



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 NOSNÉ KONSTRUKCE Z ŽELEZOBETONU

DESIGN OF RC STRUCTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Vlk

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vojtěch Kostiha, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav betonových a zděných konstrukcí
Student: **Adam Vlk**
Vedoucí práce: **Ing. Vojtěch Kostiha, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24
Studijní program: B0732A260005 Stavební inženýrství
Studijní obor: Pozemní 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 bakalářské práce:

Návrh nosné konstrukce z železobetonu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalář na základě předaných podkladů provede návrh vybraných částí monolitických železobetonových nosných konstrukcí/prvků objektu bytového domu. Rozsah navrhované části bude specifikován vedoucím bakalářské práce. Závěrečná práce bude zpracována v souladu s metodikou BIM. Stanovení vnitřních sil na řešených prvcích bude provedeno pomocí vhodného MKP programu s případnou kontrolou dílčích výsledků zjednodušenými ručními výpočty. Zjednodušení lze provádět podle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Cíle a výstupy bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je návrh části/vybraných prvků monolitické železobetonové nosné konstrukce objektu bytového domu a to v souladu s platnými normami a podle pokynů vedoucího práce. Výstupem práce bude statický výpočet vybrané části konstrukce, výkres tvaru a výkresy výztuže dimenzované části v podrobnosti realizační dokumentace. Dalším výstupem bude digitální model stavby (DIMS), resp. jeho dílčí část dle profesního zaměření, předaný ve vhodném datovém formátu. Výkresy, tj. tištěná podoba dokumentace, by měla vycházet z digitálního modelu, stejně jako výkazy apod. Ostatní činnosti a případná zjednodušení zadané konstrukce budou provedena v souladu s pokyny vedoucího bakalářské práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje zprávu a ostatní náležitosti dle platných směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady

P2. Výkresová dokumentace (v rozsahu určeném vedoucím práce)

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím práce)

P4. Digitální model dílčí části stavby ve vhodném datovém formátu (např. IFC)

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě.

Seznam doporučené literatury a podklady:

Studie řešeného objektu (zpracovaná v rámci souvisejícího zadání bakalářské práce ve specializaci pozemní stavitelství) předaná ve vhodném datovém formátu.

Platné předpisy a normy (včetně změn a oprav):

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí;

ČSN EN 1991-1 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 bakalářské práce.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 30. 11. 2023

L. S.

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

Ing. Vojtěch Kostih, Ph.D.
vedoucí práce

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a statickým posouzením vybraných částí monolitických železobetonových nosných konstrukcí bytového domu s použitím metodiky BIM. Návrh proběhl v programu SCIA Engineer a následně ověřen ručními výpočty, na základě výsledků z MKP byl stanoven optimální návrh vyztužení. Podle statického výpočtu se vytvořil digitální 3D model vyztužení, výkresová dokumentace a technická zpráva. Při návrhu konstrukcí se postupovalo podle platné normy ČSN EN 1992-1-1 - EC2.

KLÍČOVÁ SLOVA

BIM (Building Information Modelling), křížem vyztužená železobetonová deska, železobetonové trámy, výpočtový model SCIA Engineer, digitální 3D model

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the design and static assessment of selected parts of monolithic reinforced concrete load-bearing structures of an apartment building using the BIM methodology. The design was carried out in the SCIA Engineer software and subsequently verified by manual calculations, based on the results from the FEM, the optimal reinforcement design was determined. According to the static calculation, a digital 3D model of reinforcement, drawing documentation and a technical report were created. The constructions were designed in accordance with the applicable standard ČSN EN 1992-1-1 - EC2.

KEYWORDS

BIM (Building Information Modelling), two-way reinforced concrete slab, reinforced concrete beams, SCIA Engineer calculation model, digital 3D model

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VLK, Adam. *Návrh nosné konstrukce z železobetonu*, 14 s., počet příloh 146 s. Brno, 2024. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí Ing. Vojtěch Kostihá, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Návrh nosné konstrukce z železobetonu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 23. 5. 2024

Adam Vlk
autor

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh nosné konstrukce z železobetonu* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23. 5. 2024

Adam Vlk
autor

PODĚKOVÁNÍ

Především děkuji mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Vojtěchu Kostihovi, Ph.D., za lidský přístup, spoustu cenných rad, předané vědomosti, ochotu a vstřícnost při všech konzultacích. Rád bych poděkoval mé rodině, především svým rodičům, a přátelům, jejichž podpora byla při studiu a samotném zpracování bakalářské práce klíčová a v poslední řadě i kolegům z řad studentů, kteří mi pomohli vždy když jsem potřeboval.

Děkuji vám.

OBSAH

1. ÚVOD
2. POPIS OBJEKTU
3. POPIS NOSNÉHO SYSTÉMU OBJEKTU
 - 3.1. ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE
 - 3.2. SVISLÉ KONSTRUKCE
 - 3.3. VODROVNÉ KONSTRUKCE
 - 3.3.1. STROPNÍ DESKA
 - 3.3.2. TRÁMY
4. RUČNÍ METODY VÝPOČTU
5. ZATÍŽENÍ
 - 5.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ
 - 5.2. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ
 - 5.3. ZATĚŽOVACÍ STAVY
 - 5.4. KOMBINACE
6. VÝPOČTOVÝ MODEL
7. MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY
 - 7.1. BETON
 - 7.2. BETONÁŘSKÁ OCEL
8. DIMENZOVÁNÍ
 - 8.1. STROPNÍ DESKA
 - 8.2. TRÁMY
 - 8.2.1. TRÁM T_1
 - 8.2.2. TRÁM T_2
 - 8.3. ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE
9. ZÁVĚR
10. ZDROJE
 - 10.1. POUŽITÁ LITERATURA
 - 10.2. INTERNETOVÉ ZDROJE
 - 10.3. NORMY
11. POUŽITÝ SOFTWARE

1. ÚVOD

Hlavním úkolem práce je návrh a dimenzování vybraných částí monolitických železobetonových nosných konstrukcí bytového domu v Brně podle platných předpisů a norem a jejich následné ztvárnění ve 3D modelu. Vybrané části jsou stropní deska nad 1. podzemním podlažím a trámy podírající stropní desku nad 1. podzemním podlažím, okrajově na žádost studenta z ústavu pozemních staveb byly stanoveny rozměry základových konstrukcí pod nejzatíženějšími nosnými obvodovými a středními nosnými stěnami, dále se bakalářská práce základy nezabývala. Pro výpočet vnitřních sil byl použit výpočetní program SCIA Engineer, jehož výsledky jsem ověřil ručním výpočtem. Výztuž jednotlivých konstrukcí byla namodelována ve 3D prostoru v programu TEKLA STRUCTURES, kde se podle namodelované skutečnosti tvořily výkresy a 3D modely jednotlivých prvků.

Dalším úkolem práce je komunikace a předávání informací mezi jednotlivými studenty zpracovávající společný projekt bytového domu v Brně a následné vytvoření kompletního digitálního modelu stavby spojením jednotlivých dílčích stavebních částí.

Komunikace a předávání informací mezi mnou (Ústav betonových a zděných konstrukcí – BZK), slečnou Terezou Jiránkovou (Ústav technických zařízení budov – TZB) a panem Vedatem Demirkiranem (Ústav pozemního stavitelství – PST) probíhala pomocí osobních setkání, v programech Microsoft Teams a Trimble Connect. Veškeré informace o spolupráci a rozdělení dílčích bakalářských prací na projektu bytového domu v Brně jsou obsaženy v dokumentu: Plán realizace BIM – (BEP), který bude přílohou u všech souvisejících bakalářských prací.

2. POPIS OBJEKTU

Jedná se o novostavbu bytového domu situovanou ve městské části Brno – Komín. Objekt má 4 nadzemní podlaží a jedno podzemní podlaží, které slouží jako garáž pro majitele bytů. Bytový dům má půdorysné rozměry 21,6 x 18,6 m, podzemní podlaží je rozšířeno a má půdorysný rozměr 21,6 x 21,3 m. Objekt je zastřešen plochou vegetační střechou. Nosné konstrukce v podzemním podlaží jsou tvořeny z železobetonu třídy C30/37, jedná se o základové konstrukce, obvodové a střední nosné stěny a křížem vyztuženou stropní desku s železobetonovými trámy. V ostatních podlažích jsou stěny zděny z keramických bloků POROTHERM. Obvodové nosné stěny jsou z bloků šířky 300 mm, střední nosné stěny z bloků šířky 250 mm a nenosné stěny z příček tloušťky 115 mm. Stropní konstrukce je řešena jako křížem vyztužená stropní deska s trámy z železobetonu v místech zvýšeného zatížení.

3. POPIS NOSNÉHO SYSTÉMU OBJEKTU

3.1. ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE

Objekt je založen na základových pasech z železobetonu. Pod obvodovou zdí bude pas o rozměrech 1,25 x 0,4 m (š x v). Pasy pod střední nosnou stěnou jsou rozčleněny podle zatížení, v místě největšího namáhání bude pas o rozměrech 1,5 x 0,4 m a v místech menšího zatížení bude pas užší, tedy 1,25 x 0,4 m. Základy budou z železobetonu třídy C30/37, ocel třídy B500B, stupeň vlivu prostředí XC2.

3.2. SVISLÉ KONSTRUKCE

Svislé nosné konstrukce v nadzemních podlažích jsou zděny z cihelných bloků. Pro obvodovou stěnu jsou použity bloky šířky 300 mm, pro střední nosné stěny jsou

použity bloky šířky 250 mm, příčky jsou vyžděny z cihelných bloků šířky 115 mm. V suterénu jsou obvodové stěny zhotoveny z železobetonu C30/37 o tloušťce 350 mm, střední nosné stěny jsou tvořeny také z železobetonu o šířce 250 mm. Tyto stěny kromě přenosu svislého zatížení přebírají i funkci vodorovného ztužení.

3.3. VODOROVNÉ KONSTRUKCE

- **STROPNÍ DESKA**

Stropní deska je zamýšlena jako obousměrně pnutá o typických rozměrech pole 4 x 6,7 m. Tloušťka stropní desky je 160 mm. V řešené desce se vyskytuje jeden větší prostup pro schodiště a výtahovou šachtu. Deska je vyhotovena z železobetonu třídy C30/37.

- **TRÁMY**

V místech vyššího lokálního namáhání je stropní deska zesílena trámem. Rozměry trámu T1 jsou 0,25 x 7,05 x 0,5 m. Trám působí jako prostý nosník a je orientovaný v příčném směru. Trám T2 je orientovaný v podélném směru, má základní rozměr 0,25 x 4,25 x 0,5 a působí jako spojitý nosník. Trámy jsou vyhotoveny z betonu třídy C30/37, vyztuženy prutovou výztuží oceli třídy B500B.

4. RUČNÍ METODY VÝPOČTU

Ve snaze ověřit model, který byl namodelován v programu s metodou konečných prvků (dále MKP) jsem použil celkem dvě ruční metody. První metodou je proužková metoda (metoda náhradních nosníků), která funguje na principu rovnosti průhybů v jednotlivých směrech. Využitím rovnosti vzniknou rovnice jejichž řešením je přerozdělovací součinitel α , pomocí kterého se následně rozdělí zatížení v jednotlivých směrech. Tato metoda překročila stanovenou odchylku (cca do 20 % rozdílu). Důvodem nepřesnosti metody je poměr rozpětí blízký se k limitnímu poměru rozpětí pro tuto metodu (1:2) a zejména nezohledněním různé tuhosti podepření, a proto jsem pro ověření správnosti zvolil jinou metodu. Zvolenou metodou je metoda rámových výseků, která lépe popisuje chování konstrukce, zejména vliv tuhosti podpor. Tato metoda již splnila požadovanou odchylku, tím potvrdila správnost numerického modelu stropní desky a věrohodnost vnitřních sil, na které byla následně navržena výztuž stropní desky.

5. ZATÍŽENÍ

5.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ

Stálé zatížení se skládá z vlastní tíhy desky a balkónů, liniového zatížení na trámy a plošného zatížení od podlah a příček.

5.2. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

Proměnné zatížení je uvažováno jako plošné podle normové hodnoty z ČSN EN 1991-1-1 pro kategorii A – plochy pro domácí a obytné činnosti. Charakteristická hodnota pro stropní desky $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$, balkony a schodiště $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$, zábradlí $q_k = 0,5 \text{ kN/m}$.

Objekt se nachází ve II. sněhové oblasti. Součinitel zatížení sněhem pro danou lokaci stavby je $s = 0,8 \text{ kN/m}^2$. Pro větrovou oblast II je součinitel tlaku od větru $q_p = 0,58 \text{ kPa}$.

5.3. ZATĚŽOVACÍ STAVY

Pro stropní desku a trámy bylo vytvořeno celkem 11 zatěžovacích stavů, z toho 5 pro stálé zatížení, zbylých 6 pro vyvození nejnepříznivějšího účinku zatížení.

5.4. KOMBINACE

Konstrukce jsem navrhoval pouze na mezní stav únosnosti. Použil jsem tedy rovnice 6.10, 6.10.a a 6.10b. Nechal jsem si vytvořit automatické kombinace v programu SCIA Engineer. V kombinaci jsou použity zvyšující součinitele $\gamma_G = 1,35$ (u rovnice 6.10b se součinitel vynásobí redukčním součinitelem 0,85, tam je hodnota $\gamma_G = 1,15$) pro stálé zatížení a $\gamma_Q = 1,5$ pro proměnné zatížení. Navrhované prvky vyhoví na požadavky z hlediska MSÚ.

6. VÝPOČTOVÝ MODEL

Model je zpracován ve 2D prostoru v programu SCIA Engineer. Desková konstrukce má rozměry 21200x20900 mm (statické schéma), desku podpírají stěny z železobetonu a železobetonové trámy. Mezi obvodovými stěnami a deskou uvažuji podporu jako vetknutou, tedy bráním pootočení v příslušném směru a střední nosné stěny uvažuji jako tuhé pouze ve směru Z. Meshování sítě pro výpočet MKP jsem nastavil na 100 mm, což je při tloušťce desky 160 mm dostatečné.

7. MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Betonové prvky jsou z betonu třídy C30/37, betonářská výztuž třídy B500B. Třída prostředí desky a trámů je XC1, základů XC2.

7.1. BETON

C30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

7.2. BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ

B500B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500/1,15 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

8. DIMENZOVÁNÍ

8.1. STROPNÍ DESKA

Stropní desku nad 1. PP jsem navrhl na mezní stav únosnosti (dále MSÚ). Dimenzování na ohyb pro horní i spodní líc desky, tedy kladné i záporné momenty viz P3. Statický výpočet. Pro oba líce v obou směrech jsem navrhl základní rastr $\emptyset 8/200$ mm, ten mi vykryl většinu zatížení, tam kde hodnota na straně tažených vláken převyšovala základní rastr, jsem přidal příložky $\emptyset 8/200$ mm (zhuštění dohromady tedy $\emptyset 8/100$ mm). Deska přenesla vzniklé smykové namáhání sama, takže nebylo nutné navrhovat smykovou výztuž.

8.2. TRÁMY

Stropní trámy podpírající desku nad 1.PP jsem navrhl na MSÚ. Dimenzování na ohyb pro nadpodporové i mezipodporové momenty proběhlo obdobně, viz P3. Statický výpočet.

- **TRÁM T₁**

Horní okraj jsem vyztužil 4 Ø20 a spodní okraj 6 Ø16. Trám již na smyk sám nevyhověl, a proto jsem navrhl smykovou výztuž – třmínky. Dimenzování na smyk vedlo k rozčlenění trámu na 3 podoblasti – podporovou, zapodporovou a pole. V podporové oblasti jsem navrhl Ø8/100 mm (do cca 1,2 m), zapodporová oblast je vyztužena Ø8/150 mm (cca 1,2 – 2 m) a oblast pole vykryla zbytek posouvací síly vyztužením Ø8/250 mm.

- **TRÁM T₂**

Horní okraj jsem vyztužil 2 Ø16 a spodní okraj 2 Ø14. Trám již na smyk sám nevyhověl, a proto jsem navrhl smykovou výztuž – třmínky. Dimenzování na smyk vedlo k rozčlenění trámu na 2 podoblasti – podporovou a pole. V podporové oblasti jsem navrhl Ø8/200 mm (do cca 0,5 m) a oblast pole vykryla zbytek posouvací síly vyztužením Ø8/300 mm.

8.3. ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE

Návrh rozměrů základových pasů byl zpracován na základě žádosti od studenta z ústavu pozemního stavitelství, který se mnou spolupracoval na společném projektu.

Pracoval jsem se zeminou třídy F4 – pevná. Stanovil jsem únosnost základové půdy a zatížení od vrchní stavby. Zatížení působící na základovou půdu jsem podělil zamýšlenou plochou základu a získal napětí, které základová půda musí být schopna přenést. Tímto způsobem jsem navrhl základ pod nejzatíženější obvodovou a střední nosnou stěnou.

9. ZÁVĚR

Mnou navrhnuté vybrané prvky z železobetonu vyhoví na požadavky MSÚ, viz P3. Statický výpočet. Pro návrh jednotlivých prvků jsem zpracoval výkresovou dokumentaci vyztužení, viz P2. Výkresová část. Výpočty a výkresová dokumentace je spojena v digitálním modelu objektu, tedy modelu stropní desky, trámů a vyztužení, viz P4. Digitální model dílčí části stavby.

10. ZDROJE

10.1. POUŽITÁ LITERATURA

- BAŽANT, Zdeněk. Betonové konstrukce I – modul CS3 – Betonové konstrukce plošné – Část 1

10.2. INTERNETOVÉ ZDROJE

- Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D., Dostupné z:
<https://www.fce.vutbr.cz/bzk/svarickova.i/>
- ŠTĚPÁNEK, Petr, TERZIJSKI, Ivailo, LÁNÍKOVÁ, Ivana, PANÁČEK, Josef, ŠIMŮNEK, Petr. BL001 Prvky betonových konstrukcí – výukové texty, příklady a pomůcky, Dostupné z:
<https://www.bzk.fce.vutbr.cz/wp-content/uploads/sites/6/2019/02/OPVK-BL01-Final-190220.pdf>
- Tekla support, Dostupné z:
<https://support.tekla.com>

10.3. NORMY

- ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1 až 7 Eurokód 1: Zatížení stavebních konstrukcí
- ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí.
Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

11. POUŽITÝ SOFTWARE

SCIA ENGINEER 22.0

TEKLA STRUCTURES 2023

AUTOCAD 2023

TRIMBLE CONNECT

MICROSOFT WORD

MICROSOFT EXCEL