



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

LOKÁLNĚ PODEPŘENÁ STROPNÍ DESKA

CONCRETE FLAT SLAB SUPPORTED BY COLUMNS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Karolína Fárková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN PERLA

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	Karolína Fárková
Název	Lokálně podepřená stropní deska
Vedoucí práce	Ing. Jan Perla
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

Podklady:

Půdorysy a řezy objektu.

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

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Návrh lokálně podepřené stropní desky a její optimalizace - při návrhu bude respektováno dispoziční využití půdorysu vyššího podlaží a provedeno posouzení přetvoření stropní konstrukce s ohledem na celistvost vynášených výplňových konstrukcí. Statický výpočet bude obsahovat i ověření účinků přibližnými metodami řešení (např. metodou součtových momentů, metodou náhradních rámců apod.).

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje zprávu a ostatní náležitosti dle níže uvedených směrnic).

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady.

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

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

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě a pro ÚBZK 1× 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. Jan Perla
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je zjištění vnitřních sil na lokálně podepřené stropní desce, nemocničního objektu nad 1. nadzemní podlaží. Analýza byla provedena pomocí metodou konečných prvků v programu Dlubal RFEM a výsledky byly ověřeny pomocí metody náhradního rámu. Navržená konstrukce byla ověřena z hlediska mezních stavů únosnosti a použitelnosti. Součástí práce je také návrh jednoho sloupu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Lokálně podepřená stropní deska, železobeton, výztuž, metoda konečných prvků, metoda náhradních rámu, vnitřní síly, ohybový moment, sloup, protlačení, průhyb, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti

ABSTRACT

The aim of bachelor theses is to find out the internal forces on the point-supported reinforced concrete flat slab of a hospital building on the first floor. The analysis was performed using the following method: finite element method in Dlubal's RFEM program, results were proved by the equivalent frame method. The structural assessment was performed according to ultimate and serviceable limit states. The work also includes the design of one column.

KEYWORDS

Locally supported slab, reinforced concrete, reinforcement, finite element method, equivalent frame method, internal forces, bending moment, column, extrusion, deflection, ultimate limit

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Karolína Fárková *Lokálně podepřená stropní deska*. Brno, 2022. !!XX!! s., !!YY!! s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav
betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Jan Perla

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Janu Perlovi, za jeho odborné rady, čas a ochotu při konzultacích a za vysvětlení problematiky k tématu.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Lokálně podepřená stropní deska* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 26. 5. 2022

Karolína Fárková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Lokálně podepřená stropní deska* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2022

Karolína Fárková
autor práce



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

LOKÁLNĚ PODEPŘENÁ STROPNÍ DESKA

CONCRETE FLAT SLAB SUPPORTED BY COLUMNS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Karolína Fárková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN PERLA

BRNO 2022

Obsah

1. Úvod	3
2. Popis konstrukce.....	3
2.1. Obecné informace	3
2.2. Konstrukční systém.....	3
2.2.1. Vodorovný konstrukční systém.....	3
2.2.2. Svislý konstrukční systém.....	3
3. Materiál.....	4
3.1. Beton.....	4
3.1.1. Beton C30/37	4
3.1.2. Beton C25/30	4
3.1.3. Ocel B500 B	4
4. Výpočetní metody	5
4.1. Obecně	5
4.2. Metoda náhradních rámců	5
4.3. Metoda konečných prvků.....	5
4.4. Porovnání metod	5
5. Zatížení	5
5.1. Stálé zatížení	5
5.2. Proměnné zatížení.....	5
5.2.1. Užité zatížení.....	5
5.3. Sníh	5
5.4. Vítr.....	6
6. Kombinace.....	6
7. Vyztužování.....	6
8. Výpočet sloupu.....	6
9. Závěr.....	7
10. Použité zdroje	7
10.1. Normy	7
10.2. Literatura	7
10.3. Software	7
11. Seznam zkratk	8
12. Seznam příloh	9

1. Úvod

Cílem bakalářské práce je výpočet vnitřních sil, konstrukční návrh a posouzení lokálně podepřené stropní desky o vícero polí. Jedná se o budovu okresní nemocnice. Bakalářská práce se zabývá návrhem stropní desky nad 1. nadzemním podlažím.

Deska je navržena jako lokálně podepřená stropní deska podepřená sloupy. Konstrukce není ztužena proti vodorovným zatížením. Vodorovné účinky jsou přenášeny pouze sloupy.

Zatížení stropní desky je navrženo podle reálného působení. Konstrukce byla analyzována pomocí dvou výpočetních metod. Metoda konečných prvků, který byla vytvořena v programu RFEM pomocí 2D modelu a slouží k výpočtu vnitřních sil, na které byla deska dimenzována. Druhou metodou je metoda náhradních rámu, která byla taktéž vytvořena v programu RFEM jako prutová konstrukce desky. Tato metoda slouží k porovnání výsledků s metodou konečných prvků.

Výsledkem práce je porovnání výše zmíněných metod, návrh a posouzení desky na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Následně byl navržen a posouzen jeden vybraný sloup v objektu.

2. Popis konstrukce

2.1. Obecné informace

Jedná se o budovu okresní nemocnice v Kyjově. Objekt je dispozičně rozdělen do 3 nadzemních podlaží a 1 podzemního podlaží. Podzemní podlaží a 2 nadzemní podlaží slouží jako nemocniční prostory, 3 nadzemní podlaží slouží jako strojovna vzduchotechniky a je půdorysně menší než ostatní podlaží.

2.2. Konstrukční systém

2.2.1. Vodorovný konstrukční systém

Stropní deska nad 1. nadzemním podlažím je řešena jako železobetonová lokálně podepřená. Deska má půdorysný tvar obdélníku o rozměrech 32,2x26,2 m s konstantní tloušťkou 240 mm. Rozdělení deskových polí je mezi 6,0-7,2 m.

Deska byla dimenzována a posouzena na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti.

2.2.2. Svislý konstrukční systém

Stropní deska je lokálně podepřena sloupy o půdorysném tvaru čtverce o hraně 0,4 m a výšky 3,75 m. Byl navržen a posouzen jeden vybraný sloup. Objekt není ztužen proti vodorovným účinkům, ty přenáší sloup.

3. Materiál

3.1. Beton

3.1.1. Beton C30/37

Charakteristická válcová pevnost	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Charakteristická krychelná pevnost	$f_{ck,cub} = 37 \text{ MPa}$
Střední hodnota pevnosti v tahu	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$
Dolní kvantil	$f_{ctk0,05} = 2,0 \text{ MPa}$
Součinitel spolehlivosti	$\gamma_c = 1,5$
Sečnový modul pružnosti	$E_c = 32 \text{ GPa}$
Jmenovité mezní přetvoření	$\epsilon_{cu,3} = 3,5 \text{ ‰}$
Střední hodnota pevnosti v tlaku	$f_{cm} = 38 \text{ MPa}$
Návrhová pevnost v tlaku	$f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

3.1.2. Beton C25/30

Charakteristická válcová pevnost	$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
Charakteristická krychelná pevnost	$f_{ck,cub} = 30 \text{ MPa}$
Střední hodnota pevnosti v tahu	$f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$
Dolní kvantil	$f_{ctk0,05} = 1,8 \text{ MPa}$
Součinitel spolehlivosti	$\gamma_c = 1,5$
Sečnový modul pružnosti	$E_c = 31 \text{ GPa}$
Jmenovité mezní přetvoření	$\epsilon_{cu,3} = 3,5 \text{ ‰}$
Střední hodnota pevnosti v tlaku	$f_{cm} = 33 \text{ MPa}$
Návrhová pevnost v tlaku	$f_{cd} = 16,67 \text{ MPa}$

3.1.3. Ocel B500 B

Minimální mez kluzu	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Minimální pevnost v tahu	$f_{tk} = 550 \text{ MPa}$
Součinitel spolehlivosti	$\gamma_s = 1,15$
Modul pružnosti	$E_s = 200 \text{ GPa}$
Přetvoření	$\epsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$
Návrhová mez kluzu	$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$

4. Výpočetní metody

4.1. Obecně

Pro stanovení vnitřních sil v desce byly použity dvě metody. Metoda konečných prvků a metoda náhradních rámců. Tyto dvě varianty byly následně porovnány.

4.2. Metoda náhradních rámců

Metoda náhradních rámců byla řešena v programu RFEM. Byl vymodelován rám o stejných rozměrech jako u metody konečných prvků. Bylo umístěné zatížení na rám a stanoveny vnitřní síly a kombinace. Následně byly hodnoty přerozděleny do sloupových a středních pruhů pomocí součinitelů.

4.3. Metoda konečných prvků

V programu RFEM byla vymodelována 2D deska. Deska je podporována sloupy v rovině Z. Tyto sloupy byly definovány jako podpory a byly zohledněny reálné rozměry sloupu.

4.4. Porovnání metod

Srovnání obou metod je uvedeno ve statickém výpočtu. Procentuálně byly porovnány vnitřní síly. Výsledky obou metod se s malou odchylkou odlišují, to může být způsobeno různým zatížením na modely.

5. Zatížení

5.1. Stálé zatížení

Do stálého zatížení je uvažováno plošné zatížení od vlastní tíhy desky, od zatížení podlahou a do metody náhradních rámců je uvažováno plošné zatížení střešního pláště. Liniové zatížení je uvažováno od obvodového zdiva a příček podle skutečného provedení.

5.2. Proměnné zatížení

5.2.1. Užité zatížení

Do užitého zatížení je uvažováno rozložení dle skutečného využití prostor. Jedná se o administrativní budovu, dle normy ČSN EN 1991-1-1 kategorie C – Shromažďovací plochy. Hodnoty zatížení, pro jednotlivé prostory, byly uvažovány pro: chodby a pracovny 3,0 kN/m², prostory s RTG a CT zařízením 5 kN/m², ostatní prostory 2,0 kN/m².

5.3. Sníh

Zatížení od sněhu bylo uvažováno v metodě náhradních rámců. Objekt se nachází ve sněhové oblasti II.

5.4. Vítr

Objekt není ztužen proti vodorovným zatížením, musely být tedy zohledněny účinky větru na sloupu. Objekt se nachází ve větrné oblasti II. Vnitřní síly od účinků větru byly zjištěny v programu RFEM metodou náhradních ráků. Byl vytvořen rám se sníženou tuhostí, 40% tuhosti původní konstrukce dle ČSN EN 1992-1-1 čl. I.1.2. Následně byl rám s účinkem od větru kombinován s rákem, který je zatížený stálým a užitným zatížením.

6. Kombinace

Pro posouzení na mezní stav únosnosti byly použity rovnice 6.10a, 6.10b. Z nich byla následně vybrána kombinace vyvolující více nepříznivé účinky.

Pro posouzení na mezní stav použitelnosti byly použity kombinace charakteristická dle rovnice 6.14b, kombinace častá dle rovnice 6.15b a kombinace kvazistálá dle rovnice 6.16b.

7. Vyztužování

Hodnoty, na které byla navržena výztuž, jsou převzaty z programu RFEM, kde byla vymodelována deska a byla řešena metodou konečných prvků.

Základní síť výztuže byla stanovena s ohledem na minimální plochu výztuže. Byla zvolena základní síť Ø12/250 jak při horním, tak při dolním povrchu v obou směrech. Dále byly navrženy příložky pro oblasti, kde je ohybový moment větší než únosnost základní sítě. Příložky byly navrženy Ø8 a Ø12 a jejich poloha je znázorněna ve výkresové dokumentaci.

Oblasti s většími ohybovými momenty, než je únosnost základní sítě, byly zjištěny programem RFEM. Byly stanoveny řezy v místě největších ohybových momentů a porovnány s návrhem výztuže. Momenty v řezech byly zprůměrovány z důvodů zprůměrování špiček momentů.

Dále byla proti řetězovému zřícení navržena výztuž Ø16 a posouzena.

Výztuž na protlačení v oblasti sloupu byla navržena pomocí smykových lišt. Byl proveden ruční návrh dvou oblastí sloupu. Pro zbylé oblasti byl použit program HALFEN. Byly porovnány návrhy ručním výpočtem a programem, návrhy byly totožné.

8. Výpočet sloupu

Pro výpočet vnitřních sil sloupu byla použita metoda náhradních ráků. Rám byl vymodelován ve směru X ve sloupové řadě B. Konstrukce byla zatížena stálým a užitným zatížením. Rám, zatížený větrem, byl vytvořen se sníženou tuhostí 40% tuhosti původní konstrukce. Rám s větrem byl kombinován s rákem zatíženým užitným a stálým zatížením.

Následně byly vytvořeny kombinace M_{max} , M_{min} , N_{max} a N_{min} a odpovídající M/N . Byla navržena výztuž Ø18 a třmínky Ø6.

9. Závěr

Úlohou bakalářské práce byl návrh a posouzení železobetonové lokálně podepřené stropní desky. Konstrukce byla analyzována pomocí dvou výpočetních metod, metodou náhradních rámtů a metodou konečných prvků. Obě metody byly vymodelovány v programu RFEM. Bylo provedeno srovnání těchto dvou metod. Konstrukce byla posuzována na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Následně byla na mezní stav únosnosti navržena výztuž desky. Dále byl proveden návrh a posudek jednoho sloupu.

10. Použité zdroje

10.1. Normy

- [1] ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-1: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [3] ČSN EN 1992-1-1 ed. 2: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [4] ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

10.2. Literatura

- [5] ŠVAŘÍČKOVÁ, Ivana. Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D.: Pomůcky [online] Dostupné z: <https://vutbr.sharepoint.com/sites/Svarickova>
- [6] HALFEN Durchstanz- und Querkraftbewehrung: Produktinformation technik HDB 17.1[online]. Langenfeld (D), Dostupné z: <http://www.halfen.de>
- [7] Analýza metod výpočtu železobetonových lokálně podepřených desek. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/~tipkamar/granty_soubory/FRVS_2011/analyza_lok_pod_dese_k.pdf
- [6] BAŽANT, Zdeněk. Betonové konstrukce I: Modul CS4 Betonové konstrukce plošné – část 2. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2004.

10.3. Software

Dlubal RFEM5
AutoCad 2022
Halfen – HDB 13.61
Microsoft office Excel
Microsoft office Word

11. Seznam zkratek

A	průřezová plocha
A_c	průřezová plocha betonu
A_s	průřezová plocha betonářské výztuže
A_i	průřezová plocha ideálního průřezu
$A_{s,min}$	minimální průřezová plocha betonářské výztuže
B_i	tuhost neporušeného průřezu
B_{ir}	tuhost průřezu porušeného trhlinou
E_{cm}	sečnový modul pružnosti betonu
$E_{c,eff}$	účinný modul pružnosti betonu
E_s	modul pružnosti betonářské výztuže
G_k	charakteristická hodnota stálého zatížení
G_d	návrhová hodnota stálého zatížení
I	moment setrvačnosti průřezu
I_i	moment setrvačnosti ideálního průřezu
I_{ir}	moment setrvačnosti průřezu porušeného trhlinou
L	délka
M_{Ed}	návrhová hodnota působícího ohybového momentu
M_{Rd}	návrhová momentová únosnost průřezu
M_{cr}	moment na mezi vzniku trhlin
MNR	metoda náhradních rámů
MKP	metoda konečných prvků
N_{Ed}	návrhová hodnota normálové síly
Q_k	charakteristická hodnota proměnného zatížení
Q_d	návrhová hodnota proměnného zatížení
S_i	statický moment plochy výztuže k těžišti ideálního průřezu
S_{ir}	statický moment výztuže k těžišti průřezu porušeného trhlinou
V_{Ed}	návrhová hodnota posouvající síly
c	rozměr sloupu
c_{nom}	jmenovitá tloušťka betonové krycí vrstvy
c_{min}	minimální tloušťka betonové krycí vrstvy
Δc_{dev}	povolená výrobní odchylka krycí vrstvy od nominální hodnoty
d	účinná výška průřezu
d_g	největší jmenovitý rozměr zrna kameniva
f_{bd}	návrhové mezní napětí v soudržnosti
f_{ck}	charakteristická pevnost betonu v tlaku (válcová ve stáří 28 dní)
f_{cd}	návrhová pevnost betonu v tlaku
f_{cm}	průměrná hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
f_{ctm}	průměrná hodnota pevnosti betonu v dostředném tahu
f_{ctk}	charakteristická pevnost betonu v dostředném tahu
f_{yk}	charakteristická mez kluzu betonářské výztuže
f_{yd}	návrhová mez kluzu betonářské výztuže
f	průhyb
f_{lim}	limitní hodnota průhybu
f_{cs}	průhyb od smršťování

g_k	charakteristická hodnota stálého zatížení
g_d	návrhová hodnota stálého zatížení
h	výška průřezu
h_s	tloušťka desky
$h_{s,lim}$	minimální tloušťka desky
l	délka nebo rozpětí
$l_{b,rqd}$	základní kotevní délka
l_{bd}	kotevní délka
$l_{b,min}$	minimální kotevní délka
l_0	stykovací délka
s	zatížení sněhem
s_{max}	maximální osová vzdálenost prutů výztuže
s_{sn}	minimální světlá vzdálenost mezi pruty výztuže
u	obvod prvku
u_1	základní kontrolovaný obvod
V_{Ed}	maximální smykové napětí
$V_{Rd,c}$	smyková únosnost prvku bez smykové výztuže
V_{min}	minimální smyková únosnost prvku bez smykové výztuže
$V_{Rd,sy,max}$	maximální smyková únosnost prvku se smykovou výztuží
x	vzdálenost neutrální osy od nejvíce tlačенého okraje
z_c	rameno vnitřních sil k těžišti tlačенého betonu
$1/r_{cs}$	křivost od smršťování
α_e	poměr modulů pružnosti betonářské výztuže a betonu
β	součinitel druhu působení zatížení (krátkodobá/dlouhodobá)
β_t	součinitel kroucení
$\beta(t_0)$	součinitel vyjadřující vliv stáří betonu v okamžiku vnesení zatížení na základní součinitel dotvarování
γ_c	součinitel spolehlivosti betonu
γ_s	součinitel spolehlivosti výztuže
γ_G	součinitel stálého zatížení
γ_Q	součinitel proměnného zatížení
ϵ_{cu}	mezní poměrné přetvoření betonu
ϵ_{yd}	přetvoření betonářské výztuže
ϵ_{cs}	volné přetvoření od smršťování
ρ	stupeň výztužení
\emptyset	profil výztuže
$\varphi(t,t_0)$	součinitel dotvarování

12. Seznam příloh

- P.1. Použité podklady
- P.2. Statický výpočet
- P.3. Výkresová dokumentace