28]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Fire_sprinkler_system

- [18] SPRINKLER SYSTÉM CZ, s.r.o. [online]. [cit. 2013-12-06]. Dostupné z: <http://www.sprinklersystem-cz.cz/index.php?nid=10642&lid=cs&oid=2436044>
- [19] www.mapy.cz
- [20] Česká geologická služba: Mapové aplikace ČGS. [online]. [cit. 2013-10-11]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/>
- [21] PAVELKA, Rostislav. Trasovník: Turistický průvodce po ČR. In: Trasovník.cz: Královohradecko - popis regionu [online]. Brno [cit. 2013-11-28]. Dostupné z: http://trasovnik.cz/k_khrad/hradeck/hradeck.asp#horo
- [22] Povodí Labe, státní podnik. [online]. [cit. 2013-11-06]. Dostupné z: <http://www.pla.cz/>
- [23] GEO 5: Geotechnický software. [online]. [cit. 2013-11-06]. Dostupné z: <http://www.fine.cz/geotechnicky-software/napoveda/pazeni-posudek>
- [24] Jihomoravská armaturka spol., s.r.o.: Vodárenská a kanalizační technika. [online]. [cit.2013-11-06]. Dostupné z : http://www.jmahod.cz/cs/no_cache/produkty.html
- [25] ČVUT v Praze, Fakulta stavební: řešené příklady betonových konstrukcí pomocí příhradové analogie. [online]. [cit. 2013-01-06]. Dostupné z: http://concrete.fsv.cvut.cz/pomucky/down/Resene_prikklady_BK_pomoci_pr_ihradove_analogie.pdf

Seznam použitých norem

ČSN EN 73 0873 (730873) Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou

ČSN EN 1997-1: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla

ČSN EN 1536 (73 1031) – Provádění speciálních geotechnických prací - Vrtané piloty

ČSN EN 1992-1-1 (73 1201): Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná
pravidla a pravidla pro pozemní stavby

SEZNAM GRAFŮ

Graf 7-1: Ekonomické porovnání nákladů na provedení variantních řešení dna..... 43

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 2-1:	Šachta pro provádění kompenzační injektáže sloužící k eliminování sedání budov při ražbě Královopolských tunelů v Brně	13
Obr. 2-2:	Šachta v prostoru závalu tunelu Březno	14
Obr. 2-3:	Retenční nádrž Jeneweinova v Brně	16
Obr. 2-4:	Retenční nádrž Jeneweinova v Brně	17
Obr. 2-5:	Provádění sprinklerové nádrže v prostoru komerční zóny Hradce Králové.....	18
Obr. 2-6:	Skladovací nádrže na LNG, Korea	18
Obr. 2-7:	Trysková injektáž	21
Obr. 3-1:	Schéma funkce sprinklerového zařízení.....	23
Obr. 3-2:	Sprinklerová hlavice	25
Obr. 3-3:	Sprinklerová hlavice	26
Obr. 3-4:	Průběh aktivace moderní sprinklerové hlavice.....	27
Obr. 4-1:	Umístění nádrže vzhledem k OC Sconto 1:12 000.....	29
Obr. 4-2:	Mapa širších poměrů území 1:47 000.....	30
Obr. 4-3:	Geologická mapa 1:50 000	32
Obr. 4-4:	Zvětralé slínovce nacházející se v zájmové lokalitě	34
Obr. 5-1:	Osazení PE trubky nouzového přepadu	37
Obr. 5-2:	Schéma nádrže s vyznačením vyčerpatelného a nevyčerpatelného objemu nádrže.....	36
Obr. 5-3:	Schéma zapuštění desky dna do pilotové stěny	44

Obr. 5-4:	Těsnící bentonitový pásek uložený ve vysekané drážce v pilotové stěně	40
Obr. 5-5:	Průchodka na snižování vztlaku podzemní vody před dosažením 100 % pevnosti betonu	41
Obr. 5-6:	Převázka v hlavě pilot s drážkou pro uložení stropního průvlaku.....	42
Obr. 6-1:	Schéma vychýlení pilot od projektované polohy	43
Obr. 6-2:	Schéma zatížení konstrukce zemním tlakem....	46
Obr. 6-3:	Model nádrže s naneseným zatížením	59
Obr. 6-3:	Vnitřní síly na modelu nádrže – My (Scia Engineer 2013)	50
Obr. 6-3:	Vnitřní síly na modelu nádrže – Ny (Scia Engineer 2013)	50
Obr. 6-4:	Schéma zatížení konstrukce stropu zemním tlakem.....	51
Obr. 6-5:	Prostý nosník reprezentující Spiroll panel.....	52
Obr. 6-6:	Rozpětí náhradních prostých nosníků	52
Obr. 6-7:	Schéma zatížení na průvlak.....	53
Obr. 6-8:	Záplavové území v zájmové lokalitě při Q100.....	56
Obr. 7-1:	Sprinklerová nádrž s deskou dna tloušťky 0,45 m přichycenou mikropilotami.....	58
Obr. 7-2:	Sprinklerová nádrž s deskou dna tloušťky 0,3 m osazenou zpětným ventilem.....	59
Obr. 7-3:	Zpětný ventil.....	60
Obr. 7-4:	Dno nádrže	63
Obr. 7-5:	Dno nádrže tl. 0,45 m s mikropilotami.....	64

SEZNAM TABULEK

Tab. 4-1: Zatřídění zájmové lokality do geomorfologie ČR.....	31
Tab. 4-2: Legenda ke geologické mapě z Obr. 4-3.....	33
Tab. 4-3: Geologický profil v místě navrhované stavební jámy.....	34
Tab. 6-1: Parametry zemin z tabulky 4-3.....	48
Tab. 6-2: Výpočet součinitele zemního tlaku v klidu použitého ve výpočtu zemní tlaku na stěnu nádrže	50
Tab. 6-3: Výpočet stálého zatížení na strop nádrže	51
Tab. 6-4: Výpočet proměnného zatížení na strop nádrže	51
Tab. 6-5: Dílčí součinitele zatížení γ_f pro ověření mezního stavu způsobeného vztlakem	56
Tab. 7-1: Výpočet orientační ceny tří navržených variant desky dna.....	56

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

F_s	příčná tahová síla	[kN]
N_{Ed}	normálová síla v pilotách	[kN]
σ_{td}	napětí v	[MPa]
f_{ctd}	návrhová pevnost betonu v tahu	[MPa]
$f_{ctk0,05}$	dolní kvantil charakteristické pevnosti betonu v tahu	[MPa]
γ_c	dílčí součinitel bezpečnosti pro beton	[m]
σ_0	zemní tlak v klidu	[kPa]
σ_z	svislé geostatické napětí	[kPa]
K_0	součinitel zemního tlaku v klidu	[-]
γ_{sat}	objemová tíha nasycené zeminy	[kN/m ³]
γ_{unsat}	objemová tíha suché zeminy	[kN/m ³]
E_{def}	deformační modul	[kPa]
ν	Poissonovo číslo	[-]
c	koheze	[kPa]
ϕ	úhel vnitřního tření	[°]
h	mocnost zeminy	[m]
R_i	reakce na prostém nosníku	[kN]
L_i	rozpětí prostých nosníků	[m]
$V_{dst,d}$	destabilizující stálá proměnná svislých zatížení	[kN]
$G_{stb,d}$	stabilizující stálá svislá zatížení	[kN]
R_d	dodatečné odolnosti ke vztlaku	[kN]

γ_Q	dílčí součinitel stálého nepříznivého zatížení pro ověření MS způsobeného vztlakem	[-]
γ_G	dílčí součinitel proměnného nepříznivého zatížení pro ověření MS způsobeného vztlakem	[-]
γ_w	objemová tíha vody	[kN/m ³]
F_{vz}	vztlková síla na dno nádrže	[kN/m ²]
M_y	maximální ohybový moment v desce dna	[kNm]

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A – STATICKÝ VÝPOČET

A1 GEOLOGICKÉ POMĚRY STAVENIŠTĚ

A1.1 Situace sond

A1.2 Dokument o kopané sondě K10

A1.3 Dokument o jádrovém vrtu J5

A2 VÝPOČET STROPU NÁDRŽE

A2.1 Technický list Spiroll

A2.2 Posudek stropního průvlaku

A3 VÝPOČET DNA NÁDRŽE

A3.1 Posudek desky dna nádrže - tloušťka 1,1 m

A3.1.1 Scia Engineering 2013

A3.1.2 FIN EC - Beton 3D

A3.2 Posudek desky dna nádrže - tloušťka 0,45

A3.2.1 Scia Engineering 2013

A3.2.2 GEO 5 - mikropiloty

A3.2.3 FIN EC - Beton 3D

A3.3 Posudek desky dna nádrže - tloušťka 0,3 m

A3.3.1 Scia Engineering 2013

A3.3.2 FIN EC - Beton 3D



PŘÍLOHA B – VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

B1 PILOTOVÉ POLE

B2 VÝZTUŽ PILOTY

B3 STROPNÍ PRŮVLAK – VÝKRES TVARU

B4 KLADEČSKÝ PLÁN – SPIROLL PANELY

B5 DESKA DNA – VÝKRES TVARU