



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

ŽELEZOBETONOVÁ ROZHLEDNA

REINFORCED CONCRETE LOOKOUT TOWER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kristýna Kalinová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL POŽÁR, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N0732A260023 Stavební inženýrství – pozemní stavby
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Specializace	bez specializace
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Kristýna Kalinová
Název	Železobetonová rozhledna
Vedoucí práce	Ing. Michal Požár, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2021
Datum odevzdání	14. 1. 2022

V Brně dne 31. 3. 2021

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

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

PODKLADY A LITERATURA

Stavební podklady – půdorysy, řezy

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

Literatura: na základě doporučení vedoucím práce

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Pro objekt rozhodnuty proveďte návrh a posouzení vybraných prvků nosné konstrukce v rozsahu určeném vedoucím práce. Statickou analýzu proveďte v některém programovém systému pro výpočet konstrukcí.

Vypracujte výkres tvaru dimenzované části konstrukce a podrobné výkresy výztuže posuzovaných prvků.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje zprávu a ostatní náležitosti podle aktuálních směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady

P2. Technická zpráva, výkresy tvaru a výztuže (v rozsahu určeném vedoucím práce).

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím práce)

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

STRUKTURA DIPLOMOVÉ 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. Michal Požár, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá statickým návrhem a posouzení železobetonové rozhledny. Prvky rozhledny jsou z monolitického železobetonu kromě schodišťového ramene, které je z prefabrikovaného železobetonu. Výstupem diplomové práce je statický výpočet a výkresy tvaru a výztuže. Výpočty byly provedeny v programu Dlubal RFEM 5.26.02. Výkresová dokumentace byla provedena v programu AutoCAD 2020 s nadstavbou RECOC.

KLÍČOVÁ SLOVA

železobeton, beton, výztuž, zatížení, dimenzování, posouzení, monolitický železobeton, prefabrikovaný železobeton, deska, stěna, sloup, schodiště, mezní stav únosnosti a použitelnosti

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on structural design and assessment of lookout tower. The elements of the lookout tower are made of cast-in-place reinforced concrete except for the stair flight, which is made of prefabricated reinforced concrete. The output of the diploma thesis is a structural design report and drawings of the shape and reinforcement. The calculations were performed using Dlubal RFEM 5.26.02. The drawings was processed by AutoCAD 2020 with the RECOC extension.

KEYWORDS

reinforced concrete, concrete, reinforcement, load, design, assessment, cast-in-place reinforced concrete, prefabricated reinforced concrete, slab, wall, column, staircase, ultimate and serviceability limit state

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Kristýna Kalinová *Železobetonová rozhledna*. Brno, 2022. 17 s., 354 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Michal Požár, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

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

V Brně dne 6. 1. 2022

Bc. Kristýna Kalinová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Železobetonová rozhledna* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 6. 1. 2022

Bc. Kristýna Kalinová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Především bych chtěla poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Michalu Požárovi Ph.D. za odborné rady a připomínky a také za čas věnovaný konzultacím. Zároveň bych chtěla poděkovat mojí rodině a blízkým, kteří mně studium umožnili a podporovali v průběhu psaní diplomové práce i během celého studia.

OBSAH

1	ÚVOD	2
2	POPIS OBJEKTU	3
3	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	3
4	MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY	5
5	ZATÍŽENÍ	5
6	KOMBINACE ZATĚŽOVACÍCH STAVŮ.....	7
7	DIMENZOVÁNÍ KONSTRUKCE	7
8	PROVÁDĚNÍ	7
9	ZÁVĚR.....	8

1 ÚVOD

Cílem diplomové práce je statické posouzení a navrhnutí železobetonové rozhledny. Byl vytvořen návrh vybraných nosných prvků konstrukce a k tomu příslušná projektová dokumentace.

Jedná se o samostatně stojící objekt navržený na vrcholu kopce Pivničky, který spadá pod obec Studená v Jihočeském kraji. Rozhledna o 12 podlažích je navržena ve výšce 760 m n. m. a je vysoká 33,6 m. Půdorysně se jedná o obdélník rozměrů 8,63 x 4,9 m.

Součástí diplomové práce není návrh založení objektu na pilotách a návrh základové desky je pouze orientační z důvodu neprovedení inženýrsko-geologického průzkumu.

Výpočet vnitřních sil byl proveden programem Dlubal RFEM 5.26.02 založený na metodě konečných prvků s využitím programu Dlubal RWIND Simulation 1.26, který slouží k CFD simulaci obtékání budov vzdušným proudem a ke generování zatížení větrem na dané objekty. Výsledné hodnoty zatížení větrem byly také následně ověřeny ručním výpočtem. Mezní stav použitelnosti byl posuzován nelineárním výpočtem přídatného modulu RF-Concrete.

Návrh je proveden v souladu s platnými normami.

2 POPIS OBJEKTU

Jedná se o prefamonolitickou železobetonovou rozhlednu, která má 12 podlaží s jednotnou konstrukční výškou 2,8 m. Půdorysně se jedná o obdélník rozměrů 8,63 x 4,9 m.

Objekt je založený na mikropilotách, které budou propojeny základovou deskou. Nosnou konstrukci tvoří monolitické svislé stěny propojené monolitickými podestami. Podesty spojuje prefabrikovaná schodišťová ramena. Poslední patro tvoří monolitická vyhlídková plošina, která přesahuje půdorysný rozměr stěn na všechny strany o 1,5 m. Nad částí vyhlídkové plošiny je navrhnutá střecha, která je vynášena sloupy. Objekt je uvažován jako jeden dilatační celek.

Pro všechny nosné železobetonové prvky byl použit beton C35/45 s betonářskou výztuží B500B. Stupeň konzistence čerstvého betonu je S4.

3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

SVISLÉ STĚNY

Všechny železobetonové monolitické stěny mají stejnou tloušťku 250 mm. V delších stěnách jsou navrženy kruhové otvory o průměru 400 mm, 600 mm a 800 mm. Tyto otvory budou následně překryty barevným plexisklem. Rozmístění jednotlivých kruhových otvorů se střídá přes jedno patro. Vyztužení bylo posouzeno pomocí interakčního diagramu na kombinaci N+M v patě stěn. Krytí výztuže je 35 mm. Navržená je výztuž $\varnothing 12$ mm. Šikmá výztuž okolo otvorů je navržena jako 3. vrstva výztuže. Svislá výztuž bude provázána sponami v maximální vzdálenosti 500 mm.

Provádění stěn bude po patrech s konstrukční výškou 2,8 m. Z patra předchozí etapy bude vždy přesahovat výztuž do patra následující etapy o 600 mm. Bude provedeno provázání výztuže mezi stěnami a podestami. V posledním patře je navržena výztuž pro vytažení do sloupů.

SLOUPY

Monolitické sloupy jsou navrženy s posledním podlažím a vynášejí konstrukci střechy. Mají obdélníkový půdorys o rozměrech 1,0 x 0,25 m. Výška sloupu je 2,6 m. Vyztužení bylo posouzeno pomocí interakčního diagramu na kombinaci N+M v patě a v hlavě nejvíce namáhaného sloupu. Krytí výztuže je 40 mm. Hlavní

nosná výztuž je $\varnothing 12$ mm olemována třmínky $\varnothing 6$ mm. Hlavní nosná výztuž je zakotvena do desky střechy 400 mm.

VYHLÍDKOVÁ PLOŠINA

Monolitická deska vyhlídkové plošiny je obdélníkového tvaru a má rozměr 11,63 x 7,9 m. Tloušťka desky je 220 mm. Uprostřed desky je otvor pro schodiště. Z jedné strany otvoru je navržený ozub pro uložení prefabrikovaného schodišťového ramene. Krytí výztuže je 35 mm. Hlavní nosná výztuž je $\varnothing 10$ mm a výztuž ozubu je $\varnothing 6$ mm.

STŘECHA

Monolitická deska střechy je obdélníkového tvaru a má rozměr 8,63 x 4,9 m. Tloušťka desky je 200 mm. Deska je uložena v rozích na sloupech. Krytí výztuže je 35 mm. Hlavní nosná výztuž je $\varnothing 10$ mm s dovyztužením v rozích desky o $\varnothing 10$ a $\varnothing 16$ mm. Deska byla také posuzována na protlačení v okolí sloupů.

PODESTA

Monolitické desky podesty je obdélníkového tvaru a má rozměr 4,9 x 1,88 m. Tloušťka desky je 200 mm. Krytí výztuže je 25 mm. Deska je vetknutá do tří okolních stěn. Hlavní nosná výztuž je $\varnothing 10$ mm a výztuž ozubu je $\varnothing 6$ mm.

SCHODIŠŤOVÉ RAMENO

Schodišťová ramena jsou prefabrikována a uložena na připravené ozuby podest a vyhlídkové plošiny. Tloušťka schodišťového ramene je 200 mm. Krytí výztuže je 20 mm. Hlavní nosná výztuž je $\varnothing 8$ mm a $\varnothing 12$ mm. Výztuž ozubů je $\varnothing 8$ mm. V schodišťovém rameni jsou navrženy úchyty pro přepravu a úchyty pro překlopení dle technických listů. Okolo těchto úchytů je navržena výztuž dle technických listů podle jednotlivých hmotnostních skupin.

ZÁKLADOVÁ DESKA

Celý objekt je založen na mikropilotách spojených základovou deskou. Monolitická železobetonová deska je obdélníkového tvaru o rozměrech 15,65 x 15,38 m. Tloušťka základové desky je 600 mm. Hlavní nosná výztuž je $\varnothing 18$ mm. Zajištění polohy horní výztuže je zajištěno pomocí přídavné výztuže. V místě napojení stěn je navržena překotvovací výztuž, která bude přesahovat do 1. NP o 600 mm.

4 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

BETON C35/45

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 35/1,5 = 23,33 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 34 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3,50 \text{ ‰}$$

BETONÁŘSKÁ OCEL B500B

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

$$\gamma_s = 1,15$$

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

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

$$\varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

5 ZATÍŽENÍ

Podrobný popis všech zatěžovacích stavů je uveden ve statickém výpočtu – příloha P3. Zde je uveden pouze zkrácený přehled.

ZATÍŽENÍ STÁLÉ

Zatížení působí současně.

ZS1 – vlastní tíha

- generována automaticky programem Dlubal RFEM 5.26.02

ZS2 – ostatní stálé zatížení

- zábradlí na schodišťovém rameni $g_k = 0,2 \text{ kN/m}$

- zábradlí na vyhlídkové plošině $m_k = 0,014 \text{ kNm/m}$
- schodišťové stupně $g_k = 0,24 \text{ kN/m}$
- schodišťové stupně $g_k = 2,072 \text{ kN/m}^2$

ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ - UŽITNÉ

Zatížení působí střídavě.

Šachy zatěžovacích stavů byly vytvořeny tak, aby vyvozovali nejméně příznivé účinky na konstrukci.

- pochozí část $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$
- střecha $q_k = 0,4 \text{ kN/m}^2$
- zábradlí na schodišťovém rameni $q_k = 3,0 \text{ kN/m}$
 $m_{qk} = 3,0 \text{ kNm/m}$
- zábradlí na vyhlídkové plošině $q_k = 3,0 \text{ kN/m}$
 $m_{qk} = 3,6 \text{ kNm/m}$

ZS3 – šach 1

ZS4 – šach 2

ZS5 – šach 3

ZS6 – šach 4

ZS7 – plné

ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ – KLIMATICKÉ

Zatížení větrem působí střídavě.

ZS8 – sníh

- spodní část objektu $s = 1,92 \text{ kN/m}^2$
- horní část objektu $s = 1,28 \text{ kN/m}^2$

ZS9 – zatížení větrem pod úhlem 0°

- generováno programem Dlubal RWIND Simulation 1.26

ZS10 – zatížení větrem pod úhlem 270°

- generováno programem Dlubal RWIND Simulation 1.26

6 KOMBINACE ZATĚŽOVACÍCH STAVŮ

Kombinační rovnice (6.10a & 6.10b) pro MSÚ (STR/GEO) dle normy ČSN EN 1990 ed. 2 pro trvalé a dočasné návrhové situace:

$$\begin{cases} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{cases}$$

Kombinační rovnice pro MSP dle normy ČSN EN 1990 ed. 2:

Charakteristická rovnice

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Častá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kvazistálá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

7 DIMENZOVÁNÍ KONSTRUKCE

Konstrukce je navržena a posouzena dle příslušných platných norem viz. příloha P3. Statický výpočet.

8 PROVÁDĚNÍ

Objekt bude prováděn po jednotlivých etapách dle výkresu P2.02 – Výkres etap výstavby. V jednotlivých patrech vždy nejprve bude provedena betonáž svislých

stěn, následně bude po technologické přestávce provedena betonáž podesty nad těmito stěnami a poté bude po další technologické přestávce osazeno prefabrikované schodiškové rameno. V posledním podlaží bude po betonáži stěn provedena betonáž vyhlídkové plošiny a poté bude provedeno osazení prefabrikovaného schodiškového ramene.

Bednění musí být dostatečně tuhé a únosné, aby se pod vlivem čerstvé betonové směsi nijak nedeformovalo a drželo předepsaný tvar. Bednění musí být těsné, aby nedocházelo k vytékání betonové směsi. Před betonáží bude bednění opatřeno odbedňovacím přípravkem, aby nedošlo k přilnutí bednění k betonu a zajistilo hladší betonový povrch.

Proces betonáže, který zahrnuje výrobu betonu, dopravu na staveniště, lití a hutnění betonu, musí splňovat požadavky platných norem. Betonáž bude prováděna pouze za vhodných klimatických podmínek a bude prováděna po celých etapách. Beton musí být řádně ošetřován s přihlédnutím na současné klimatické podmínky. Odbedňování bude vždy provedeno až po nabytí 70% pevnosti betonu.

Armování výztuže bude prováděno na místě dle příslušné výkresové dokumentace. Je nutné dodržet předepsanou krycí vrstvu, která bude zajištěna distančními podložkami.

Prefabrikovaná schodišková ramena budou uložena v blízkosti stavby na skládce v suchém prostředí na podkladku. Po technologické přestávce předchozí etapy budou jeřábem osazena na ozuby vybedněné v podestách a na vyhlídkové plošině.

9 ZÁVĚR

V rámci diplomové práce byla navržena nosná konstrukce železobetonové rozhledny. Analýza vnitřních sil byla provedena v programu Dlubal RFEM 5.26.02. Následně bylo provedeno dimenzování a posouzení jednotlivých prvků dle příslušných norem.

Výsledkem mé diplomové práce je statický výpočet nosných prvků železobetonové rozhledny a k tomu vypracovaná příslušná výkresová dokumentace.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

ODBORNÁ LITERATURA

- [1] ČSN EN 206+A2. Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
- [2] ČSN EN 1990 ed. 2. Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
- [3] ČSN EN 1991-1-1. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004.
- [4] ČSN EN 1991-1-3. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [5] ČSN EN 1991-1-4. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [6] ČSN EN 1992-1-1. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.
- [7] ČSN 73 1201. Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [8] ZICH, Miloš, BAŽANT, Zdeněk. Montované betonové konstrukce. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2018. ISBN 978-80-7204-983-7.

WEBOVÉ STRÁNKY

- [9] Dlubal Software s.r.o. [online].
Dostupné z: <https://www.dlubal.com/cs>
- [10] ŠVAŘÍČKOVÁ, Ivana. Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D. [online].
Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/BZK/svarickova.i/>
- [11] HALFEN s.r.o. [online].
Dostupné z: <https://www.halfen.com/cz/>

SOFTWARE

Dlubal RFEM 5.26.02

RWIND Simulation 1.26

Přídavný modul k programu Dlubal RFEM 5.26.02 RF-DYNAM Pro

Přídavný modul k programu Dlubal RFEM 5.26.02 RF-CONCRETE Surfaces

AutoCAD 2020

RECOC

Microsoft Word 2010

Microsoft Excel 2010

11 SEZNAM PŘÍLOH

P1. Použité podklady

P1.01 Půdorysy, řez A-A', řez B-B'

P1.02 Vizualizace

P1.03 Technické listy

P2. Výkresová dokumentace

P2.01 Výkres etap výstavby

P2.02 Výkres tvaru stěn

P2.03 Výkres výztuže stěn 1.NP

P2.04 Výkres výztuže stěn 2.NP

P2.05 Výkres výztuže stěn 3.NP

P2.06 Výkres výztuže stěn 11.NP

P2.07 Výkres sloupu

P2.08 Výkres desky vyhlídkové plošiny

P2.09 Výkres střešní desky

P2.10 Výkres desky podesty

P2.11 Výrobní výkres schodišťového ramene R101

P2.12 Výrobní výkres schodišťového ramene R201

P2.13 Výrobní výkres schodišťového ramene R301

P2.14 Výkres výztuže schodišťového ramene R101

P2.15 Výkres výztuže schodišťového ramene R201

P2.16 Výkres výztuže schodišťového ramene R301

P2.17 Výkres tvaru základové desky

P2.18 Výkres výztuže základové desky

P3. Statický výpočet