



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

STATICKÉ ŘEŠENÍ OBJEKTU GALERIE

STRUCTURAL DESIGN OF THE GALLERY BUILDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Ryšavý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav betonových a zděných konstrukcí
Student: **Martin Ryšavý**
Vedoucí práce: **Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 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 bakalářské práce:

Statické řešení objektu galerie

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalář zpracuje návrh části nosné železobetonové konstrukce objektu galerie a to v rozsahu zadaném vedoucím práce. Statické řešení a vyšetření vnitřních sil bude provedeno pomocí zvoleného sw (RFEM, SCIA,...) s případnou kontrolou pomocí výstižné zjednodušené metody. Pro vybrané nosné prvky student navrhne a posoudí výztuž a zpracuje výkresovou dokumentaci. Podrobnější specifikace po konzultaci s vedoucím práce.

Cíle a výstupy bakalářské práce:

Návrh rozměrů železobetonové nosné konstrukce včetně statického posouzení.
Výpočet vnitřních sil dle zvoleného sw a porovnání se zjednodušenou metodou výpočtu.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní a technickou zprávu a ostatní náležitosti podle platných směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady

P2. Výkresy tvaru a výztuže (v rozsahu určeném vedoucím práce).

P3. Statický výpočet (podrobný statický výpočet nosné konstrukce metodou mezních stavů podle platných předpisů a norem v rozsahu určeném vedoucím práce)

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě .

Seznam doporučené literatury a podklady:

Základní normy (včetně všech změn a doplňků):

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 bakalářské práce

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 30. 11. 2022

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

Bakalářská práce se zabývá návrhem a statickým posouzením železobetonové stropní desky nad prvním podlažím dvoupodlažního objektu galerie. Cílem práce je vyztužení stropní desky, která je vymodelována ve studentské verzi programu Dlubal RFEM 5.30. Správnost výstupu ze softwaru je ověřena zjednodušenou ruční metodou. Práce obsahuje výkresy výztuže stropní desky a výkres tvaru.

KLÍČOVÁ SLOVA

monolitická železobetonová deska, železobeton, křížem vyztužená deska, výztuž, zatížení, zatěžovací stavy, ohybové momenty, kotevní délka, vnitřní síly

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the design and the static assessment of a reinforced concrete floor slab above the first floor of a two-story gallery building. The aim of the work is to reinforce the ceiling slab, which is modelled in the student version of the Dlubal RFEM 5.30 program. The correctness of the output from the software is verified by a simplified manual method.

KEYWORDS

cast-in-place reinforced concrete slab, reinforced concrete, two-way slab, reinforcement, load, load cases, bending moments, anchorage length, internal forces

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RYŠAVÝ, Martin. *Statické řešení objektu galerie*. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Statické řešení objektu galerie* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2023

Martin Ryšavý
autor

Poděkování

Děkuji vedoucí mé bakalářské práce Ing. Ivaně Švaříčkové Ph.D. za užitečné rady, ochotu, časovou flexibilitu a trpělivost při konzultacích.

Obsah	
1. ÚVOD	9
2. POPIS OBJEKTU	10
2.1. OBECNÉ INFORMACE	10
2.2. SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE	10
2.3. VODOROVNÉ NOSNÉ KONSTRUKCE	10
3. MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY	10
4. ZATÍŽENÍ	11
4.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ	12
4.2. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ	12
4.3. ZATĚŽOVACÍ STAVY	12
5. KOMBINACE	13
6. TVORBA MODELU A VNITŘNÍ SÍLY	14
7. DIMENZOVÁNÍ	15
8. ZÁVĚR	16
9. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	17
10. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	18
11. PŘÍLOHY	18

1. ÚVOD

Obsahem mojí bakalářské práce je statické řešení monolitické železobetonové stropní desky nad prvním podlažím dvoupodlažního objektu galerie v Olomouci. Hlavním cílem je posouzení únosnosti a vyztužení stropní desky.

Prvním krokem bylo vytvoření vhodného statického modelu. K tomuto účelu byl využit program Dlubal RFEM. Vnitřní síly získané z modelu byly porovnány se zjednodušeným ručním výpočtem pro posouzení, zda model odpovídá reálnému působení konstrukce. Výstup ze softwaru jsem využil pro dimenzování desky a návrh výztuže. Výstupem bakalářské práce je výkresová dokumentace obsahující výkres tvaru a výkresy výztuže.

2. POPIS OBJEKTU

2.1. OBECNÉ INFORMACE

Jedná se o dvoupodlažní budovu galerie s kavárnou a terasou. Objekt je řešen jako skeletový systém, který doplňují nosné stěny. V prvním ze dvou podlaží se nachází technické a sociální zázemí, kavárna, sklad exponátů a výstavní plocha. Většinu druhého podlaží zabírá výstavní plocha. Nachází se zde i místnost pro projekci nebo terasa.

2.2. SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE

Hlavní svislé nosné konstrukce představuje 18 železobetonových sloupů čtvercového průřezu o rozměrech 300x300 mm. Ty jsou doplněny nosnými stěnami z pórobetonu o šířce 300 mm.

2.3. VODROVNÉ NOSNÉ KONSTRUKCE

Stropní nosná konstrukce je navržena jako monolitická železobetonová deska, která je podepřena průvlaky a nosnými stěnami. Tloušťka desky nad celým prvním nadzemním podlažím je neměnná o hodnotě 250 mm. Pro stupeň vlivu prostředí XC1 je zvolena třída betonu C25/30 a pro betonářskou výztuž se využívá ocel B500B. Železobetonové průvlaky podpírající deskovou stropní konstrukci jsou masivní o průřezu 900x300 mm.

3. MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Prostředí XC1

Beton **C25/30**:

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk,0,005} = 1,8 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 31 \text{ GPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$\alpha_{cc} = 1,0$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ MPa}$$

$$e_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

Ocel **B500B**:

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

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

$$\gamma_s = 1,15$$

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

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{200000} = 0,0022$$

4. ZATÍŽENÍ

4.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ

Do stálého zatížení se řadí vlastní tíha konstrukce a ostatní stálé zatížení. Do ostatního stálého zatížení je započítáno zatížení od podlahy a od příček. Pro jednotlivé skladby podlah je vypočteno plošné zatížení a v softwaru přiděleno patřičným místnostem. Zatížení od příček je převedeno na liniové působící v osách daných příček.

4.2. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

Proměnné zatížení je uvažováno pouze zatížení užité. Velikost užitého zatížení se mění podle účelu místnosti dle normy ČSN EN 1991-1-1.

4.3. ZATĚŽOVACÍ STAVY

Pro stálé zatížení byly vytvořeny 2 zatěžovací stavy:

ZS1 – Vlastní tíha

ZS2 – Ostatní stálé

Vlastní tíhu počítá software dle dimenzí konstrukce a materiálu, ze kterého je konstrukce tvořena. Ve druhém zatěžovacím stavu je započtena plošná tíha od podlahy a liniové zatížení od příček.

Pro proměnné zatížení bylo původně vytvořeno 14 zatěžovacích stavů s odlišným rozmístěním užitého zatížení. Po vykreslení momentů a nalezení maximálních hodnot byl počet zatěžovacích stavů od proměnného zatížení redukován na 7. Každý z těchto stavů vyvozoval alespoň jednu maximální hodnotu ohybového momentu v některém z kritických míst konstrukce.

ZS3 – Šach plný

ZS4 – Šach 1

ZS5 – Šach 2

ZS6 – Šach 4

ZS7 – Šach 5

ZS8 – Šach 6

ZS9 – Šach 7

5. KOMBINACE

Zatěžovací stavy byly zkombinovány podle rovnic **6.10a** a **6.10b**. Všechna kritická místa byla dimenzována na nejméně příznivou hodnotu ohybového momentu vycházející z těchto kombinací.

Jelikož se uvažuje jen s jedním typem proměnného zatížení, rovnice se upraví do tohoto tvaru:

6.10a:

$$K = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot \psi_{0,1} \cdot Q$$

$$KZ_1 = 1,35 \cdot (ZS1 + ZS2) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS3$$

$$KZ_2 = 1,35 \cdot (ZS1 + ZS2) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS4$$

$$KZ_3 = 1,35 \cdot (ZS1 + ZS2) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS5$$

$$KZ_4 = 1,35 \cdot (ZS1 + ZS2) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS6$$

$$KZ_5 = 1,35 \cdot (ZS1 + ZS2) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS7$$

$$KZ_6 = 1,35 \cdot (ZS1 + ZS2) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS8$$

$$KZ_7 = 1,35 \cdot (ZS1 + ZS2) + 1,5 \cdot 0,7 \cdot ZS9$$

6.10b:

$$K = \xi \cdot \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot Q$$

$$KZ_8 = 0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1 + ZS2) + \gamma_Q \cdot ZS3$$

$$KZ_9 = 0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1 + ZS2) + \gamma_Q \cdot ZS4$$

$$KZ_{10} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1 + ZS2) + \gamma_Q \cdot ZS5$$

$$KZ_{11} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1 + ZS2) + \gamma_Q \cdot ZS6$$

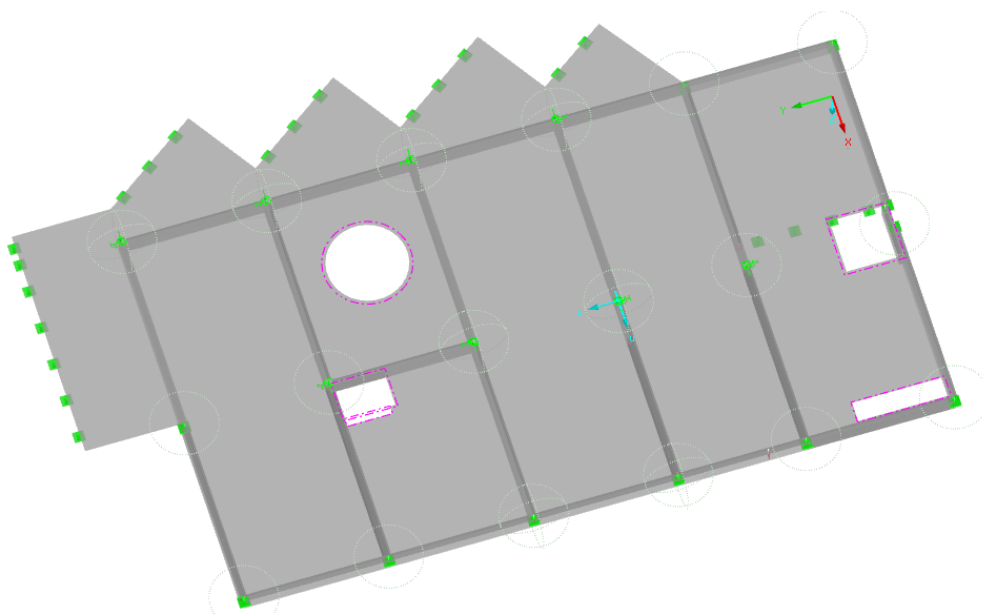
$$KZ_{12} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1 + ZS2) + \gamma_Q \cdot ZS7$$

$$KZ_{13} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1 + ZS2) + \gamma_Q \cdot ZS8$$

$$KZ_{14} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot (ZS1 + ZS2) + \gamma_Q \cdot ZS9$$

6. TVORBA MODELU A VNITŘNÍ SÍLY

V programu Dlubal RFEM byl vytvořen 2D deskový model. Stropní deska byla vymodelována nad celým půdorysem prvního podlaží. Následně byly přidány otvory a model byl podepřen. V místech nosných stěn je deska podepřena posuvnými klouby. Pro krajní sloupy jsou použity také prosté posuvné podpory. Podpory v místech vnitřních sloupů jsou řešeny pomocí typu podepření, který nabízí RFEM. Pomocí výšky a materiálu sloupu se stanoví tuhosti podepření a lépe tak simuluje reálný stav. Výsledky byly porovnány i s případem, kdy jsou všechny sloupy podepřeny stejnou prostou podporou a vycházely obdobně. Dále je kolem všech sloupů zhuštěná síť prvků pro přesnější vykreslení vnitřních sil. Průvlaky procházející mezi sloupy a podepírající stropní desku jsou modelovány jako žebra.



Dále byly vytvořeny zatěžovací stavy a jejich kombinace. Z nich se získaly hodnoty dimenzačních ohybových momentů, na které se dále konstrukce posuzovala a na které se navrhovala výztuž stropní desky.

Správnost výstupu ze softwaru byla ověřena ručním výpočtem křížem vyztužené desky. Postup výpočtu je popsán v příloze P.3 STATICKÝ VÝPOČET.

7. DIMENZOVÁNÍ

Při předběžném návrhu se vycházelo z rozměrů desek jednotlivých polí a byla stanovena jednotná tloušťka desky $h=250$ mm.

Stropní deska byla vyztužena při spodním i horním povrchu. Podle průběhu a velikosti dimenzačních momentů byla navržena základní síť výztuže u obou povrchů a v obou směrech s průměrem výztuží 12 mm v osové vzdálenosti 300 mm. Jelikož byly velikosti momentů ve směru y větší, tak byla výztuž ve směru y navržena s menším krytím $c=25$ mm. Krytí výztuže ve směru x je $c=37$ mm. Základní rastr přenesl ve směru y moment o velikosti 35,09 kNm a ve směru kolmém 33,12 kNm.

Pro získání maximálních dimenzačních momentů ve všech místech konstrukce, v obou směrech a při obou površích desky se použily kombinace zatěžovacích stavů podle rovnic 6.10a a 6.10b. U navrhování výztuže při horním povrchu byly v místě podpor v modelu vytvořeny řezy, ze kterých se určovala hodnota ohybového momentu. Výsledná hodnota se určila jako průměr momentů v těchto řezech, aby nedocházelo ke zbytečnému předdimenzování. Na místech s ohybovým momentem větším, než dokázala přenést základní síť, se doplnila přídatná výztuž. Ta byla dle velikosti momentu v daném místě buďto o průměru 8, nebo 12 mm. V nedostatečně vyztužených místech se vkládaly i 2 pruty doplňující výztuže do mezery.

Pro dovyztužení kolem otvorů byla navržena lemovací výztuž na minimální plochu výztuže s kotevní délkou 500 mm. Kotevní a přesahové délky byly spočítány i pro horní a spodní výztuž.

Celkem je pro vyztužení stropní desky použito 32 různých typů prutů s rozdílnou délkou nebo tvarem. Celková hmotnost výztuže po výpočtu vychází 10408 kg.

8. ZÁVĚR

V mé bakalářské práci jsem se zabýval objektem galerie v Olomouci. Zde jsem navrhl a staticky posoudil železobetonovou stropní desku nad 1NP. Pro získání vnitřních sil jsem desku vymodeloval v programu RFEM. Na hodnoty dimenzačních ohybových momentů jsem navrhl výztuž a desku jsem posoudil na mezní stav únosnosti. Výsledkem mé bakalářské práce je výkresová dokumentace, která obsahuje výkres tvaru a výkresy horní a dolní výztuže stropní desky.

9. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

NORMY:

[1] ČSN EN 1990. Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Český normalizační institut, březen 2004

[2] ČSN EN 1991-1-1. (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí, Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Český normalizační institut, duben 2004

[3] ČSN EN 1992-1-1. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2006

WEBOVÉ STRÁNKY:

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

[5] https://www.fce.vutbr.cz/bzk/simunek.p/prvky/01_cv1_zatizeni_teorie_tabulky.pdf

SOFTWARE:

AutoCAD 2023 – Autodesk

RFEM 5.30 – Dlubal software

Word 2016 - Microsoft

Excel 2016 - Microsoft

10. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A_s	průřezová plocha výztuže
$A_{s,max}$	maximální plocha vyztužení železobetonového průřezu
$A_{s,min}$	minimální plocha vyztužení železobetonového průřezu
$A_{s,req}$	minimální plocha vyztužení nutná pro přenesení ohybového momentu
E_{cm}	modul pružnosti betonu
E_s	modul pružnosti betonářské výztuže
EI	ohybová tuhost prvku
I	moment setrvačnosti průřezu
M_{ed}	návrhová hodnota působícího ohybového momentu
M_{Rd}	návrhová hodnota momentové únosnosti průřezu
b	šířka průřezu
C_{nom}	jmenovitá hodnota tloušťky betonové krycí vrstvy
C_{min}	minimální hodnota tloušťky betonové krycí vrstvy
ΔC_{dev}	návrhová výrobní odchylka krycí vrstvy
d	účinná výška průřezu
d_1	délka od taženého okraje prvku k těžišti výztuže
d_g	největší jmenovitý rozměr zrna kameniva
f_{cd}	návrhová pevnost betonu v tlaku
f_{ck}	charakteristická pevnost betonu v tlaku
f_{cm}	průměrná hodnota pevnosti betonu v tlaku
f_{ctd}	návrhová pevnost betonu v tahu
f_{ctk}	charakteristická pevnost betonu v dostředném tahu
f_{ctm}	průměrná hodnota pevnosti betonu v dostředném tahu
f_{yd}	návrhová pevnost betonářské výztuže na mezi kluzu
f_{yk}	charakteristická pevnost betonářské výztuže na mezi kluzu
g_d	návrhová hodnota stálého zatížení
g_k	charakteristická hodnota stálého zatížení
h	výška průřezu
l	rozpětí
$l_{b,rqd}$	základní kotevní délka
l_{bd}	návrhová kotevní délka
$l_{b,min}$	minimální kotevní délka
l_{eff}	efektivní délka rozpětí
l_o	stykovací délka
s	osová vzdálenost prutů výztuže
s_{min}	minimální osová vzdálenost prutů výztuže
s_{max}	maximální osová vzdálenost prutů výztuže
α_{cc}	součinitel zohledňující dlouhodobé tlakové působení
γ_c	součinitel spolehlivosti betonu
γ_s	součinitel spolehlivosti betonářské výztuže
γ_G	součinitel pro stálé zatížení
γ_Q	součinitel pro proměnné zatížení
ϵ_{cu}	mezní poměrné přetvoření betonu
ϵ_s	poměrné přetvoření betonářské výztuže
\emptyset	průměr výztuže
σ_{sd}	návrhové napětí ve působící ve výztuži

11. PŘÍLOHY

- P1. Použité podklady
- P2. Výkresy tvaru a výztuže
- P3. Statický výpočet