



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 A ANALÝZA ŽELEZOBETONOVÉ RÁMOVÉ SKELETOVÉ KONSTRUKCE

DESIGN AND ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE FRAME STRUCTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jakub Brázdil

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL ŠULÁK, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608R001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Jakub Brázdil
Název	Návrh a analýza železobetonové rámové skeletové konstrukce
Vedoucí práce	Ing. Pavel Šulák, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.

Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.

Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Podklady:

Stavební podklady

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 vedoucího práce

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Pro železobetonovou nosnou konstrukci skladiště proveďte statické řešení konstrukce a nadimenzujte její vybrané části: průvlak, sloup a patku (případně další prvky po konzultaci s vedoucím práce) v rozsahu odpovídajícímu znalostem bakalářského studia. Statickou analýzu proveďte v některém programovém systému pro výpočet konstrukcí (včetně kontroly zjednodušenou metodou).

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 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 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. Pavel Šulák, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem a statickou analýzou železobetonové rámové konstrukce. Zadáním práce je navrhnout a posoudit prvky v běžném rámu, konkrétně rámovou příčel, sloup a vnitřní patku. Posouzení konstrukce je provedeno dle ČSN EN 1992-1-1.

KLÍČOVÁ SLOVA

Železobeton, železobetonový rám, železobetonový sloup, železobetonová patka, monolitická konstrukce, zatížení, zatěžovací stavy.

ABSTRACT

Bachelor's thesis deals with a design and static analysis of reinforced concrete frame structure. is to design and assess the elements of structure ordinary frame, specifically frame rung, column and reinforced concrete base. The assessment is carried out according to the ČSN EN 1992-1-1.

KEYWORDS

Reinforced concrete, reinforced concrete frame, reinforced concrete column, reinforced concrete base, monolithic structure, load, load cases.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Jakub Brázdil. *Návrh a analýza železobetonové rámové skeletové konstrukce*. Brno, 2020. 20 s., 66 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Pavel Šulák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Návrh a analýza železobetonové rámové skeletové konstrukce* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 26. 5. 2020

Jakub Brázdil

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh a analýza železobetonové rámové skeletové konstrukce* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2020

Jakub Brázdil

autor práce

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Pavlu Šulákovi, Ph.D. za odborné vedení práce, cenné rady, připomínky a čas, který mi věnoval při řešení této problematiky.

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Konstrukční systém.....	11
2.1 Vodorovné nosné konstrukce.....	11
2.2 Svislé nosné konstrukce.....	11
2.3 Základové konstrukce	11
3 Materiálové charakteristiky	12
3.1 Beton C30/37	12
3.2 Výztuž B500B.....	12
4 Zatížení a zatěžovací stavy	13
4.1 Stálé zatížení	13
4.2 Nahodilé zatížení	13
Užitné zatížení	13
Klimatická zatížení	13
4.3 Zatěžovací stavy	14
5 Výsledné vnitřní síly a vyztužení.....	15
5.1 Podporové momenty	15
5.2 Momenty v polích.....	15
5.3 Posouvající síly	15
5.4 Výztuž sloupů	15
5.5 Výztuže patky	15
6 Závěr	16
7 Seznam použitých zdrojů.....	17
8 Seznam použitých zkratk a symbolů.....	18
9 Seznam příloh	20

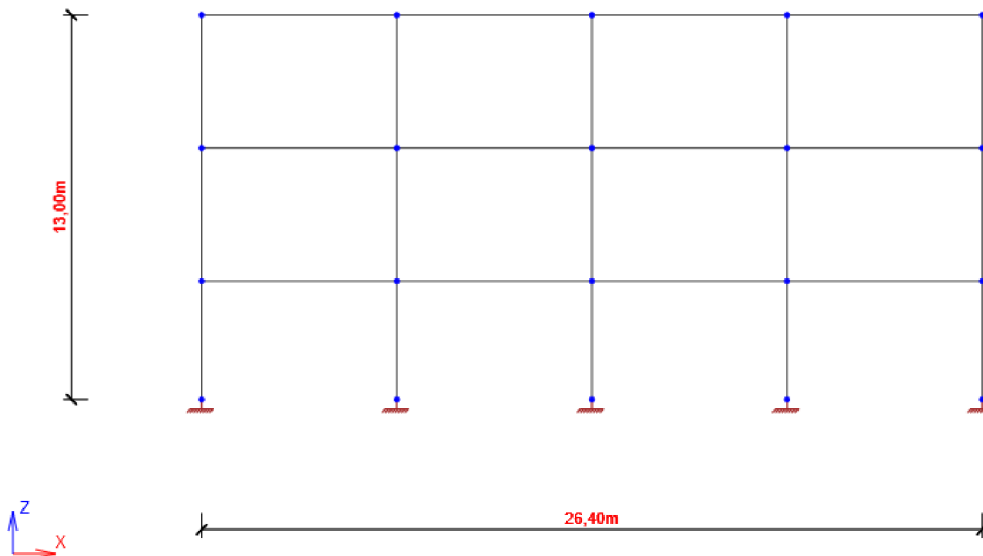
1. Úvod

Tato práce se zabývá návrhem železobetonové rámové skeletové konstrukce – návrh a posouzení typického rámu. Jedná se o trojpodlažní rámovou konstrukci na základových patkách o čtyřech polích v příčném směru.

Konstrukčně se skládá z jednotlivých ráků, které jsou tvořeny prutovými prvky – příčlí a sloupy. Konstrukce je ztužena v příčném směru ztužujícími obvodovými příčnými stěnami. Konstrukce je dále doplněna o monolitické trámy a stropní desku.

Pro návrh a posouzení trámů a zjištění vnitřních sil na rámu byl použit program IDEA StatiCa 10.1.

K práci jsou přiloženy přílohy obsahující statický výpočet a výkresovou dokumentaci.



2. Konstrukční systém

Hlavní nosná konstrukce je tvořena železobetonovými monolitickými příčnými rámy, které podpírají železobetonovou stropní konstrukci o konstrukční výšce 4,5 m, u 1NP 4,0 m. Modulový systém tvoří pravoúhlá síť s podélným modulem 6,5 m a příčným modulem 6,6 m.

2.1 Vodorovné nosné konstrukce

Ve výpočtu je řešena nosná konstrukce nad 1NP. Je tvořena příčlí o rozměrech 400x600 mm, stropní deskou tloušťky 80 mm a vnitřními a krajními trámy o rozměrech 400x420 mm. Vzájemná vzdálenost trámů je 2,2 m, přičemž v poli se nacházejí dva trámy ve třetinách pole a v podporách je umístěn jeden. Vzhledem k nestejnému zatížení krajních a vnitřních trámů budou každý posuzovány zvlášť v programu IDEA StatiCa. Krytí příčle je 30 mm, krytí desky je 15 mm. Samotná deska není ve výpočtu posuzována. Konstrukce jsou z betonu C30/37 a výztuže B500B.

2.2 Svislé nosné konstrukce

Ve výpočtu je řešen sloup v 1NP o rozměrech 400x400 mm. Krytí sloupu je 60 mm, větší krytí je proto, aby se nestřetly výztuže sloupu a příčle. Sloupy jsou z betonu C30/37 a výztuže B500B.

2.3 Základové konstrukce

Vnitřní i krajní sloupy jsou založeny na základových patkách, které jsou uloženy na podkladním betonu tloušťky 100 mm. Ve výpočtu je řešena pouze vnitřní patka o délce 2,7 m, šířce 1,8 m a výšce 0,6 m. Krytí je 40 mm, přičemž výztuž v příčném směru (ve směru rovnoběžně s rámem) bude umístěna níže z důvodu větších vnitřních sil v příčném směru. Patky jsou z betonu C30/37 a výztuže B500B.

3 Materiálové charakteristiky

Celá posuzovaná konstrukce je navržena z betonu třídy C30/37 a výztuže B500B, stupeň vlivu prostředí je XC1.

3.1 Beton C30/37

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

$$f_{cm} = 38 \text{ MPa}$$

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

$$f_{ctk0,05} = 2,0 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk0,95} = 3,8 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 33 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3,5 \%$$

$$\varepsilon_{c2} = 2,0 \%$$

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

3.2 Výztuž B500B

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

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

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

$$\varepsilon_s = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{200\,000} = 2,17 \%$$

4 Zatížení a zatěžovací stavy

4.1 Stálé zatížení

Pro návrhové hodnoty uvažujeme dílčí součinitel stálého zatížení $\gamma_{G,j} = 1,35$.

Stálé zatížení od vnitřního trámu (T1), tj. od podlahy, desky, omítky desky, trámu a omítky trámu, je $g_{k1} = 10,36$ kN/m.

Stálé zatížení od krajního trámu (T2), tj. od podlahy, desky, omítky desky, trámu, omítky trámu a obvodového pláště, je $g_{k2} = 15,67$ kN/m.

Stálé zatížení je přenášeno trámy do příčle, proto je uvažováno jako svislé silové zatížení v místech trámů. Síly jsou vypočteny zvlášť pro vnitřní a krajní trámy.

Vlastní tíha je vypočtena zvlášť v programu.

$$R_{gk1} = 77,39 \text{ kN}$$

$$R_{gk2} = 117,05 \text{ kN}$$

4.2 Proměnné zatížení

Užitné zatížení

Jedná se o skladiště, užitné zatížení $q_k = 7,0$ kN/m.

Užitné zatížení je přenášeno trámy do příčle, proto je uvažováno jako svislé silové zatížení v místech trámů. Síly jsou vypočteny zvlášť pro vnitřní a krajní trámy.

Uvažujeme s šachovnicovým způsobem výpočtu. Pro návrhové hodnoty zadáváme dílčí součinitel proměnného zatížení $\gamma_Q = 1,5$, přičemž bude použit pro užitné zatížení jakožto hlavní proměnné zatížení.

$$R_{qk1} = 123,79 \text{ kN}$$

$$R_{qk2} = 50,64 \text{ kN}$$

Klimatická zatížení

Sníh je uvažován jako spojitě svislé zatížení působící pouze na střechu rámové konstrukce.

sněhová oblast IV - $s = 1,6$ kN/m

Vítr je uvažován jako spojitě vodorovné zatížení působící zleva, popř. zprava s odlišnými hodnotami pro tlak na jedné straně objektu a sání na druhé straně.

větrná oblast II

$$q_{w1} = 2,55 \text{ kN/m}$$

$$q_{w2} = 2,23 \text{ kN/m}$$

4.3 Zatěžovací stavy

1 ZS – stálé zatížení bez vlastní tíhy – vlastní tíha je zvlášť počítána v programu

2 ZS – užité zatížení šach 1

3 ZS – užité zatížení šach 2

4 ZS – užité zatížení plné

5 ZS – sníh

6 ZS vítr zleva – tj. hodnoty pro tlak větru na levé straně (sání na pravé)

7 ZS vítr zprava – tj. hodnoty pro tlak větru na pravé straně (sání na levé)

Ze zadaných charakteristických zatížení jsou v programu vypočítány návrhové vnitřní síly.

5 Výsledné vnitřní síly a vyztužení

5.1 Podporové momenty

Je uvažována redistribuce a redukce momentů v podporách.

V krajní podpoře je ohybový moment $M_{ed} = 192,03$ kNm, navržena výztuž $6 \times \emptyset 14$.

V mezilehlé podpoře je ohybový moment $M_{ed} = 403,68$ kNm, navržena výztuž $6 \times \emptyset 20$.

Ve střední podpoře je ohybový moment $M_{ed} = 344,59$ kNm, navržena výztuž $6 \times \emptyset 20$.

5.2 Momenty v polích

V krajním poli je ohybový moment $M_{ed} = 356,1$ kNm, navržena výztuž $6 \times \emptyset 20$.

Ve středním poli je ohybový moment $M_{ed} = 296,0$ kNm navržena výztuž $6 \times \emptyset 18$.

5.3 Posouvající síly

V krajní podpoře je posouvající síla $V_{ed} = 284,9$ kNm, navrženy třmínky $2 \emptyset 8$ po 110 mm.

V mezilehlé podpoře je posouvající síla $V_{ed} = 340,4$ kNm, navrženy třmínky $2 \emptyset 8$ po 90 mm.

Ve střední podpoře je posouvající síla $V_{ed} = 296,7$ kNm, navrženy třmínky $2 \emptyset 8$ po 110 mm.

Takto navržené třmínky jsou rozmístěny do místa uložení trámů, zbylá místa jsou vyztužena konstrukčními třmínky $2 \emptyset 8$ po 280 mm.

5.4 Výztuž sloupů

Pro sloupy jsou vyjádřené kombinace $\max M_{ed}$, $\min M_{ed}$, $\max N_{ed}$ a $\min N_{ed}$ a odpovídající vnitřní síly M_{ed} , N_{ed} , V_{ed} . Výztuž pro sloupy je stejná u vnitřního i krajního sloupu – $4 \times \emptyset 16$.

5.5 Výztuže patky

Ohybový moment v příčném směru (rovnoběžně s rámem) je 367,96 kNm, navržena výztuž $\emptyset 20$ po 120 mm.

Ohybový moment v podélném směru (kolmo na rám) je 145,17 kNm, navržena výztuž $\emptyset 16$ po 135 mm.

6 Závěr

Uvedené části konstrukce jsou navrženy v souladu s platnými normami. Byl proveden návrh a posouzení konstrukcí a ty byly vyhodnoceny jako vyhovující. Výpočet je předmětem statického výpočtu a ke konstrukčním prvkům (příčel, sloup a vnitřní patka) je vypracována výkresová dokumentace.

7 Seznam použitých zdrojů

- ČSN EN 1992-1-1: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, Český normalizační institut, 2011
- ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, Praha, Český normalizační institut, 2004
- ČSN EN 1991-1-1 až 7: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí, Praha, Český normalizační institut
- ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb, Praha, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
- ING. ŠVAŘÍČKOVÁ, PH.D., Ivana. Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D: Ústav betonových a zděných konstrukcí [online]. 19.5.2011 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/BZK/svarickova.i/default_soubory/pomucky.htm
- IDEA StatiCa 10.1 – studentská verze
- Microsoft Word, Microsoft Excel

8 Seznam použitých zkratek a symbolů

$g_{k,T1}$	Stálé zatížení vztažené k vnitřnímu trámu a působící na rám
$g_{k,T2}$	Stálé zatížení vztažené ke krajnímu trámu a působící na rám
R_{gk1}	Síla působící v místech vnitřních trámů od $g_{k,T1}$
R_{gk2}	Síla působící v místech krajních trámů od $g_{k,T2}$
$q_{k,T1}$	Užitné zatížení vztažené k vnitřnímu trámu a působící na rám
$q_{k,T2}$	Užitné zatížení vztažené ke krajnímu trámu a působící na rám
R_{qk1}	Síla působící v místech vnitřních trámů od $q_{k,T1}$
R_{qk2}	Síla působící v místech krajních trámů od $q_{k,T2}$
$\gamma_{G,j}$	Dílčí součinitel stálého zatížení
γ_Q	Dílčí součinitel proměnného zatížení
s	Zatížení sněhem
q_{w1}	Zatížení od tlaku větru pro ZS 6 (od sání pro ZS 7)
q_{w2}	Zatížení od sání větru pro ZS 6 (od tlaku pro ZS 7)
M_{ed}	Maximální ohybový moment od zatížení
V_{ed}	Maximální posouvající síla od zatížení
N_{ed}	Maximální normálová síla od zatížení
M_{RED}	Redukovaný ohybový moment od zatížení
M_{rd}	Ohybový moment na mezi únosnosti
V_{rd}	Posouvající síla na mezi únosnosti
N_{rd}	Normálová síla na mezi únosnosti
c_{st}	Krytí třmíneků
c_{sl}	Krytí podélné výztuže
c	Výsledné krytí
d	Účinná výška průřezu
b	Šířka průřezu
h	Výška průřezu
$A_{s, req}$	Potřebná průřezová plocha výztuže
A_s	Průřezová plocha výztuže
$A_{s, min}$	Minimální průřezová plocha výztuže
$A_{s, max}$	Maximální průřezová plocha výztuže
A_c	Průřezová plocha betonu
f_{ck}	Charakteristická pevnost betonu v tlaku

f_{cd}	Návrhová pevnost betonu v tlaku
f_{ctd}	Návrhová pevnost betonu v tahu
E_c	Modul pružnosti betonu
ε_{cu3}	Poměrné přetvoření betonu
ε_{c2}	Poměrné přetvoření betonu
f_{yk}	Charakteristická pevnost oceli v tahu
f_{yd}	Návrhová pevnost oceli v tahu
E_s	Modul pružnosti oceli
ε_s	Poměrné přetvoření oceli
$V_{rd,c}$	Smyková únosnost bez smykové výztuže
s	Podélná vzdálenost smykové výztuže
s_t	Příčná vzdálenost smykové výztuže
ρ_w	stupeň vyztužení
$l_{bd,rqd}$	Základní kotevní délka
l_{bd}	Kotevní délka
$l_{bd,min}$	Minimální kotevní délka
$l_{bd,sty}$	Stykovací délka

9 Seznam příloh

Statický výpočet

Výkres č. 1 – Výkres tvaru skladiště

Výkres č. 2 – Rozdělení výztuže krajní podpory a krajního pole

Výkres č. 3 – Rozdělení výztuže mezilehlé a střední podpory

Výkres č. 4 – Rozdělení výztuže středního pole

Výkres č. 5 – Výkres výztuže příčle

Výkres č. 6 – Výkres výztuže sloupu a vnitřní patky

Protokol č. 1 – protokol návrhu a posouzení trámu T1 v programu IDEA StatiCa

Protokol č. 2 – protokol návrhu a posouzení trámu T2 v programu IDEA StatiCa