



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

PARKOVACÍ DŮM

PARKING BUILDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Matěj Máj

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav betonových a zděných konstrukcí
Student:	Bc. Matěj Máj
Vedoucí práce:	Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D.
Akademický rok:	2023/24
Studijní program:	N0732A260026 Stavební inženýrství – konstrukce a dopravní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Parkovací dům

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro zadaný objekt parkovacího domu proveďte návrh a posouzení výztuže ve vybraných prvcích nosné konstrukce v rozsahu určeném vedoucím práce. Statickou analýzu proveďte v některém programovém systému pro výpočet konstrukcí a proveďte porovnání se zjednodušenou "ruční" metodou. Vypracujte výkres tvaru dimenzované části konstrukce a podrobné výkresy výztuže posuzovaných prvků. Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Návrh rozměrů železobetonové nosné konstrukce vícepodlažního parkovacího domu včetně statického posouzení.

Výpočet vnitřních sil dle zvoleného sw a porovnání se zjednodušenou metodou výpočtu.

Návrh a posouzení výztuže vybraných prvků.

Výkresy tvaru a výztuže.

Textovou část zpracujte v rozsahu a ve formě průvodní a technické zprávy.

Diplomovou práci je třeba rozčlenit podle této struktury:

Textová část

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady a předběžný návrh,

P2. Výkresy tvaru a výztuže

P3. Statický výpočet.

Rozsah jednotlivých částí určí vedoucí diplomové práce.

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě .

Seznam doporučené literatury a podklady:

Základní normy (včetně všech změn a doplňků):

Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně / Veveří 331/95 / 602 00 / Brno

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991: Zatížení konstrukcí (část 1-1, 1-3 až 1-7)

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

ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb

Literatura:

podle doporučení vedoucího práce

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 3. 2023

L. S.

doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.
vedoucí ústavu

Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem a statickým vybraných prvků železobetonového vícepodlažního objektu. Ve výpočtech je zpracovaná stropní deska, základová deska, opěrná stěna, sloup v 8NP a 2PP, rampa v 1PP. Statická analýza konstrukce byla provedena ve výpočetním programu RFEM 5, kontrola je provedena zjednodušenými ručními metodami. Součástí práce je také výkresová dokumentace tvaru řešené konstrukce a podrobné výkresy výztuže řešených prvků.

KLÍČOVÁ SLOVA

Křížem vyztužená monolitická železobetonová deska, základová deska, sloup, opěrná stěna, překlád, železobeton, výztuž, zatížení, zatěžovací stavy, ohybové momenty, mezní stav použitelnosti

ABSTRAKT

The thesis deals with the design and structural analysis of selected elements of a reinforced concrete multi-storey building. In the calculations the floor slab, foundation slab, retaining wall, column in 8NP and 2PP, ramp in 1PP. The static analysis of the structure was carried out in RFEM 5 calculation program, the checking is carried out by simplified manual methods. The work also includes drawings of the shape of the structure and detailed drawings of the reinforcement of the designed elements.

KEYWORDS

Cross-reinforced monolithic reinforced concrete slab, foundation slab, column, retaining wall, lintel, reinforced concrete, reinforcement, loading, loading conditions, bending moments, serviceability limit state

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MÁJ, Matěj. *Parkovací dům*. Brno, 2024. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

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

V Brně dne 6. 1. 2024

Bc. Matěj Máj

autor

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Parkovací dům* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 6. 1. 2024

Bc. Matěj Máj

autor

PODĚKOVÁNÍ

Jeden z velkých díků patří paní Ing. Ivaně Švaříčkové Ph.D. za ochotu a přínosné konzultace. Dále těm, kteří se společně se mnou lopotili pod údery biče betonářů naší katedry a upřímně, děkuji.

Obsah

1. ÚVOD.....	3
2. Popis konstrukce	4
2.1 Obecné informace.....	4
2.2 Stropní deska nad 7NP	4
2.3 Základová deska 2PP	5
2.4 Opěrná stěna.....	5
2.5 Sloupy.....	6
2.6 Rampa 1PP	6
3. Materiálové charakteristiky	7
3.1 Beton C30/37	7
3.2 Ocel B5000B	7
4. Zatížení	8
4.1 Stálé.....	8
4.2 Proměnné.....	8
5. Kombinace.....	9
6. Kontrola a porovnání výsledků.....	10
7. Model	11
8. Výpočetní postup	12
8.1 Základová a stropní deska.....	12
8.2 Sloup.....	12
8.3 Rampa	13
8.4 Stěna.....	13
9. Závěr.....	14
10. Zdroje	15
10.1 Normy.....	15
10.2 Technické listy a weby.....	15

10.3	Software	15
11.	Seznam použitých zkratk a symbolů	16
12.	Seznam příloh.....	17
13.	Seznam obrázků	18

1. ÚVOD

Diplomová práce se zabývá návrhem a posouzením vybraných železobetonových prvků parkovacího domu o sedmi nadzemních podlaží a třech podzemních podlažích v okolí Brna. Mezi vybrané části monolitického objektu patří:

- Stropní deska nad 7NP
- Základová deska v 2PP
- Nejvíce zatížený sloup taktéž v 2PP a stejný sloup v 8NP
- Opěrná stěna v 2PP
- Výjezdová rampa v 1PP

Zmíněné prvky lze dohledat v přehledném výkrese P1.1. Vybrané prvky byly navrženy na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Vnitřní síly jsem získal pomocí výpočetního programu RFEM 5 ve kterém dále bylo vygenerováno podloží pomocí přídatného addonu jménem Soil in. Veškeré výpočty jsou podloženy jak ručním výpočtem, tak i ověřeny například programem IDEA Statica pro posouzení průřezu, GEO 5 pro výpočet a ověření zemních tlaků, FIN pro průřezové charakteristiky pro dílčí výpočty, Schock BOLE pro ověření ručního výpočtu pro protlačení stropní a základové desky. V práci jsou dále zpracovány výkresy tvarů a výztuže vybraných prvků v programu Cadkon.

2. Popis konstrukce

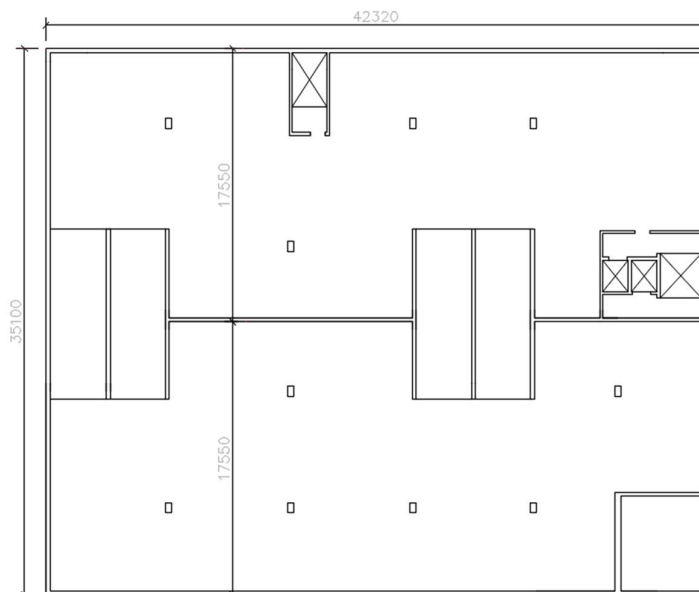
2.1 Obecné informace

Jedná se o parkovací dům, který bude sloužit pouze pro parkování osobních aut kategorie M1 do přípustné hmotnosti 3500 kg. Hlavní nosná konstrukce je výhradně monolitická z betonu třídy C30/37. Nosné obvodové stěny, které jsou kombinovány i s vnitřními nosnými stěnami, zajišťují příčnou tuhost konstrukce. Nedílnou součástí jsou i nosné sloupy mezi obvodovými stěnami a vnitřními rozdělovacími stěnami. V podzemních podlažích se nacházejí opěrné stěny zesílené metrovými žebry pro snížení ohybových momentů vznikajících vlivem vysokých zemních tlaků. Nejprve byla budova založena na základové desce tloušťky 400 mm, ovšem během modelování a při prvních výstupech jsem musel změnit založení budovy. Budova tedy byla založena na pilotech průměru 900 mm až na únosné skalní podloží, čímž jsem docílil radikálního snížení vnitřních sil v řešených prvcích. V obvodových stěnách se nacházejí okenní otvory s výplní. Díky malým rozměrům okenních otvorů a po konzultacích jsem došel k závěru, že mohu zanedbat modelaci otvorů při zatížení větrem na konstrukci. Budova je navržena tak, aby byla co nejefektivnější, co se týče počtu aut na plochu parkoviště. To znamená, že jižní část je posunuta o půlku výšky podlaží, níž než ta severní.

2.2 Stropní deska nad 7NP

Stropní deska byla navržena v tloušťce 240 mm. Stropní deska je z betonu pevnostní třídy C30/37. Deska se uvažuje po obvodě vetknutá do stěny. To má za následek zvýšenou tuhost celé konstrukce. Ovšem v tomto řešení musíme počítat se vzniklými tahy na horní straně desky. V desce je navržena přídatná výztuž na řetězové zřícení. Ta bude využita pro případ, že dojde ke smykovému přetížení konstrukce (protlačení) v místě podepření sloupy. Výztuž na řetězové zřícení musí být stykovaná minimálně 1200 mm, a to na osu styku v 1/3 daného rozpětí. Mezi další přídatné výztuže patří smykové trny uložené v kritických místech jako jsou sloupy, rohy a konce stěn.

Vyztužení bylo provedeno položením základní sítě $12\varnothing \text{ á } 200 \text{ mm}$ ve směru x a y při horní i dolním povrchu. Lokálně došlo k zahuštění $12\varnothing \text{ á } 200 \text{ mm}$ a také $16 \varnothing \text{ á } 200 \text{ mm}$.



Obrázek 2.2.: Půdorysný pohled na stropní desku 7NP

2.3 Základová deska 2PP

Základová deska je navržena tloušťky 400 mm z betonu pevnosti C30/37. Bude uložena na podkladním betonu tloušťky 100 mm. Pod pokladním betonem se nachází separační vrstva taktéž tloušťky 100 mm a ta slouží nejen pro vyrovnání podkladu, ale i jako kluzná vrstva mezi pilotou a deskou. Kluzná proto aby pilota nevnášela do základové desky tahové napětí což snižuje vnik přídavných trhlin v základové desce. Pilota je vyhloubena až na únosné skalní podloží. Podloží je modelováno pomocí přídavného modulu Soil in v programu RFEM, které simuluje vlastnosti reálné zeminy.

Vyztužení bylo provedeno položením základní sítě $20\varnothing$ á 200 mm ve směru x a y při horní i dolní povrchu. Lokálně došlo k zahuštění $20\varnothing$ á 200 mm.

2.4 Opěrná stěna

Opěrná stěna je navržena tloušťky 300 mm a je ztužena metrovými příčnými žebry tloušťky 400 mm. Žebra jsou v osových vzdálenostech jako sloupy (viz. P2.5). Díky těmto žebřům jsme schopni snížit vnitřní síly ve stěně tak aby tato část byla ekonomicky výhodná.

2.5 Sloupy

Sloup nejvíce zatížený normálovou silou se nachází v 2PP o rozměrech 800x400 mm betonu C30/37. V nejvyšším místě budovy v 8NP má sloup 650x400 mm. Mezi jeden ze zatěžovacích stavů patřil náraz vozidlem do sloupu v 8NP. Tato situace byla uvažována na sloup, který je nejméně zatížen normálovou silou. Velké svislé zatížení by působilo jako předpětí, a to by vedlo k větší únosnosti.

2.6 Rampa 1PP

Rampa tloušťky 240 mm je napojena na stropní desku v pracovní spáře vyznačené ve výkresech. Do návrhu patřil také postup výstavby této části. Fáze výstavby byla rozdělena takto:

1. Stěny budou vybetonovány ke spodní hraně stropní desky nižšího podlaží.
2. Postavení bednění pro stěny a vyvázání výztuže stěn včetně napojovacích výztuží pro rampu. Výztuž pro navázání rampy bude zafixována.
3. Po zabetonování nižší stropní desky po pracovní spáru pro napojení rampy a vybetonování stěny po spodní hranu stropní desky vyššího podlaží, bude vytvořeno bednění stropní desky vyššího podlaží a rampy.
4. Po vyvázání výztuží bude stropní deska vyššího podlaží zabetonována po pracovní spáru pro napojení rampy.
5. Poté teprve můžeme zabetonovat rampu.

Díky tomuto postupu dojde k ideálnímu propojení všech částí.

3. Materiálové charakteristiky

3.1 Beton C30/37

Všechny svislé i vodorovné nosné konstrukce jsou navrženy z betonu pevnostní třídy C30/37, s vlivem prostředí XD3 pro střídavě mokré a suché prostředí parkovišť a části vystavené postřikům a obsahujícím chloridy. Výsledné krytí je vloženo ve statickém výpočtu u každého prvku.

$f_{ck} := 30 \text{ MPa}$	Charakteristická pevnost betonu v tlaku
$f_{cd} := 20 \text{ MPa}$	Návrhová pevnost betonu v tlaku
$f_{ctm} := 2,9 \text{ MPa}$	Pevnost betonu v tahu
$E_{cm} := 33 \text{ GPa}$	Modul pružnosti betonu
$\varepsilon_{cu3} := 3,5 \text{ ‰}$	Mezní přetvoření betonu

3.2 Ocel B500B

Veškeré řešené části železobetonové konstrukce jsou vyztuženy žebříkovou betonářskou výztuží pevnostní třídy B500B.

$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$	Charakteristická mez kluzu
$f_{yd} := 434,78 \text{ MPa}$	Návrhová pevnost oceli v tahu a tlaku
$E_s := 200 \text{ GPa}$	Modul pružnosti oceli
$\varepsilon_{yd} := 0,002175 \text{ ‰}$	Minimální přetvoření výztuže

4. Zatížení

4.1 Stálé

Mezi stálé zatížení je uvažována vlastní tíha stropů, stěn, sloupů a je vygenerována programem RFEM. Vlastní tíha schodiště byla přepočtena na liniové zatížení na okraj desky. Zemní tlaky byly přepočteny na plošné trojúhelníkové zatížení působící na stěny s hodnotou rostoucí k základové spáře objektu.

4.2 Proměnné

Strop je zařazen dle normy ČSN EN 1992-1-1 do zatěžovací kategorie plochy F - stropní deska. Schodiště je zařazeno do kategorie A – schodiště. Nahodilé zatížení na schodišťovém rameni bylo přepočteno na liniové zatížení na hranu plochy. Detailnější popis těchto zatěžovacích stavů můžeme nalézt v příloze P3.1- zatěžovací stavy.

5. Kombinace

V programu Dlubal RFEM byly ručně vytvořeny zatěžovací stavy, které byly ručně rozřazeny do zatěžovacích kategorií dle typu působení zatížení (stálé, nahodilé).

Dle kombinačních pravidel respektující součinitele z normy, byly využity 4 základní kombinační skupiny s maximálními účinky – jedna pro mezní stav únosnosti a zbylé tři pro mezní stav použitelnosti (MSP).

V kombinačních skupinách byly jednotlivé zatěžovací stavy od nahodilého zatížení kombinovány mezi sebou s ohledem na hlavní proměnná zatížení a příslušná vedlejší. Tyto zatěžovací stavy byly mezi sebou prostřídány.

Výsledkem tedy byla jedna obálka od každé kombinační skupiny kde se vyskytovaly jen maximální hodnoty.

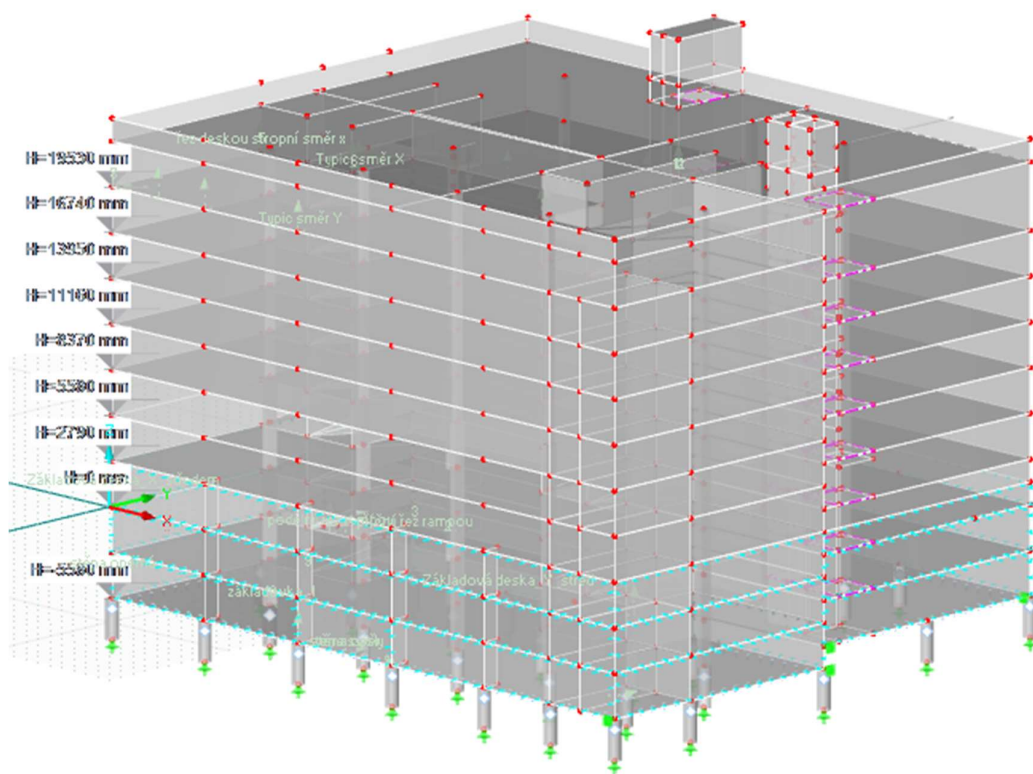
6. Kontrola a porovnání výsledků

Pro ověření správnosti zadávání modelu v Rfemu jsem si vytvořil malý model deskové konstrukce podepřený sloupy o rozměrech 3x3 pole o rozpětí 5 m. Hodnoty vypočtené pomocí MKP jsem porovnával s ruční zjednodušenou metodou sčítání momentů.

Výsledky mezi MKP a ruční metodou sčítání momentů se nejvíce shodovaly ve sloupovém pruhu ve vnitřních polích. Hodnoty se pohybují v rozmezí od cca 1% do 10 %. V krajních polích se výsledky v určitých místech liší i o víc než 50%. Proto tyto hodnoty nelze srovnávat. Rozdíl byl zapříčiněn rozdělovacím součinitelem ω , který rozděluje hodnoty na sloupový a střední pruh. Ale i přesto můžeme říct, že se lze spolehnout na výsledky, které nám model dává pomocí metody MKP. Případné další potřebné ověření hodnot můžeme provést pomocí metodou náhradních rámu.

7. Model

Desky byly modelovány pomocí deskových prvků jako spojité v celé své geometrii. Základová deska je uložena na plošné podpoře vygenerované pomocí addonu Soil in. Dále byly vymodelovány piloty jako prutové prvky podepřené v patě. Piloty byly spojeny kloubově s deskou, avšak v místě styku byl povolen smykový tedy horizontální posuv. To znamená, že pilota byla od budovy zatížena pouze svisele. Podzemní stěny byly podepřeny plošnými podporami ze strany zeminy tak. Podpora byla nastavena tak, aby nevzdorovala vnějšímu zatížení, ale naopak. Její tuhost byla vygenerována programem rfem. Pro výpočet průhybu byla vložena do programu spočítána výztuž a spuštěn nelineární výpočet jak v čase t_0 tak v čase t_∞ .



Obrázek 7.: Půdorysný pohled na stropní desku 7NP

8. Výpočetní postup

8.1 Základová a stropní deska

Deska je uvažována jako spojitá, po obvodě vetknutá. Předběžné rozměry tloušťky desky vychází z empirických vztahů, pro splnění potřebného minima a maxima. Hodnoty pro výpočet byly především brány z modelu kvůli složitosti konstrukce. Pro kontrolu byl vytvořený zjednodušený model pro ověření hodnot. Hodnoty byly ověřeny ručně pomocí metody sčítání momentů pro lokálně podepřenou desku. Jelikož v desce vnikají ohybové momenty a normálové síly, musel být použit pro posouzení výztuže interakční diagram. V základové a stropní desce byla navržena základní síť výztuže. Další místa například v okolí podepření sloupy byla doplněna o přídatnou výztuž.

Na stropní desce byl proveden nelineární výpočet pro výpočet průhybu pomocí přídatného modulu RF-CONCRETE Surface. Při výpočtu byla zohledněna šířka trhlin a dotvarování v čase t_0 a t^∞ , pokud bychom tak neučinili, mohli bychom deformaci podcenit. Deformace by bez zohlednění těchto vlivů mohla být až osminásobná v závislosti na namáhání konstrukce a okrajových podmínek. Hodnoty průhybu nepřekročily v nejkritičtějším místě limitní hodnoty pro dané rozpětí.

8.2 Sloup

Ručně jsem spočítal všechny body interakčního diagramu pro posouzení prvků namáhaných ohybovým momentem a normálovou silou. Pro zjednodušení a zefektivnější práce jsem vytvořil i výpočetní model v MS Excel, který byl porovnáván s hodnotami získanými z programu Idea statica pro posouzení průřezu. Sloupy jsou uvažovány jako vetknuté po obou koncích. Štíhlostní poměr vyhověl limitním hodnotám, a proto nebylo zapotřebí uvažovat momenty druhého řádu. Díky vyšším tahům ve stropní desce vznikají vyšší hodnoty posouvajících sil i ve sloupu. Takže byl pro jistotu posouzen sloup i na smyk.

8.3 Rampa

Rampa je modelována jako obvodově vetknutá, na delších stranách do stěny a na kratších do stropní desky. Rampou byly vedeny dva na sebe kolmé řezy pro získání vnitřních sil. V rampě vnikají normálové síly, které opět vedou k použití interakčního diagramu pro návrh výztuže.

8.4 Stěna

Stěna je vetknutá po obvodě. Ovšem díky velkým zemním tlakům je stěna výrazně namáhaná na smyk. Proto bylo zapotřebí zahustit půlmetrový pás od hrany vetknutí přídatnou výztuží na smyk.

9. Závěr

V rámci diplomové práce byly zpracovány vybrané železobetonové prvky. Ty byly navrženy tak, aby vyhověly jak meznímu stavu únosnosti, tak i meznímu stavu použitelnosti. Celý objekt byl vymodelován v programu RFEM 5.31 ze kterého byly exportovány vnitřní síly pro dimenzování a průhyby. V modelu byl brán zřetel na interakci podlaží a budovy.

Pro všechny vybrané části konstrukce byl zpracovaný statický výpočet doprovázený podrobnou výkresovou dokumentací, jak tvaru konstrukce tak i výztuže.

10. Zdroje

10.1 Normy

[1] ČSN EN 1992-1-1: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

[2] ČSN EN 1992-1-1 ed. 2: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

10.2 Technické listy a weby

[3] Navrhování betonových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1992-1-1 A ČSN EN 1992-1-2.

[4] Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D., Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/BZK/svarickova.i/>

[5] Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódu. Ing. Miloš Zich, Ph.D. a kolektiv

[6] Navrhování železobetonových konstrukcí, dostupné z: <https://www.dlupal.com/-/media/Files/website/documents/manuals/rfem-and-rstab-add-on-modules/reinforced-concrete-structures/rf-concrete/rf-concrete-surfaces-manual-cs.ashx>

10.3 Software

Dlupal RFEM 5

Autocad 2024

Cadkon RCD 2022

Microsoft Office Word 365

Microsoft Office Excel 365

Idea statica 23.0

Fin

Geo 5

Schock Bole

Blockpad

11. Seznam použitých zkratk a symbolů

f_{cd} - Návrhová pevnost betonu v tlaku

f_{ck} - Charakteristická pevnost v tlaku

f_{ctd} - Návrhová pevnost betonu v tahu

f_{ctk} - Pěti procentní kvantil betonu v tahu

f_{ctm} - Průměrná pevnost betonu v tahu

f_{cm} - Průměrná pevnost betonu v tlaku

f_{yd} - Návrhová mez kluzu oceli

f_{yk} - Charakteristická mez kluzu oceli

E - Modul pružnosti

ε_{cu} - Mezní poměrné přetvoření betonu v tlaku

ε_s - Poměrné přetvoření betonářské výztuže

12. Seznam příloh

P1. Použité podklady

P2. Výkresová dokumentace

P3. Statický výpočet

13. Seznam obrázků

Obrázek 2.2.: Půdorysný pohled na stropní desku 7NP5

Obrázek 7.: Axonometrický pohled na model v programu RFEM 511