



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

NÁVRH VYBRANÝCH NOSNÝCH PRVKŮ ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE

DESIGN OF SELECTED LOAD-BEARING ELEMENTS OF REINFORCED CONCRETE
STRUCTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Strmeň

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. VOJTĚCH KOSTIHA, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	David Strmeň
Název	Návrh vybraných nosných prvků železobetonové konstrukce
Vedoucí práce	Ing. Vojtěch Kostiha, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

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

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

PODKLADY A LITERATURA

Platné technické předpisy a návrhové normy v aktuálním znění:

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí;

ČSN EN 1991-1-1 až 4: Zatížení stavebních konstrukcí;

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

ČSN EN 206 Beton: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda;

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

Další literatura dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Pro zvolený objekt proveďte statický návrh vybraných částí konstrukce. Řešení vnitřních sil proveďte pomocí dostupného MKP programu a správnost modelu ověřte vhodným zjednodušeným ručním výpočtem. Práce bude obsahovat dimenzování vybrané části konstrukce (v rozsahu dle zadání vedoucího práce), výkresy tvaru a výztuže dimenzovaných částí a prvků. Ostatní činnosti provádějte v souladu s pokyny vedoucího bakalářské práce.

Práce bude zpracována v rozsahu vědomostí studenta bakalářského studijního programu.

Požadované výstupy:

Textová část (bude obsahovat průvodní zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic).

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady, studie

P2. Statický výpočet

P3. Výkresová dokumentace

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

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

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

Ing. Vojtěch Kostiha, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je návrh a posouzení železobetonové konstrukce dvoupodlažního parkovacího domu na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Součástí práce je návrh lokálně podepřené stropní desky nad 1.NP včetně návrhu sloupů. Analýza vnitřních sil na desce je provedena pomocí softwaru SCIA Engineer a ověřena ručním výpočtem metodou náhradních rámu. Nedílnou součástí práce je i výkresová dokumentace navrhovaných prvků.

KLÍČOVÁ SLOVA

Železobeton, lokálně podepřená deska, sloup, metoda náhradních rámu

ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis is to design and assess the reinforced concrete structure of a two-storey car park for ultimate limit state and serviceability limit state. The thesis includes the design of a locally supported slab over the 1st floor, including the design of columns. The analysis of the internal forces on the slab is carried out using SCIA Engineer software and verified by manual calculation using the alternate frame method. Drawing documentation of the proposed elements is an integral part of the work.

KEYWORDS

Reinforced concrete, locally supported slab, column, replacement frame method

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

David Strmeň *Návrh vybraných nosných prvků železobetonové konstrukce*. Brno, 2022. 5 s., 87 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Vojtěch Kostiha, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Návrh vybraných nosných prvků železobetonové konstrukce* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 16. 5. 2022

David Strmeň
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh vybraných nosných prvků železobetonové konstrukce* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 16. 5. 2022

David Strmeň
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval za profesionální vedení Ing. Vojtěchu Kostihovi, Ph.D, při zpracování této práce. Za jeho čas a ochotu při konzultacích a vysvětlení problematiky související s prací, včetně cenných rad do profesního života.

OBSAH

1. ÚVOD	9
2. POPIS KONSTRUKCE.....	9
2.1. ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE.....	9
2.2. VODOROVNÉ KONSTRUKCE.....	9
2.3. SVISLÉ KONSTRUKCE	9
3. MATERIÁLY	10
4. ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE.....	10
4.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ	11
4.2. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ	11
4.3. MIMOŘÁDNÉ ZATÍŽENÍ.....	11
5. KOMBINACE	11
6. VNITŘNÍ SÍLY	11
7. DIMENZOVÁNÍ DESKY	12
7.1. OHYBOVÁ VÝZTUŽ	12
7.2. VÝZTUŽ PROTI PROTLAČENÍ.....	12
8. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI	12
9. DIMENZOVÁNÍ SLOUPŮ	13
10. ZÁVĚR	13
11. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	14
12. POUŽITÝ SOFTWARE.....	14
13. SEZNAM PŘÍLOH.....	15

1. ÚVOD

Předmětem této bakalářské práce je návrh železobetonové lokálně podepřené stropní desky nad 1.NP a sloupů parkovacího domu v Brně. Konstrukce byla vymodelována a analyzována v programu SCIA Engineer, který funguje na základě metody konečných prvků. Řešený objekt byl vytvořen jako 3D model a jeho správnost byla ověřena zjednodušeně ručním výpočtem pomocí metody náhradních rámu.

2. POPIS KONSTRUKCE

Jedná se o dvoupodlažní objekt parkovacího domu obdélníkového tvaru s plochou pochozí střechou, která nezastřešuje celou parkovací plochu. Posuzovaný objekt je z části zasazen do terénu. Z jedné kratší strany je zcela zasypán zeminou, po delších stranách násyp zeminy postupně mizí. Strany zatížené zeminou jsou konstrukčně řešeny železobetonovými stěnami. Odkryté strany mají navržen lehký obvodový plášť ze svislých dřevěných fošen sloužící pouze k odstínění a estetickému ztvárnění. Půdorysné rozměry pater určených k parkování jsou 64,7 x 16,6 m. Rozměr pochozí střechy je pak 26,3 x 16,6 m. Konstrukční výška pater je 3,4 m.

Konstrukce je navržena jako monolitická, tvořená systémem lokálně podepřených stropních desek podepřených svislými sloupy a po obvodě v místě násypu zeminy obvodovými železobetonovými stěnami. Monolitické stěny zároveň zajišťují ztužení celé konstrukce.

2.1. ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE

Základové konstrukce nejsou předmětem této práce. Předpokladem jsou základové patky podírající sloupy a základové pásy pod obvodovými železobetonovými zdmi.

2.2. VODOROVNÉ KONSTRUKCE

Řešená stropní deska nad 1.NP je navržena jako lokálně podepřená s konstantní tloušťkou 300 mm a s ortogonální výztuží orientovanou v obou směrech při horním i dolním povrchu.

Posouzení a návrh desky byl řešen pro mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti.

2.3. SVISLÉ KONSTRUKCE

Svislou nosnou konstrukci tvoří rastr obdélníkových sloupů. Průřez sloupu byl navržen jednotně o rozměrech 200 x 400 mm a vychází z předběžného návrhu pro nejzatíženější sloup nesoucí navrhovanou desku i konstrukci střechy. Pro sloupy byla následně navržena výztuž a provedeno posouzení pomocí interakčního diagramu. Další podporující prvek je obvodová stěna zatížená svislou reakcí podlaží a zároveň vodorovnými účinky zemního tlaku. Tloušťka stěny byla předběžně stanovena na 300 mm.

3. MATERIÁLY

Pro návrh desky i sloupů byl použit beton třídy C30/37 a betonářská ocel třídy B500B. K rozdílu dochází pouze u třídy prostředí, která je u desky uvažována jako XD3 a u sloupu XD1.

BETON C30/37 – XD1/3 – Dmax16 – S4

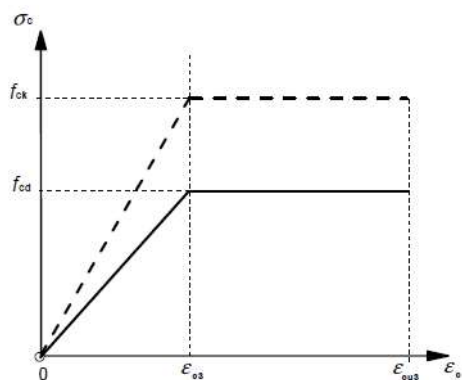
$\gamma_c = 1,5$	Součinitel spolehlivosti
$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$	Charakteristická válcová pevnost v tlaku
$f_{cd} = 20 \text{ MPa}$	Návrhová pevnost v tlaku
$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$	Střední hodnota pevnosti betonu v tahu
$f_{ctk,0,05} = 2 \text{ MPa}$	5% kvantil pevnosti v tahu
$f_{ctd} = 1,33 \text{ MPa}$	Návrhová pevnost v tahu
$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$	Modul pružnosti betonu
$\epsilon_{cu2} = 3,5 \text{ ‰}$	Mezní poměrné přetvoření betonu
$\epsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰}$	Mezní přetvoření na mezi únosnosti

OCEL B500B

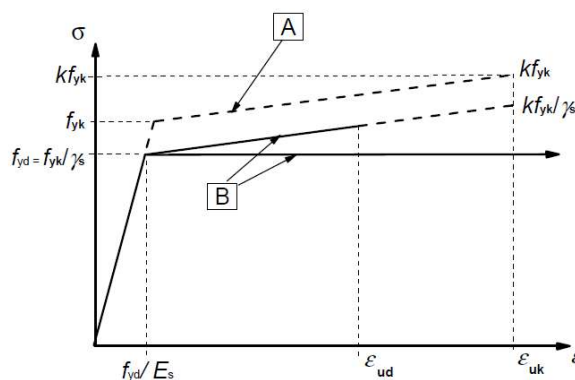
$\gamma_s = 1,15$	Dílčí součinitel spolehlivosti oceli
$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$	Charakteristická mez kluzu oceli
$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$	Návrhová mez kluzu oceli
$\epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$	Poměrné přetvoření při dosažení meze kluzu oceli
$E_s = 200 \text{ GPa}$	Modul pružnosti betonářské oceli

POUŽITÉ PRACOVNÍ DIAGRAMY:

Dle ČSN EN 1992-1-1



Obr. 1 Použitý pracovní diagram betonu



Obr. 2 Použitý pracovní diagram oceli, (A-idealizovaný, B-návrhový)

4. ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE

Zatížení konstrukce je stanoveno dle ČSN EN 1991-1-1, ČSN EN 1991-1-3, ČSN EN 1991-1-4 a ČSN EN 1991-1-7.

4.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ

Je uvažováno plošné zatížení od vlastní tíhy desky, sloupů, navrhované skladby vozovky a střešního pláště. Další stálé zatížení je způsobeno lehkým obvodovým pláštěm a vyzdívkou, resp. atikou působící na okraji desky jako liniové zatížení. Nedílnou součástí stálého zatížení je také zatížení od zemního tlaku, který působí na obvodové stěny plošně ve vodorovném směru.

4.2. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

Dle kategorie zatěžovacích ploch stanovené jako kategorie F – Parkovací plochy, bylo plošné užité zatížení stanoveno na hodnotu 2,5 kN/m². Obdobně bylo definováno i zatížení pochozí střechy jako kategorie C1 s hodnotou plošného zatížení 3,0 kN/m². Zatížení lokálním působením nápravových sil není uvažováno, protože nezpůsobuje extrémní hodnoty.

Zatížení sněhem bylo stanoveno dle normy, ale není uvažováno se souběhem proměnného zatížení dle kategorie zatěžovací plochy a zatížení sněhem. Z toho důvodu je počítáno pouze s proměnným zatížením, které má vyšší hodnotu.

Vodorovné zatížení větrem působí na konstrukci spíše příznivě, a proto bylo ve výpočtu zanedbáno.

Zatížení je rozděleno do několika zatěžovacích stavů – plné po celé ploše, šachovnicové a v pásech. Účelem rozmístění užitého zatížení je vyvození extrémního zatížení na posuzované konstrukci.

4.3. MIMOŘÁDNÉ ZATÍŽENÍ

Pro návrh a posouzení sloupů bylo uvažováno s mimořádným zatížením od nárazu vozidla, které se má stanovit ekvivalentním statickým zatížením. To je uvažováno jako bodová síla $F_{dx} = 50$ kN ve směru jízdy a $F_{dy} = 25$ kN ve směru kolmém. Síly působí ve výšce 0,5 m nad úrovní vozovky. Tyto hodnoty vycházejí z normy ČSN EN 1991-1-7 a odpovídají provozu osobních vozidel na uzavřené ploše s hromadnými garážemi při malé rychlosti. Byl posouzen nejvíce nepříznivý stav, a to ve směru nejmenší tuhosti sloupu s největší působící silou.

5. KOMBINACE

Pro stanovení největšího namáhání konstrukce od jednotlivých zatěžovacích stavů jsou použity kombinační rovnice 6.10a a 6.10b dle ČSN EN 1990. Na maximální hodnotu z těchto kombinací je dále dimenzována výztuž desky a sloupů. Pro výpočet mezních stavů byly spočteny i kombinace charakteristická (6.14b) a kvazistálá (6.16b). Ve výpočtu a posouzení sloupu se také uvažuje s mimořádnou návrhovou kombinací 6.11b.

V modelu jsou použity automaticky generované kombinace programem SCIA Engineer, které byly ověřeny ručním výpočtem.

6. VNITŘNÍ SÍLY

K výpočtu vnitřních sil byl použit program SCIA Engineer, kde byla konstrukce vymodelována jako 3D model celé konstrukce (tzn. obou pater). Použity byly plošné

prvky jako stěny a desky a 1D dílce definující sloupy. Zatížení od přízdívky, atiky a lehkého obvodového pláště byly definovány jako liniové zatížení na hranách desky, ostatní zatížení byla definována jako plošná. Program SCIA Engineer provádí výpočet pomocí metody konečných prvků, která spočívá v rozdělení konstrukce na konečný počet prvků, pro které provádí jednotlivé výpočty. Přesnost výpočtu a průběhu vnitřních sil závisí na nastavení hustoty sítě, která rozděluje konstrukci na jednotlivé prvky. V tomto případě byla zvolena průměrná velikost plošného/zakřiveného prvku 0,3 m, což odpovídá tloušťce desky.

Ruční ověření správnosti modelu bylo provedeno metodou náhradních rámců. Tato metoda je zjednodušená a spočívá v převedení konstrukce na tzv. náhradní rámcový výsek, pro který se spočtou vnitřní síly a následně přerozdělí pomocí sloupových a středních pásů na celou desku. Výsledné hodnoty byly porovnány s hodnotami získanými z programu.

7. DIMENZOVÁNÍ DESKY

Vnitřní síly byly převzaty z programu SCIA Engineer a dále byly upraveny pomocí funkce „průměrovací pás“, který simuluje rozdělení do sloupových a středních pásů. K návrhu ohybové výztuže byly použity základní návrhové veličiny, které zahrnují i působení kroutících momentů.

7.1. OHYBOVÁ VÝZTUŽ

Návrh výztuže byl proveden pro směr X a Y, přičemž směr X je více namáhaný, a proto je výztuž rovnoběžná s tímto směrem umístěna blíže povrchu.

Při návrhu hlavního rastru byly brány v potaz konstrukční zásady včetně minimální plochy výztuže. Hlavní rastr je navržen z prutů Ø8 po 130 mm v obou směrech při horním i dolním povrchu. Následně byla únosnost hlavního rastru přenesena to programu SCIA Engineer, kde byly graficky znázorněny místa nedostatečné únosnosti, pro které bylo nutné navrhnout dovyztužení pomocí příložek vkládaných do mezer hlavního rastru.

Součástí ohybové výztuže desky je i návrh a posouzení výztuže proti řetězovému zřícení, která je navržena z 6 prutů Ø16 nad každým sloupem v obou směrech.

7.2. VÝZTUŽ PROTI PROTLAČENÍ

Další řešenou problematikou byl návrh smykových lišt, které jsou součástí výztuže lokálně podepřené desky. Jejich provádění je jednodušší oproti vyztužení pomocí žebříků. Jsou zvoleny smykové lišty od výrobce Schöck BOLE®, které se zasunou mezi rastr provedené výztuže. Byl proveden ruční výpočet návrhu lišt pro charakteristická místa konstrukce a výsledky byly porovnány s programem pro návrh přímo od výrobce Schöck BOLE®.

8. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Posouzení mezního stavu – průhybu bylo provedeno jak zjednodušeně pomocí limitní ohybové štíhlosti, tak i stanovením průhybu desky a přímým porovnáním s limitními hodnotami. Při výpočtu průhybu byly ověřeny omezující hodnoty poměru

rozpětí k účinné výšce průřezu. Tyto hodnoty splňují podmínku, a proto lze předpokládat, že průhyby nepřekročí mezní hodnotu průhybu pro kvazistálou kombinaci zatížení.

Výsledné složky průhybu byly doloženy programem SCIA Engineer, který průhyby spočetl nelineárním výpočtem.

Verze programu SCIA Engineer 21 a novější umí do nelineárního výpočtu průhybu zahrnout i vliv smrštění. Tato složka průhybu byla následně ověřena ručním výpočtem.

9. DIMENZOVÁNÍ SLOUPŮ

Další částí této práce je návrh a posouzení sloupů podpírající navrhovanou desku. Sloupy byly rozděleny do několika skupin podle zatížení a následně proveden návrh výztuže a posouzení únosnosti pomocí interakčního diagramu.

10. ZÁVĚR

Konstrukce parkovacího domu byla analyzována pomocí 3D modelu v programu SCIA Engineer za použití metody konečných prvků. Správnost modelu byla následně ověřena ručním výpočtem vnitřních sil metodou náhradních rámců. Výsledky obou výpočtů jsou shrnuty ve statickém výpočtu a porovnány v tabulkách. Vzniklá odchylka vyjádřená v procentech je způsobena zavedeným zjednodušením okrajových podmínek, například zanedbáním vlivu obvodových železobetonových stěn, které ovlivňují redistribuci ohybových momentů v ověřovaném rámovém výseku. Pro návrh výztuže jsou použity přesněji stanovené vnitřní síly z programu, jehož výsledky více odpovídají reálné konstrukci.

Navrhovaná konstrukce byla následně posouzena na mezní stav použitelnosti, pro který byly vykresleny jednotlivé složky průhybu za pomocí nelineárního softwarového výpočtu. Součástí softwarových výpočtů je i vliv smršťování betonu, který byl ověřen a porovnán s ručním výpočtem.

Poslední výpočtovou částí této práce je návrh a posouzení železobetonových sloupů podpírající stropní desku nad 1.NP.

Na základě zmíněných výpočtů byla vypracována výkresová dokumentace výztuže desky a sloupů.

11. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

ČSN EN 1990 ed. 2. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 73 0002.*

ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2004. Třídící znak 73 0035.*

ČSN EN 1991-1-3 ed. 2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. Třídící znak 73 0035.*

ČSN EN 1991-1-4 ed. 2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007. Třídící znak 73 0035.*

ČSN EN 1991-1-7 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-7: Obecná zatížení – Mimořádná zatížení. Praha: Český normalizační institut, 2007. Třídící znak 73 0035.*

ČSN EN 1992-1-1 ed. 2. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 73 1201.*

ČSN EN 206+A2. *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021. Třídící znak 73 2403.*

12. POUŽITÝ SOFTWARE

SCIA Engineer

GEO5

Autodesk AutoCAD 2020

Schöck BOLE®

Microsoft Office Word 365

Microsoft Office Excel 365

13. SEZNAM PŘÍLOH

P1. Statický výpočet

P2. Přílohy statického výpočtu

P2.1 – Zatížení zemním tlakem

P2.2 – Protokol výpočtů Schöck BOLE®

P2.3 – Výkres dispozičního řešení 1.NP

P2.4 – Výkres dispozičního řešení 2.NP

P3. Výkresová dokumentace

P3.1 – Výkres tvaru desky D1

P3.2 – Výkres výztuže dolního povrchu

P3.3 – Výkres výztuže proti řetězovému zřícení

P3.4 – Výkres výztuže horního povrchu

P3.5 – Výkres výztuže sloupů