



# 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

# NOSNÁ ŽELEZOBETONOVÁ KONSTRUKCE BYTOVÉHO DOMU

LOAD BEARING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE OF APARTMENT HOUSE

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Ruber

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK GIRGLE, Ph.D.

BRNO 2018



# 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>	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav betonových a zděných konstrukcí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Lukáš Ruber
<b>Název</b>	Nosná železobetonová konstrukce bytového domu
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. František Girgle, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2017
<b>Datum odevzdání</b>	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

---

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

---

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

## PODKLADY A LITERATURA

Základní stavební výkresy zpracovávaného objektu: půdorysy jednotlivých podlaží, řezy, geotechnické poměry, apod.

Platné návrhové normy a technické předpisy:

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí;

ČSN EN 1991-1-1 až 7: Zatížení stavebních konstrukcí;

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby;

ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb;

ČSN EN 206: Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.

Další literatura dle doporučení vedoucího diplomové práce.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Pro zadaný objekt proveďte statický návrh konstrukcí podzemní části zadaného objektu. Navazující konstrukce řešte v rozsahu dle pokynů vedoucího diplomové práce. Proveďte alternativní návrhy a následné zhodnocení interakce horní stavby s podložím a pilotovým založením stavby. Pro nejvýhodnější alternativu poté proveďte podrobné statické posouzení a prováděcí výkresovou dokumentaci.

Ostatní činnosti a případná zjednodušení zadané konstrukce provádějte v souladu s pokyny vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

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

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady a varianty řešení;

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

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

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

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

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

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

## **Abstrakt**

Obsahem diplomové práce je návrh konstrukcí podzemních částí objektu. Součástí práce je provést porovnání alternativních návrhů a následné zhodnocení interakce horní stavby s podložím a pilotovým založením. Pro vybranou variantu je následně zpracováno podrobné statické posouzení a prováděcí dokumentace. Konstrukce základové desky a železobetonových stěn podzemní části jsou navrženy s ohledem na šířku trhlin dle zásad pro navrhování bílé vany. Teoretická část obsahuje zásady návrhu a provádění bílé vany a zhodnocení variant návrhu.

## **Klíčová slova**

Bílá vana, železobetonová základová deska, pilotové založení, interakce s podložím, vynucená namáhání, šířka trhlin, smyková výztuž, ohybová výztuž, protlačení základové desky, těsnění spár, podzemní voda

## **Abstract**

The subject of this diploma thesis is the design of the underground parts of the building. Part of this thesis is to compare alternative designs and subsequently evaluate the interaction of the upper structure with subsoil and pile foundation. A detailed static assessment and implementation documentation is then prepared for the selected variant. The design of the base plate and reinforced concrete walls of the underground section are designed with respect to the crack width according to the principles for designing the white box. The theoretical part contains principles for designing and implementing a white box and evaluating design variants.

## **Keywords**

White box, foundational slab, pile foundations, interaction with subsoil, forced strain, crack width, shear reinforcement, flexural reinforcement, extrusion of foundational slab, seal joints, ground water

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Lukáš Ruber *Nosná železobetonová konstrukce bytového domu*. Brno, 2017. 29 s., 233 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. František Girgler, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 12. 01. 2018

---

Bc. Lukáš Ruber  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Františku Girglemu, Ph.D. za jeho čas, který mi věnoval, za odborné rady, vedení a pomoc, díky kterým jsem mohl zpracovat diplomovou práci.

# DIPLOMOVÁ PRÁCE

NOSNÁ ŽELEZOBETONOVÁ KONSTRUKCE  
BYTOVÉHO DOMU

Bc. Lukáš Ruber



## Obsah

1	ÚVOD.....	10
2	TECHNICKÁ ZPRÁVA .....	12
2.1	Stručný popis objektu.....	12
2.2	Konstrukční systém .....	12
2.2.1	Materiál.....	13
2.3	Základové podmínky .....	14
2.4	Založení objektu .....	14
2.5	Vodorovné konstrukce .....	15
2.5.1	Základová deska .....	15
2.5.2	Stropní desky.....	17
2.6	Svislé konstrukce .....	18
2.6.1	Sloupy.....	18
2.6.2	Obvodová stěna .....	18
2.6.3	Vnitřní stěny .....	19
2.7	Schodiště .....	19
2.8	Zatížení .....	20
2.8.1	Stálé zatížení.....	21
2.8.2	Proměnné zatížení.....	21
2.9	Technologické podmínky a postup prací.....	22
2.9.1	Bednění a odbedňování .....	22
2.9.2	Betonáž.....	22
3	VÝPOČTOVÝ MODEL.....	24
4	ZÁVĚR .....	25
5	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	27
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	29
7	SEZNAM PŘÍLOH.....	29

## 1 ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a posouzením dvou podzemních podlaží bytového domu, které zde slouží jako podzemní garáže. Hlavní nosná konstrukce tohoto objektu je tvořena železobetonovým monolitickým skeletem, nadzemní část má sedm pater. Stropní desky nadzemních podlaží jsou podepřeny železobetonovými stěnami, které navíc celou konstrukci ztužují v příčném směru. Tyto stěny jsou dále doplněny ztužujícím jádrem, ve kterém je umístěno schodiště a výtah. Stropní konstrukce podzemních podlaží jsou podepřeny sloupy, které umožňují uvolnění prostoru pro pohyb automobilů. Stěny prvního nadzemního podlaží musejí z tohoto důvodu být řešeny jako stěnové nosníky. Budova je uprostřed podélné osy rozdělena na dva dilatační celky. Vjezd do podzemních garáží se nachází pouze v jedné ze dvou dilatačních částí a z tohoto důvodu jsou tedy obě části vzájemně spojeny. Obě podzemní podlaží se nacházejí pod hladinou podzemní vody a je tedy nutné vyřešit jejich nepropustnost.

Předmětem této práce bylo zaměřit se na podrobné řešení podzemní části, provést alternativní návrhy řešení a v jednom z návrhů provést interakci horní stavby s podložím a pilotovým založením stavby. Dále vybrat jednu z variant, která bude následně podrobněji rozebrána a bude pro ni vytvořena prováděcí výkresová dokumentace. Je zde vhodné poznamenat, že se tato práce bude zabývat jen jedním dilatačním celkem. Příjezd do tohoto celku je uskutečněn přes celek druhý, kde je vybudován vjezd do podzemních garáží.

Vnitřní síly pro návrh konstrukcí byly zjištěny ze dvou prostorových modelů. Jako první byl vytvořen prostorový model celé horní stavby (nadzemních podlaží). Z tohoto modelu byly převzaty reakce, kterými byl následně zatížen prostorový model podzemních podlaží. Správnost výpočtu byla ověřena na třech místech konstrukce ručním výpočtem. Výsledná odchylka do 5% je přijatelná. Toto řešení je sice složitější, ale výsledky více odpovídají chování konstrukce, která je členitá a nesymetrická.

Výpočet zatížení od horních pater bez použití modelu - ručně by byl možný, ale pravděpodobně by byl zatížený větší chybou. Nadzemní část konstrukce zde již není dále zpracována. Pro výpočet vnitřních sil je použit software RFEM 5 a metoda konečných prvků.

Pro model podzemních částí bylo dále nutné navrhnout piloty. Pro tyto účely byl z podkladů vybrán jeden reprezentativní zemní vrt. V následném geologickém profilu bylo vytvořeno několik délek pilot. Jejich zatěžovací křivky byly zjištěny pomocí software GEO 5 [19]. Ty jsou následně použity pro dvě alternativní varianty řešení. V první variantě (Varianta A) je veškeré zatížení horní stavby přeneseno do podlaží pouze pomocí pilot. Ve variantě druhé (Varianta B) je část zatížení přenášena základovou deskou za interakce konstrukce s podložím. Tato varianta by měla umožnit zkrácení pilot. Obě varianty jsou dále ještě rozebrány. Varianta A se omezuje na návrh pilot, základové desky a obvodových stěn. Ve variantě B, která je dále vybrána jsou podrobněji zpracovány další konstrukce. Konstrukce desky a obvodových stěn, které musejí být vodonepropustné jsou řešeny jako bílá vana. Pro tyto části je následně zpracována prováděcí výkresová dokumentace. Z důvodu návaznosti ostatních vnitřních konstrukcí jsou ve statickém výpočtu řešeny i ostatní části podzemních podlaží. Výkresová dokumentace pro tyto části konstrukce není předmětem této práce a nebude zpracována.

## 2 TECHNICKÁ ZPRÁVA

Technická zpráva se zabývá popisem základních konstrukcí řešeného objektu, dále je zde stručně popsána technologie provádění a některé detaily.

### 2.1 Stručný popis objektu

Jedná se o novostavbu bytového domu ve městě Olomouc. Navrhovaná budova má sedm nadzemních podlaží a dvě podlaží podzemní, které slouží jako garáže. Celková výška objektu je 21,15 m nad úroveň +/- 0,000. Půdorysný tvar objektu je dán obdélníkem, řešené podzemní podlaží mají půdorysný rozměr 17,2 x 35,2 m. Navazující nadzemní podlaží mají navíc vyložené části stropních desek a balkony. Výjimku tvoří poslední podlaží, které je ustupující. Zastřešení objektu je provedeno železobetonovou stropní deskou posledního podlaží, které tvoří plochou střechu. Půdorysně je objekt rozdělen na dva rozměrově stejné dilatační celky, odlišnost těchto celků tvoří pouze vjezd do podzemních garáží v jednom z nich.

### 2.2 Konstrukční systém

Konstrukční systém je tvořen železobetonovou nosnou konstrukcí, vodorovné konstrukce jsou tvořeny železobetonovými stropními deskami tloušťky 250 mm. Stropní desky podzemních podlaží jsou lokálně podepřeny sloupy a liniově obvodovou stěnou, která zde má navíc i funkci izolace proti podzemní vodě a je navržena podle zásad pro bílé vany dle [8]. Stropní desky vyšších podlaží jsou podepřeny především příčnými nosnými stěnami a mezilehlými pilíři po obvodě. Stropní desky nadzemních podlaží mají převislé části a jsou do nich vetknuty prefabrikované balkony. Svislý nosný systém tvoří železobetonové stěny a sloupy podzemních podlaží. Tloušťka stěn podzemních podlaží je navržena na 300 mm,

tento návrh odpovídá doporučení TP ČBS 04 pro bílé vany [8]. Tyto stěny jsou navíc v místech modulových os ztuženy žebry, které se stěnou vytvářejí „T“ průřez. Stěnový systém doplňují stěny jádra, které mají navíc ztužující funkci. Objekt je založen na základové desce, ta má ve vybrané variantě tloušťku 400 mm a pod nejvíce namáhanými sloupy je opatřena náběhy, kde má celkovou tloušťku 600 mm. Náběhy jsou pozvolné a jejich sklon je 1:3. Deska je založená na pilotách, jejich rozmístění, počet a délky jsou podrobněji ve statickém výpočtu. Základní modul v podélném směru objektu je 7,5 m. Tento modul je místně snížen až na 5 m. Příčné moduly jsou 7,3 a 4,8 m. Konstrukční výška podlaží je 2,95m.

### 2.2.1 Materiál

Pro celou konstrukci bílé vany je použit beton C30/37 – 56 dní, třídy XC4, XF2, Dmax11, konzistence S4, který splňuje podmínky pro toto prostředí [1]. Pro konstrukci bílé vany je vhodné použít cement s pomalým vývinem hydratačního tepla, všeobecně je vhodné použít cement s pomalým nárůstem pevnosti. Beton také musí splňovat podmínku maximálního průsaku 50 mm při kontrolních zkouškách. Pro vnitřní konstrukce podzemních podlaží – stěny, sloupy a stropní desky, je použit beton C30/37 – 28 dní, třídy XC3, XF2, Dmax16, konzistence S4. Dále je použita betonářská ocel B500B (Třída tažnosti B – vysoká).

Charakteristická pevnost betonu v tlaku	$f_{ck}$ [MPa]	30,0
Návrhová pevnost betonu v tlaku	$f_{cd}$ [MPa]	20,0
Střední hodnota pevnosti v tahu za ohybu	$f_{ctm}$ [MPa]	2,9
Modul pružnosti	$E_{cm}$ [GPa]	32,0

Charakteristická hodnota meze kluzu	$f_{yk}$ [MPa]	500,00
Návrhová hodnota meze kluzu	$f_{yd}$ [MPa]	434,78
Modul pružnosti	$E_s$ [GPa]	200,00

### 2.3 Základové podmínky

Místo stavby se nachází v Olomouci – Řepčíně. V území byl proveden inženýrsko-geologický průzkum. Podloží se skládá převážně z jílu a písků, písky obsahují tlakovou vodu. Suterén leží pod hladinou podzemní vody, která v době zvýšených srážek dosahuje až povrchu. Tato voda nevykazuje dle [1] agresivitu vůči prostému betonu. S ohledem na charakter a náročnost konstrukce bylo doporučeno založení na pilotách.

### 2.4 Založení objektu

Stavba je založena na základové desce, které spolupůsobí s hlubinným založením stavby – pilotami. V této práci jsou řešeny dvě varianty založení objektu, první varianta předpokládá, že veškeré zatížení do základové půdy přenášejí piloty. V této variantě deska nespůsobí s podložím a přenáší tedy pouze zatížení od vzlaku vody. Ve variantě druhé je část zatížení přenášena i základovou deskou. To způsobuje větší zatížení základové desky, kterou je v této variantě nutné lokálně zesílit. To umožňuje zkrácení délek pilot. Pro výpočet jsou provedeny pouze dva iterační kroky interakce podloží s konstrukcí. Rozdíl zatížení pilot v těchto krocích je v průměru 10 %, to je pro účely této práce dostačující. V obou variantách je návrh pilot proveden především s ohledem na rovnoměrné sedání stavby. Piloty jsou navrženy tak, aby relativní sedání jednotlivých pilot dosahovalo maximálně 3 mm. Piloty budou rotačně vrtané, betonované na místě s výpažnicí, která bude vyjmuta během betonáže. Piloty budou vyztuženy armokošem, jejich průměr je navržen na 1200 mm. Rozmístění a počet pilot je ve statickém výpočtu.

## 2.5 Vodorovné konstrukce

Podzemní podlaží budou sloužit jako garáže, desky nosných konstrukcí budou tedy celoročně pojížděny automobily a vystaveny proměnným podmínkám. Povrchová úprava těchto desek musí tedy být odolná vůči vodě, solím a ropným látkám. Dále musí být zamezeno protékání vody a nečistot z vozidel do nižších podlaží. Proto bude podlaha podzemních podlaží opatřena vhodným nátěrem pro tento druh provozu. Ten musí mimo výše zmíněných vlastností dále splnit požadavky na adhezní vlastnosti a otěruvzdornost. Dále musí mít nátěr schopnost překlenout malé trhliny a mít malý difuzní odpor, aby nedošlo k jeho odlepení od povrchu. Nátěr, především u základové desky, musí být proveden co nejpozději po betonáži. Ze stejných důvodů bude nutné systémově ošetřit i dilatační spáru.

### 2.5.1 Základová deska

Základová deska je navržena jako spojitá křížem vyztužená deska tloušťky 400 mm. Ve vybrané variantě jsou dále provedeny náběhy pod sloupy a tloušťka desky je lokálně zvětšena až na 600 mm. Do desky jsou vetknuty sloupy a obvodové stěny. Zatížení horní stavby je částečně přenášeno deskou a částečně putuje do pilot. Půdorysné rozměry desky jsou 17,2 x 35,2 m. Rozměry jednotlivých polí jsou proměnné v obou směrech. Podélně je deska tvořena z pěti polí, příčně ze tří.

Třída betonu byla zvolena s ohledem na stupeň prostředí, životnost, geometrii konstrukce a požadavky pro bílé vany. Těmi jsou především pomalý nárůst pevnosti, pomalý vývin hydratačního tepla a maximální průsak. Jedná se o beton třídy C30/37 – 56 dní, třídy XC4, XF2, Dmax11, konzistence S4. Použitá ocel je třídy B500B. Výztuž je navržena v pravoúhlém systému a zpracována do výkresové dokumentace. Základní výztuž je stanovena na profil R12 po 100 mm při obou površích, v obou směrech. Tato výztuž splňuje procento minimálního vyztužení a v méně namáhaných částech konstrukce bezpečně

přenáší ohybové momenty, dále zachycuje síly od smršťování a dotvarování betonu. Stykována je vždy maximálně polovina výztuže s minimální stykovací délkou 600 mm pro plné využití výztuže. Minimální krytí výztuže je stanoveno na 35 mm. Výztuž základního rastru je v místech většího namáhání doplněna příložkami R12 až R20 po 100 mm. Vzhledem k tomu, že základová deska je součástí bílé vany a musí tedy splňovat podmínku vodonepropustnosti, bylo především nutné hlídat šířku trhlin. Šířka trhliny je zde stanovena na 0,15 mm na základě tlakového spádu dle [8]. Detailní rozdělení výztuže je zachyceno v podrobné výkresové dokumentaci.

Výztuž proti protlačení u sloupů byla navržena ze systémových trnů od firmy Schöck dle [11]. Tyto trny jsou rozmístěny na systémových lištách. Jejich počet a rozmístění je podrobně zapracováno ve výkresové dokumentaci. Tato výztuž byla podrobně navržena v nejvíce namáhaném místě desky, k návrhu v ostatních částí desky sloužil software od firmy Schöck [18]. Dále bylo nutné desku dovyztužit v některých částech přiléhajícím ke stěnám. Deska je zde namáhána smykem především od značného zatížení sloupcem vody – vztlakem. Dále bylo nutné vyřešit detaily návaznosti na budoucí obvodové stěny tak, aby zde bylo možné vložit těsnící pásy. Dalším detailem je dilatační spára mezi dilatačními celky, která je řešena systémovým prvkem vnitřního těsnění, to navazuje na těsnění pracovních spár u obvodových stěn. Jako těsnící prvky byly vybrány pásy od společnosti SIKA [12], systém vnitřního těsnění. V neposlední řadě je v místech budoucích stěn i sloupů z desky vytažena příslušná výztuž navazujících konstrukcí ve stykovací délce.

Základová deska je v případě obou variant prováděna strojně hlazený podkladní beton, který je na povrchu opatřen 2x PE – folií. Tato folie slouží jako kluzná vrstva a na horním povrchu je navíc opatřena geotextilií, která slouží jako ochranná vrstva při pokládání výztuže. Dojezd výtahové šachty je dále opatřen stlačitelnou vrstvou polystyrenu, která šachtě umožní pohyb po kluzné vrstvě. Výše zmíněná opatření by desce měla dle výpočtu zajistit, že od objemových změn nevzniknou trhliny.



## 2.5.2 Stropní desky

Stropní desky podzemních podlaží jsou navrženy z betonu C30/37 – 28 dní, třídy XC3, XF2, D<sub>max</sub>16, konzistence S4 a oceli B500B. Krytí je zde stanoveno na 25 mm. Jde o spojitou desku, která je obousměrně pnutá. Její tloušťka je stanovena na 250 mm. Výztuž základního rastru je stanovena na profily R10 po 200 mm při obou površích, stykovácí délka základní výztuže bude minimálně 500 mm a je možné stykovat maximálně polovinu výztuže v jednom řezu. V místech většího namáhání je základní rastr doplněn o příložky R8 až R20 po 100 až 200 mm. Výztuž na protlačení je navržena pomocí software Schöck [18] jako systémové trny. Dále je zde navržena výztuž proti řetězovému zřícení z profilů R14 a R16, která je navržena jako 3. a 4. řada výztuže při spodním povrchu. Jedná se o šest profilů příslušného průměru, které jsou vedeny vždy mezi sloupy. Stykování je nutné provádět vždy alespoň v jedné třetině délky pole a to v minimální délce 700, respektive 1100 mm. Výkresová dokumentace těchto desek přesahuje rámec této práce a její zpracování není tedy jejím předmětem. Dimenze a výztuž je zde navržena z důvodu návaznosti na řešené konstrukce bílé vany.

Stropní desky nadzemních podlaží jsou podepřeny nosnými stěnami, které navazují na sloupy podzemních podlaží. Jejich tloušťka je stanovena na 250 mm. Do těchto desek jsou pomocí systémových prvků na přerušení tepelného mostu vetknuty balkonové desky. Balkonové desky jsou prefabrikované, jednotné výšky 200 mm a budou osazovány před vázáním horní výztuže desek. Podrobnější popis těchto konstrukcí přesahuje rozsah této práce. Bylo zde nutné stanovit pouze dimenze těchto prvků především kvůli určení zatížení podzemních podlaží.

## 2.6 Svislé konstrukce

### 2.6.1 Sloupy

Sloupy podzemních podlaží jsou navrženy především kvůli uvolnění vnitřních prostor pro pohyb automobilů. Jsou navrženy obdélníkového průřezu o rozměrech 350 x 1000 mm. Sloupy jsou z betonu C30/37 – 28 dní, třídy XC3, XF2, D<sub>max</sub>16, konzistence S4 a vyztuženy výztuží B500B. Jako součást této práce byl navržen a posouzen nejvíce namáhaný sloup nejnižšího podlaží. Hlavní nosnou výztuž profilu R20 doplňují čtyřstřížné třmeny R8 po 200 mm, jejich vzdálenost je v oblasti stykování a pod deskou zhuštěna na 100 mm. Zámky třmenů je po výšce nutné prostřídat.

### 2.6.2 Obvodová stěna

Obvodové stěny mají nejen funkci nosnou, ale i funkci těsnící. Dle zásad navrhování pro bílé vany je tloušťka obvodových stěn stanovena na 300 mm [8]. Krytí stěn je s ohledem na požadavky životnosti a třídy prostředí stanoveno na 35 mm. Stěny jsou navrženy z betonu třídy C30/37 – 56 dní, třídy XC4, XF2, D<sub>max</sub>11, konzistence S4. Použitá ocel je třídy B500B. Hlavní nosná výztuž ve svislém směru je navržena tak, aby byla schopná přenášet normálové síly i momenty, které jsou způsobeny především zatížením od zeminy a vodního sloupce. Vodorovná výztuž je stanovena s ohledem na konstrukční požadavky a minimální množství výztuže. Vodorovná výztuž bude u stěny v první vrstvě. Vzhledem k tomu, že obvodová stěna má plnit i funkci vodonepropustné bílé vany, tak je u této stěny nutné hlídat šířky trhlin. Maximální šířka trhliny je stanovena dle [8] a tlakového spádu na 0,15 mm pro 2. PP a 0,20 mm pro 1.PP. Na tento požadavek je navržena svislá výztuž vzhledem k příslušným momentům. V případě bílé vany je nutné hlídat i trhliny od vývinu hydratačního tepla po betonáži. Návrh výztuže na kontrolu šířky trhlin by si vyžádal značné navýšení plochy výztuže, oproti ploše minimální. Proto je zde nutné při minimální ploše

vodorovné výztuže dodržet maximální stanovenou vzdálenost svislých pracovních spár, případně řízených trhlin, aby nedošlo ke vzniku neřízených trhlin. Tato délka je výpočtem a také následným modelem stěny stanovena maximálně na 7 m. Podrobné rozmístění pracovních úseků a řízených trhlin je zpracováno ve výkresech tvarů příslušných stěn. Součástí těchto stěn bude dále systémová vylamovací výztuž [12], která bude sloužit pro napojení vnitřních stěn jádra, zároveň umožní celistvost bednění a snadnější betonáž těchto stěn.

### 2.6.3 Vnitřní stěny

Železobetonové vnitřní stěny podzemních pater mají mimo nosné funkce ještě funkci ztužující. Vnitřní stěna na styku dilatačních celků a stěny jádra probíhají souvisle přes všechny podlaží a svojí podélnou tuhostí ztužují celou konstrukci v obou směrech. Vnitřní stěny mají tloušťku 200 a 220 mm. U vnitřních stěn není potřeba hlídat šířky trhlin z hlediska jejich nepropustnosti. Dle [7] je nutné dodržet šířku trhliny do 0,3 mm z hlediska mezního stavu trhlin pro stupeň vlivu prostředí XC3. Této podmínce stěny bezpečně vyhoví především proto, že ohybové namáhání je v případě vnitřních stěn malé a průřez je převážně tlačný. Hlavní nosná výztuž vnitřních stěn je z profilů R10 po 100 mm. Výztuž vodorovná, která se nachází v první vrstvě je z profilů R8 po 100 mm.

## 2.7 Schodiště

V každém z dilatačních celků je ve ztužujícím železobetonovém jádru navrženo dvouramenné schodiště, to obklopuje výtahovou šachtu, která je rovněž železobetonová. Tyto stěny jsou součástí návrhu, včetně navazujícího dojezdu výtahu. Jednotlivá ramena schodiště jsou prefabrikovaná a jsou uložena na monolitickou stropní desku, respektive mezipodestu. Tyto konstrukce jsou z důvodu návazností na konstrukce bílé vany podrobněji zpracovány a je zde navržena výztuž. Samotná prefabrikovaná ramena součástí návrhu nejsou.

## 2.8 Zatížení

Stálé zatížení od vlastní tíhy konstrukce a zatížení od skladeb podlah je uvažováno jako spojitě rovnoměrné po celé ploše.

Zatížení od obvodových stěn a vnitřních příček je uvažováno jako liniové. Zatížení od schodiště je bráno zjednodušeně jako součet stálého a nahodilého zatížení, které působí liniově v místě uložení na ozub monolitické stropní desky a mezipodesty.

Proměnné zatížení je uvažována kategorie A pro obytné plochy u nadzemních podlaží a kategorie F pro garáže u podlaží podzemních.

Na schodišti a balkonech je uvažována rovněž kategorie A, ale liší se hodnota zatížení.

Zatížení od vodního sloupce na stěny podzemního podlaží lineárně roste s jeho výškou, zatížení na základovou desku od vztlačové síly vody je uvažováno jako spojitě rovnoměrné po celé ploše desky.

Zatížení zemním tlakem je uvažováno pro zemní tlak v klidu, předpokládá se nejnejpříznivější stav, kdy hladina vody vystoupí až k niveletě terénu.

Zatížení větrem je stanoveno dle rozměrů nadzemních částí budovy a její polohy na základě mapy větrných oblastí. Zatížení větrem je vzhledem k rozměrům budovy po výšce proměnné. V rámci zjednodušení je uváženo pouze kolmo na podélný směr, kde je jeho účinek na spodní podlaží a založení významný. Ve směru rovnoběžně s podélnou osou je zatížení větrem zanedbáno, v tomto směru nemá na spodní podlaží zásadní vliv. Jeho účinky jsou významné především na stěny nadzemního podlaží, které toto zatížení přenášejí. Návrh nadzemních podlaží není předmětem této práce.

Zatížení sněhem je rovněž stanoveno pro oblast Olomouce dle mapy sněhových oblastí. Zatížení sněhem je uvažováno na střešní konstrukci a balkonech nadzemních podlaží jako zatížení rovnoměrné po celé ploše těchto konstrukcí.

Zatížení vlastní tíhou železobetonových konstrukcí je v prostorových modelech počítáno programem RFEM 5, který tuto možnost nabízí.

Pomocí software RFEM 5 byla nalezena nejnepříznivější kombinace zatížení, které působí na nadzemní podlaží. Model podzemních podlaží byl následně zatížen výslednou obálkou reakcí od nadzemní části budovy.

### 2.8.1 Stálé zatížení

Zatížení charakteristickým podlažím	$g_{k1}=7,69\text{kN/m}^2$
Zatížení charakteristickým podlažím	$g_{k1,2}=7,80\text{kN/m}^2$
Zatížení obvodovou stěnou	$g_{k5}=7,70\text{kN/m}$
Zatížení vnitřní stěnou	$g_{k6,1}=6,89\text{kN/m}$

### 2.8.2 Proměnné zatížení

Kategorie A – stropní konstrukce	$q_{k1}=1,50\text{kN/m}^2$
Kategorie A – balkony	$q_{k2,1}=3,00\text{kN/m}^2$
Kategorie A – schodiště	$q_{k2,1}=3,00\text{kN/m}^2$
Kategorie F – garáže	$q_{k2,2}=2,50\text{kN/m}^2$

Výpočet jednotlivých zatížení a ostatní zatížení (zatížení ostatních podlaží, zatížení střechou, zatížení balkonů, ...) je podrobně rozepsáno ve statickém výpočtu.

## 2.9 Technologické podmínky a postup prací

Vzhledem ke skutečnosti, že se obě podzemní podlaží a základová spára nacházejí pod hladinou podzemní vody, je nutné tuto vodu během výstavby odčerpávat. Stavební jáma bude pažena pomocí štětových stěn – Larsen. Návrh těchto stěn ani čerpání vody není předmětem této práce. Aby v průběhu výstavby nedošlo k vyplavení již vybudované části konstrukce, je nutné vodu odčerpávat až do okamžiku, kdy bude vlastní tíha konstrukce větší než vztlačková síla vody. S likvidací pažení a zásypem stavební jámy bude tedy možné započít až po dobetonování desky nad druhým nadzemním podlažím. Teprve poté bude možné ukončit odčerpávání vody.

### 2.9.1 Bednění a odbedňování

Bednění musí zajistit konstrukci požadovaný tvar, zároveň musí být dostatečně tuhé, tak, aby vyhovovalo na maximální povolené odchylky i po betonáži. Odbedňování u stěn a sloupů je možné po nabytí požadované pevnosti po 28, respektive 56 dnech. U stropních desek je možné odbedňovat rovněž po nabytí požadované pevnosti po 28 dnech. K odbednění spodních podlaží je nutné provést statický výpočet, který není součástí této práce.

### 2.9.2 Betonáž

Základová deska bílé vany bude betonována v jednom pracovním záběru. Před samotnou betonáží je nutné provést kontrolu uložené výztuže, betonová směs bude na stavbu dopravena pomocí autodomíchávačů a do bednění se dopraví pomocí čerpadel. Ukládání betonu do bednění musí probíhat tak, aby nedošlo k rozmísení jednotlivých frakcí kameniva a kvalita betonu tak byla stejná v celé konstrukci. Po uložení je nutné betonovou

směs zhutnit a zbavit jí tak vzduchových pórů. Poté je nutná kontrola krytí a následné dostatečné ošetřování čerstvého betonu. Po vybetonování je desku nutné přikrýt již mokřými geotextiliemi, které je nutné udržovat vlhké například kropením. V případě vysokých teplot však nesmí být závlahová voda příliš studená, velký teplotní rozdíl by mohl způsobit konstrukci teplotní šok. Dále je možné geotextilie překrýt igelitovou folií, která bude zabraňovat ztrátě vlhkosti. Toto ošetřování je nutné po dobu minimálně sedmi dnů. Před betonáží stěn bílé vany je obzvláště důležité, aby všechny pracovní spáry byly náležitě ošetřeny. 24 hodin po betonáži je nutné řádně odstranit cementový šlem ze spáry, to je vhodné provést například tlakovou vodou. Před samotnou betonáží je nutné toto očištění zopakovat a zbavit spáru i těsnicí pás všech nečistot. Dále je nutné spáru navlhčit, ale tak aby voda ve spáře nezůstávala. Poté je možné započít betonáž samotných stěn. Tato betonáž, především v podélném směru desky by měla být započata s dostatečným odstupem. Tento odstup by měl být minimálně 4 týdny. V této době je nutné řádně ošetřovat desku a mělo by dojít k části jejího volného smrštění, kterému by příliš brzká betonáž stěn mohla bránit. Samotná betonáž stěn bude poté probíhat po záběrech. U bílé vany je nutné dodržet maximální vzdálenost pracovních spár a řízených trhlin. Tato vzdálenost je stanovena maximálně na 7 metrů. Detailní rozmístění pracovních spár a řízených trhlin je v příslušných výkresech tvarů. Jednotlivé pracovní úseky budou betonovány střídavě. Odbednění částí stěn prvního záběru je možné nejdříve po 3 dnech, následná betonáž stěn dalšího záběru je možná až po dalších 24 hodinách. Po odbednění je nutné stěny řádně ošetřovat, udržovat je vlhké, vyvarovat se teplotním šokům a stěny dále zakrýt igelitovými foliemi, které budou bránit odpařování vody. Betonáž nesmí být bez příslušných opatření adekvátních pro betonáž v zimních měsících prováděna, pokud by teplota klesla pod 5°C. U betonáže dalšího patra je nutné dodržet stejné zásady, především dbát řádného očištění spár a technologické kázně při instalaci těsnících prvků. Dále je nutné konstrukci ošetřovat jak bylo výše popsáno.

### 3 VÝPOČTOVÝ MODEL

Vnitřní síly byly zjišťovány pomocí výpočetního software RFEM 5 od společnosti Dlubal [16]. Tento software využívá při výpočtech metodu konečných prvků. V programu byly vytvořeny dva prostorové modely konstrukce. Jako první byl vytvořen model nadzemní části konstrukce, ten sloužil především kde stanovení zatížení na podzemní patra a založení. Ve druhém kroku byl vytvořen prostorový model podzemní části konstrukce. Tento model byl podepřen pružnými podporami, jejich tuhosti byly stanoveny na základě návrhu pilot ze zatěžovacích křivek. Dále byl v jedné z variant (Varianta B) model podepřen také plošně za pomoci přídatného modulu RF-Soilin, která program RFEM 5 nabízí. Tento modul stanovil na základě vstupních dat z vybraného, reprezentativního vrtu součinitele podloží. Výstupem jsou konstanty  $C_{1,z}$ ,  $C_{2,x}$  a  $C_{2,y}$ . Jejich stanovení je dále rozebráno ve statickém výpočtu. Model je zatížen jednotlivými zatěžovacími stavy, které jsou stanoveny v úvodní části statického výpočtu. Program RFEM 5 sám najde nejnepříznivější kombinaci těchto zatěžovacích stavů. Tuto kombinaci provádí program pro trvalé a dočasné stavy podle rovnice 6.10.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Pro mezní stav STR a GEO program využívá méně příznivou kombinaci z rovnic:

$$\left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right. \quad (6.10a)$$

$$\left. \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right. \quad (6.10b)$$

Pro mezní stav použitelnosti program uvažuje kombinační pravidlo podle rovnice:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$



Po provedení výpočtu bylo ještě nutné redukovat momentové špičky, které vznikají v oblastech kde jsou vetknuty sloupy. Tyto momenty se průměrují na oblasti  $2d$  od líce sloupu, kde  $d$  je účinná výška desky.

Dále byla na na třech vybraných místech konstrukce ručním výpočtem ověřena správnost výpočtů programu. Rozdíl byl do 5 % a tato odchylka je přijatelná.

## 4 ZÁVĚR

Předmětem diplomové práce bylo provést statický návrh konstrukcí podzemní části zadaného objektu. Navazující konstrukce byly řešeny v rozsahu dle pokynů vedoucího diplomové práce. Nedílnou součástí řešení bylo dále provést alternativní návrhy a následně zhodnotit interakci horní stavby s podložím a pilotovým založením. Dále byla vybrána jedna z těchto variant pro kterou je zpracována prováděcí výkresová dokumentace.

Vnitřní síly byly získány za pomoci software RFEM 5, který k výpočtu využívá metodu konečných prvků. V tomto programu bylo vytvořeno celkem několik prostorových modelů, které měly v rámci možností co nejvěrněji vystihovat reálné podmínky a působení konstrukce. Dle zadání byly dále vytvořeny dvě alternativní varianty založení. V první variantě je veškeré zatížení od horní stavby přenášeno pilotami do podloží, ve variantě druhé je využito interakce základové desky s podložím, která poté přenáší svoji část zatížení do podloží. K podrobnějšímu zpracování byla vybrána druhá varianta, která je ve statickém výpočtu označena jako Varianta B. Tato varianta je výpočetně zajímavější a navíc umožňuje zkrácení délek pilot, při celkovém menším sedání stavby. V konečném důsledku nebylo celkové zkrácení délek pilot výrazné. To je způsobeno především tím, že základová deska je i bez interakce s podložím zatěžována nemalým vztlakem vody. Ze stejného důvodu bylo v této variantě nutné lokálně zesílit základovou desku. Toto zesílení je v přilehlých oblastech u nejvíce zatížených sloupů a je ho nutné provést, aby bylo možné desku spolehlivě navrhnout na účinky protlačení. Podzemní části, které slouží jako garáže, se

nacházejí celé pod hladinou podzemní vody. Z tohoto důvodu je nutné, aby byla konstrukce izolována proti vodě. Bylo rozhodnuto, že podzemní podlaží budou vybudována technologií vodonepropustného betonu označovanou jako bílá vana. Tato konstrukce má kromě nosné funkce také funkci těsnící a není zapotřebí provádět další hydroizolace podzemních podlaží. Dle [8] se jedná o třídu namáhání 1 („Třída namáhání 1 – platí pro tlakovou a netlakovou vodu a dočasně vzdutou prosakující vodu“) a třídu užívání B, kde jsou vlhká místa na povrchu konstrukce přípustná. Při návrhu konstrukce bílé vany je zejména nutné hlídat maximální šířku trhlin. Ta je stanovena dle [8] a tlakového spádu, do kterého vstupuje výška vodního sloupce a tloušťka konstrukce. Je nutné hlídat trhliny jak od účinků silových, tak i od účinků nesilových. Nesilové účinky, jinak označované jako vynucená namáhání, jsou především způsobeny přirozenými vlastnostmi betonu, zejména jeho dotvarováním a smršťováním v čase. Dalším neméně významným aspektem správného fungování konstrukce bílé vany je technologická kázeň a kvalita provádění. Při návrhu výztuže byla snaha najít řešení mezi složitým způsobem vyztužení a maximální úsporou oceli. V desce byl při obou površích navrhnout základní rastr, který se v místech zvýšeného namáhání dokládá další výztuží. Výztuž obvodových stěn je v jednotlivých patrech odlišná, to je způsobeno především tím, že stěny nejnižšího podlaží jsou namáhány výrazně větším zatížením od vodního sloupce a zemního tlaku.

## 5 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN EN 206-1: Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda;
- [2] ČSN EN 1991-1-1 (73 0035) Zatížení konstrukci - Část 1-1: Obecná zatížení;
- [3] ČSN EN 1992-3 Navrhování betonových konstrukcí –Část 3: Nádrže na kapaliny a zásobníky;
- [4] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí
- [5] ČSN EN 1991-1-3 (73 0035) Zatížení konstrukci - Část 1-3: Obecná zatížení – zatížení sněhem;
- [6] ČSN EN 1991-1-4 (73 0035) Zatížení konstrukci - Část 1-4: Obecná zatížení – zatížení větrem;
- [7] ČSN EN 1992-1-1 (73 1201) Navrhování betonových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby;
- [8] Technická pravidla ČBS 04 Vodonepropustné betonové konstrukce
- [9] ČSN EN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb
- [10] PROCHÁZKA, Jaroslav a Jiří ŠMEJKAL. Betonové základové a opěrné konstrukce.
- [11] Evropské technické schválení ETA-46-0521
- [12] Firemní podklady firmy SIKA, Halfen, Intec

[13] Microsoft Office Word 2016

[14] Microsoft Office Excel 2016

[15] AutoCAD 2016

[16] Dlubal RFEM 5

[17] GLASER – Isb CAD

[18] Schöck BOLE - software

[19] GEO 5 - software

## 6 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

NP	nadzemní podlaží
PP	podzemní podlaží
BV	bílá vana
$A_c$	průřezová plocha betonu
$A_s$	průřezová plocha betonářské výztuže
$A_{s,prov}$	navržená plocha výztuže v extrémně namáhaném průřezu
$A_{s,req}$	průřezová plocha výztuže potřebná k přenesení extrémního momentu
$A_{sw}$	průřezová plocha smykové výztuže
$E_{cm}$	sečnový modul pružnosti betonu
$E_s$	návrhová hodnota modulu pružnosti betonářské oceli
$f_{cd}$	návrhová pevnost betonu v tlaku
$f_{ck}$	charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku ve stáří 28 dní
$f_{ctm}$	průměrná hodnota pevnosti betonu v dostředném tlaku
$f_{yd}$	návrhová mez kluzu betonářské výztuže
$f_{yk}$	charakteristická mez kluzu betonářské výztuže
$f_{ywd}$	návrhová mez kluzu betonářské smykové výztuže
L	účinné rozpětí
$M_{Ed}$	návrhová hodnota působícího vnitřního ohybového momentu
$N_{Ed}$	návrhová hodnota působící normálové síly
$\gamma_c$	dílčí součinitel spolehlivosti betonu
$\gamma_G$	dílčí součinitel stálého zatížení
$\gamma_Q$	dílčí součinitel proměnného zatížení
$\gamma_s$	dílčí součinitel spolehlivosti betonářské oceli
$\epsilon_{cu}$	mezní poměrné stlačení betonu
$\epsilon_{yd}$	mezní poměrné protažení oceli
$w_k$	šířka trhliny

## 7 SEZNAM PŘÍLOH

P1. Použité podklady

P2. Výkresy – výkresy tvaru a prováděcí výkresy výztuže

P3. Statický výpočet