



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 POSOUZENÍ ŽB KONSTRUKCE

SALESIAN CENTER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ivo Martinek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. IVANA ŠVAŘÍČKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Ivo Martinek
Název	Návrh a posouzení ŽB konstrukce
Vedoucí práce	Ing. Ivana Švaříčková, 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

Podklady:

Stavební podklady – situace, půdorysy, řezy, geologie.

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 doporučená vedoucím diplomové práce.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Pro zadaný objekt Saleziánského střediska proveďte návrh a posouzení výztuže ve vybraných prvcích 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 diplomové 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 diplomové práce)

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

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x).

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě podle směrnic 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. Ivana Švaříčková, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a posouzením výztuže ve vybraných prvcích nosné železobetonové konstrukce objektu kostela. Je vytvořen prostorový model konstrukce, který je zatížen účinky stálých a proměnných zatížení, a provedena statická analýza pomocí výpočetního programu SCIA Engineer. Vybrané nosné prvky jsou dále posouzeny na mezní stav použitelnosti a na účinky požáru. Součástí práce je také výkresová dokumentace.

KLÍČOVÁ SLOVA

nosná železobetonová konstrukce, zatížení, vnitřní síly, dimenzování, posouzení, metoda konečných prvků, mezní stav použitelnosti, požární odolnost

ABSTRACT

This final thesis is focused on a reinforcement design and check of selected reinforced concrete structure parts of a church building. A spatial model loaded with dead and live loads is designed in order to carry out a structural analysis in SCIA Engineer software. Serviceability limit state and fire resistance are then checked for some selected load-bearing elements. The drawings are also included in this work.

KEYWORDS

load-bearing reinforced concrete structure, load, internal forces, design, check, finite element method, serviceability limit state, fire resistance

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Ivo Martinek *Návrh a posouzení ŽB konstrukce*. Brno, 2022. 31 s., 233 s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a
zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Návrh a posouzení ŽB konstrukce* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 14. 1. 2022

Bc. Ivo Martinek
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Návrh a posouzení ŽB konstrukce* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 14. 1. 2022

Bc. Ivo Martinek
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval své vedoucí diplomové práce Ing. Ivaně Švaříčkové, Ph.D. za ukázkový přístup a odborné vedení. A dále především své milované ženě Lucii, která mi byla neskutečnou oporou a v nedávné době přivedla na svět naši první dceru.

OBSAH

ÚVOD	9
1 TECHNICKÁ ZPRÁVA.....	10
1.1 Architektonické a dispoziční řešení stavby.....	10
1.2 Konstrukční systém	10
1.3 Materiálové charakteristiky	11
1.4 Základové konstrukce	12
1.5 Vodorovné konstrukce.....	12
1.6 Svislé konstrukce	14
1.7 Schodiště	15
2 ZATÍŽENÍ.....	15
2.1 Stálé zatížení	15
2.2 Proměnné zatížení.....	16
3 VÝPOČTOVÝ MODEL.....	25
4 NÁVRH A POSOUZENÍ VÝZTUŽE.....	26
ZÁVĚR	26
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	27
SEZNAM OBRÁZKŮ	28
SEZNAM TABULEK	28
SEZNAM ZKRATEK	29
SEZNAM PŘÍLOH	31

ÚVOD

Tato diplomová práce je věnována návrhu a posouzení železobetonové nosné konstrukce objektu kostela. Vychází z projektové dokumentace zpracované někdejší studentkou fakulty stavební v rámci diplomové práce na Ústavu pozemního stavitelství.

Netradiční tvarové řešení a účel objektu jsou důležitými body v procesu statické analýzy. Je kladen důraz na rozbor působení větru na konstrukci tak, aby výsledné zatížení větrem co nejdříve vystihovalo skutečnost. Za tímto účelem je využito nástroje pro simulaci obtékání budovy vzdušným proudem v digitálním větrném tunelu.

Vnitřní síly pro dimenzování prvků konstrukce jsou získány z prostorového modelu vytvořeného v programu SCIA Engineer. Při modelování, výpočtu a následném posouzení prvků je důležitou součástí procesu snaha o optimalizaci nosné konstrukce objektu. Proto dochází také ke změnám tvaru či rozměru některých jejích částí. Konstrukční systém však zůstává zachován a respektuje původní projektovou dokumentaci.

Práce je doplněna o krátké posouzení dlouhodobých deformací stropních konstrukcí a posouzení požárních odolností jednotlivých nosných prvků. Nedílnou součástí je také zpracovaná výkresová dokumentace.

1 TECHNICKÁ ZPRÁVA

1.1 Architektonické a dispoziční řešení stavby

Budova kostela Panny Marie Pomocnice křesťanů, situovaná v Brně Žabovřeskách, je vystavěna na půdoryse čtvrtkruhu.

Hlavní průčelí, umístěné v obloukové části, společně s tvarem celého objektu přirozeně utváří atmosféru místa, kdy vše směřuje k centru veškerého dění, a to k prostoru presbytáře. Jednoduché členění na jedno podzemní a jedno nadzemní podlaží je dáno účelem stavby. Podzemní podlaží slouží jako společenský prostor se zázemím a v nadzemním podlaží se nalézá chrámová loď s vyvýšenou částí chóru. Obě podlaží nejsou vzájemně propojena, každé disponuje svým vlastním vstupem. Chór je pak přístupný z chrámové lodi pomocí schodiště.

Fasáda není nijak členitá, obvodové konstrukce pouze prolamuje několik okenních otvorů prosvětlujících interiér. Architektonický výraz objektu je jak v exteriéru, tak v interiéru obohacený o zdůrazněné nosné prvky konstrukce, jinak působí velmi čistě a moderně.

Výška objektu nad terénem dosahuje 12,5 m a půdorys, promítnutý do tvaru čtverce, má rozměr zhruba 26 x 26 m.

1.2 Konstrukční systém

Železobetonový skeletový rámový systém je kombinovaný s monolitickými stěnami. Především v podzemním podlaží jsou všechny obvodové konstrukce řešeny pomocí železobetonových stěn, v prvním nadzemním podlaží jsou pak v prostoru presbytáře nahrazeny sloupy s příčnými průvlaky taktéž stěnou. K této úpravě vedlo problematické řešení celé oblasti v původní projektové dokumentaci. Docházelo zde

k výraznému křížení konstrukčních prvků (sloupů a průvlaků) a k příliš vysoké koncentraci sloupů v rámci jedné stěny.

Konstrukční systém s podélnými rámy, sbíhajícími se v teoretickém středu kruhové výseče, doplňují příčné ztužující průvlaky. Spolu s tuhými železobetonovými stropními konstrukcemi zajišťují prostorovou tuhost proti účinkům vodorovných sil od větru.

Skeletová nosná konstrukce je doplněna výplňovým zdivem z keramických cihel, které nemá nosnou funkci, ale může ještě dodatečně zvýšit celkovou tuhost objektu.

1.3 Materiálové charakteristiky

Pro všechny nosné železobetonové konstrukce je dle projektové dokumentace použit beton třídy **C30/37** a betonářská ocel **B500B**. Pro beton je zvoleno maximální zrno kameniva $D_{max} = 16 \text{ mm}$ a konzistence S4. Stupeň vlivu prostředí je pro konstrukce, které nejsou v přímém kontaktu s vnějším prostředím, volen jako XC1, v opačném případě jako XC4.

Tab. 2.1 – Materiálové charakteristiky použitého betonu a oceli

Beton	$f_{ck} =$	30	MPa	Beton	$f_{cd} =$	20	MPa
	$f_{ctm} =$	2,9	MPa		$\epsilon_{cu3} =$	3,50	‰
	$E_{cm} =$	32	GPa		$\gamma_c =$	1,5	-
	$f_{ctk,0.05} =$	2,0	MPa		$\gamma_s =$	1,15	-
Ocel	$f_{yk} =$	500	MPa	Ocel	$f_{yd} =$	434,78	MPa
	$E_s =$	200	GPa		$\epsilon_{yd} =$	2,17	‰

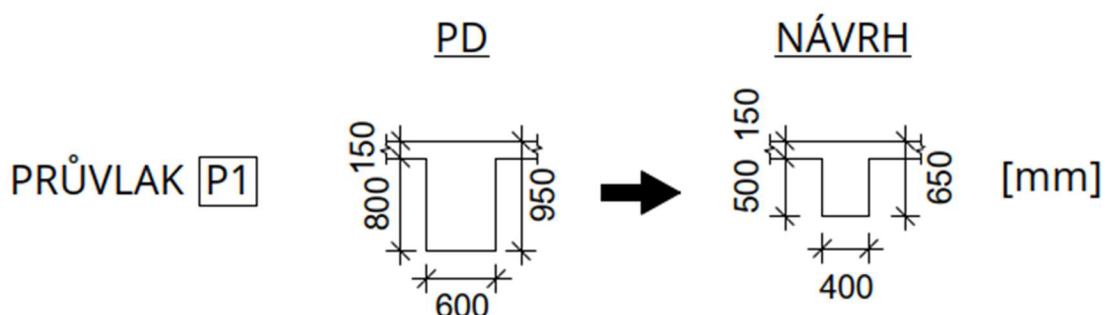
1.4 Základové konstrukce

Objekt je založen na plošných základech, a to pasech a patkách. Rozměry základových patek, případně šířky základových pasů, jsou stanoveny podle velikosti kontaktního napětí v základové spáře. Z projektové dokumentace je známá hodnota tabulkové výpočtové únosnosti zeminy v podloží a z výpočtového modelu výsledné reakce od horní stavby do podloží.

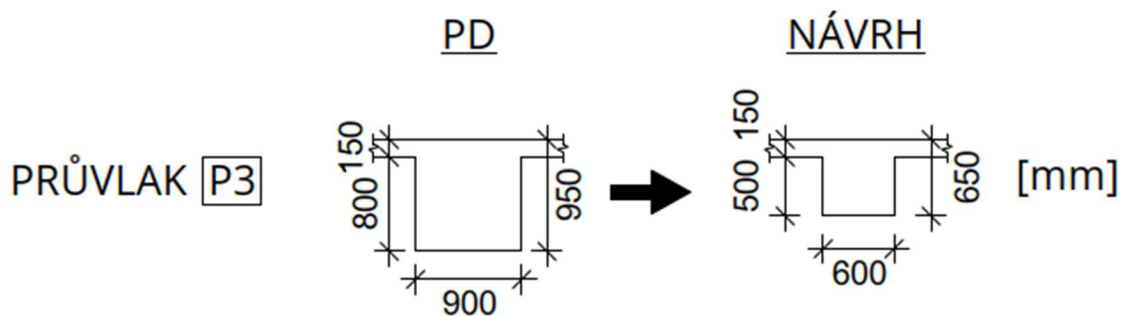
1.5 Vodorovné konstrukce

Stropní konstrukce nad 1.PP i střešní konstrukce nad 1.NP jsou řešeny obdobným způsobem. Monolitický železobetonový trémový strop je podepřen podélnými a příčnými průvlaky.

V případě stropní konstrukce nad 1.PP je tloušťka desky $h = 150 \text{ mm}$ převzata z podkladů. Po obvodu je deska podepřena suterénními železobetonovými stěnami a uvnitř dispozice podpírají desku průvlaky, jejichž průřezové rozměry jsou oproti projektové dokumentaci redukovány dle obrázků 2.1 a 2.2. K této úpravě vedlo zjištění, že při dimenzování na mezní stav únosnosti byly původní průvlaky vyhovující na ohybový moment již při vyztužení dle konstrukčních požadavků, a to především z hlediska požadavku na minimální plochu výztuže.

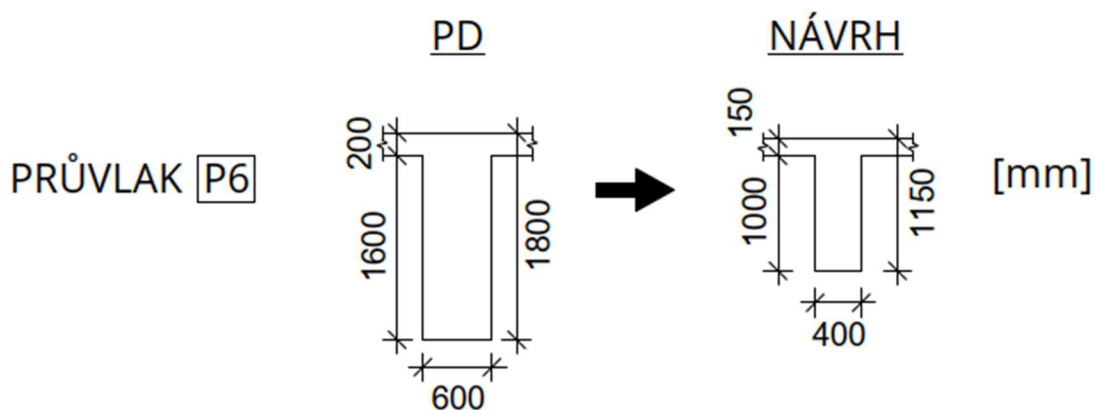


Obr. 2.1 – Průvlak P1 – úprava rozměrů průřezu



Obr. 2.2 – Průvlak P3 – úprava rozměrů průřezu

V případě střešní konstrukce jsou průřezové rozměry průvlaků opět redukovány a tentokrát ještě zásadněji. Tloušťka desky je oproti projektové dokumentaci o 50 mm snížena.



Obr. 2.3 – Průvlak P6 – úprava rozměrů průřezu

Zbývající vodorovné konstrukce čili stropní konstrukce nad 1.NP v oblasti chóru nebo zastřešení vstupní části kostela jsou převzaty z projektové dokumentace bez změn.

1.6 Svislé konstrukce

1.6.1 Sloupy

Pro všechny hlavní nosné sloupy je dle projektové dokumentace navržen shodný průřez. Rozměry tohoto průřezu jsou dále upraveny v návaznosti na změny provedené u stropních konstrukcí. Díky tomu je zajištěna vzájemná vazba jednotlivých prvků železobetonového skeletu a vysoká úspora betonu.



Obr. 2.4 – Sloup S1 – úprava rozměrů průřezu

V objektu se (v závislosti na délce prvku) nachází celkem 3 typy sloupů:

- Sloupy po výšce celého objektu
- Sloupy pouze v 1.PP
- Sloupy pouze v 1.NP – osazené na obvodových stěnách podzemního podlaží, se zmenšeným průřezem (400 x 400 mm) v rámci obloukové části

1.6.2 Stěny

Železobetonové stěny tloušťky $h = 400 \text{ mm}$ jsou soustředěny do 1.PP. Zde plní především nosnou funkci z hlediska přenosu zatížení od obvodových stěn a sloupů nadzemní části objektu a od stropní konstrukce nad 1.PP. Kvůli absenci podzemní vody bude jejich těsnicí funkce zajištěna patřičnou hydroizolací. V části presbytáře bylo přistoupeno ke změnám uvedeným v kapitole 2.2. Stěna v této části je pak navržena na celou výšku objektu a její tvarové řešení je přizpůsobeno tak, aby na ni bylo možné osadit veškeré podélné průvlaky v 1.PP i 1.NP.

1.7 Schodiště

Schodiště je projektováno jako dodatečně zhotovené a není součástí návrhu železobetonových konstrukcí.

2 ZATÍŽENÍ

Zatížení konstrukcí je stanoveno dle technické normy ČSN EN 1991 – Zatížení konstrukcí. Jako podklad je použita projektová dokumentace, která je součástí přílohy P1. této diplomové práce.

2.1 Stálé zatížení

Zatížení vlastní tíhou je počítáno programem SCIA Engineer. Dále jsou do stálého zatížení zahrnuty především plošné konstrukce podlah a liniové konstrukce zděných stěn a příček. Pro stanovení ostatního stálého zatížení je využito nejen podkladů, ale i technických listů a specifikací stavebních materiálů volně dostupných na internetových stránkách výrobců.

Je uvažováno také se zatížením zemním tlakem na stěny podzemního podlaží.

2.2 Proměnné zatížení

Pro veškeré vnitřní prostory a střechu objektu je dle kategorie zatěžovacích ploch určeno zatížení užitné. Pro vnější povrchy konstrukcí jsou pak uvažována zatížení klimatická, jako zatížení sněhem a větrem.

2.2.1 Užitné zatížení

Projektová dokumentace jasně předepisuje účel užívání objektu a jeho částí. Plochy stropních konstrukcí jsou zaříděny do příslušných kategorií a jim odpovídající hodnoty užitného zatížení jsou dále uvažovány ve výpočtu. Podrobné zpracování je k dispozici v příloze P3.

2.2.2 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem je stanoveno podle technické normy ČSN EN 1991-1-3 [6].

2.2.3 Zatížení větrem

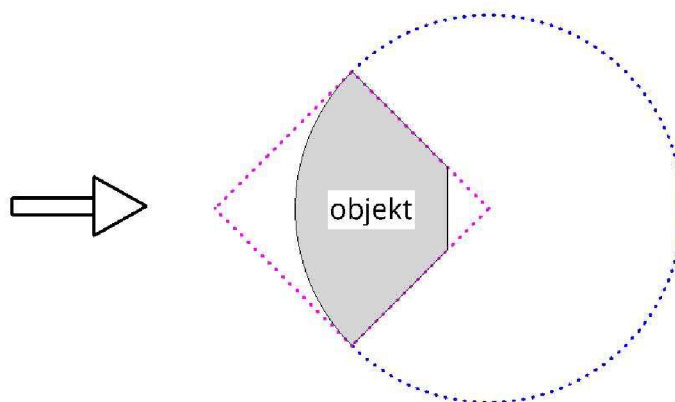
Úvodem je třeba vysvětlit, jakým způsobem je zatížení od působícího větru stanoveno a jaké skutečnosti k tomuto přístupu vedly.

Ve fázi zpracovávání diplomové práce bylo zjištěno, že v současnosti platná technická norma ČSN EN 1991-1-4 [7] pro stanovení zatížení větrem neposkytuje dostatečnou oporu při řešení objektů s komplikovanějším půdorysným uspořádáním. Při uvážení pouze výše zmíněné normy byly získány značně nadhodnocené účinky zatížení, jejichž působení bylo poměrně diskutabilní. Z tohoto důvodu bylo nezbytné zaměřit se i na jinou dostupnou literaturu a za pomoci vícero zdrojů stanovit zatížení větrem co nejbližší reálným podmínkám.

Pro získání skutečné představy o účincích zatížení větrem bylo přistoupeno k využití numerické simulace obtékání budovy vzdušným proudem ve větrném tunelu v programu RWIND. Generované síly působící na daný objekt pak posloužily pro ověření správnosti výpočtu.

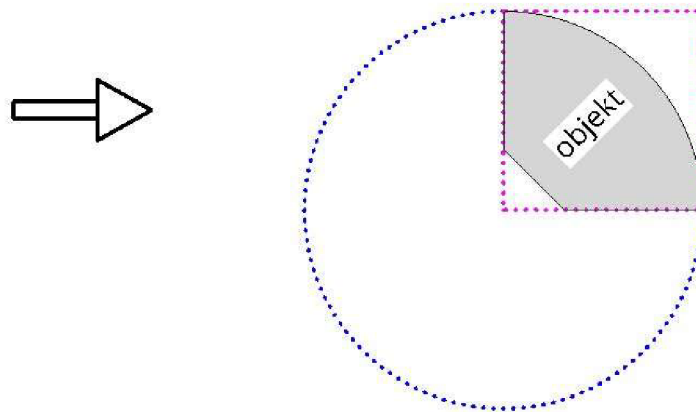
Následujícím postupem je dosaženo uspokojivé shody mezi výsledky ze statického výpočtu a z větrného tunelu:

- Svislé stěny budovy – zatížení stanoveno dle dnes již neplatné technické normy ČSN 73 0035 – Zatížení stavebních konstrukcí [10]
- Pultová střecha – zatížení stanoveno dle technické normy ČSN EN 1991-1-4 [7]
- Při působení větru **ve směru nosného rámu konstrukce** je uvažováno:
 - o Návětrná strana – oblouková stěna jako kruhová výseč válcového tělesa se středem otáčení shodným s objektem
 - o Závětrná strana – šikmé stěny součástí náhradního čtvercového půdorysu zatíženého větrem pod úhlem 45°
 - o Pultová střecha – oblasti působení tlaku větru shodné s pravoúhlým půdorysem v Eurokódu zatíženým větrem pod úhlem 0°



Obr. 3.1 – Náhradní půdorysné uspořádání pro působení větru ve směru nosného rámu

- Při působení větru **kolmo na nosný rám konstrukce** je uvažováno:
 - o Návětrná a boční strana – stěny součástí náhradního čtvercového půdorysu zatíženého větrem pod úhlem 0°
 - o Závětrná strana – oblouková stěna jako kruhová výseč válcového tělesa se středem otáčení shodným s objektem
 - o Pultová střecha – oblasti působení tlaku větru shodné s pravouhlejším půdorysem v Eurokódu zatíženým větrem pod úhlem 90°



Obr. 3.2 – Náhradní půdorysné uspořádání pro působení větru kolmo na nosný rám

V další části bych se rád zaměřil na přiblížení samotného programu RWIND Simulation a jeho využití pro tuto diplomovou práci.

Výpočet ve zmíněném programu je prováděn na základě simulace skutečného proudění větru větrným tunelem. Do programu je importován model konstrukce ve formátu IFC ve skutečné velikosti. Dále je model umístěn a pootočen tak, aby byl zatěžován prouděním větru v požadovaném směru. Optimalizaci větrného tunelu provádí program po volbě uživatele automaticky.

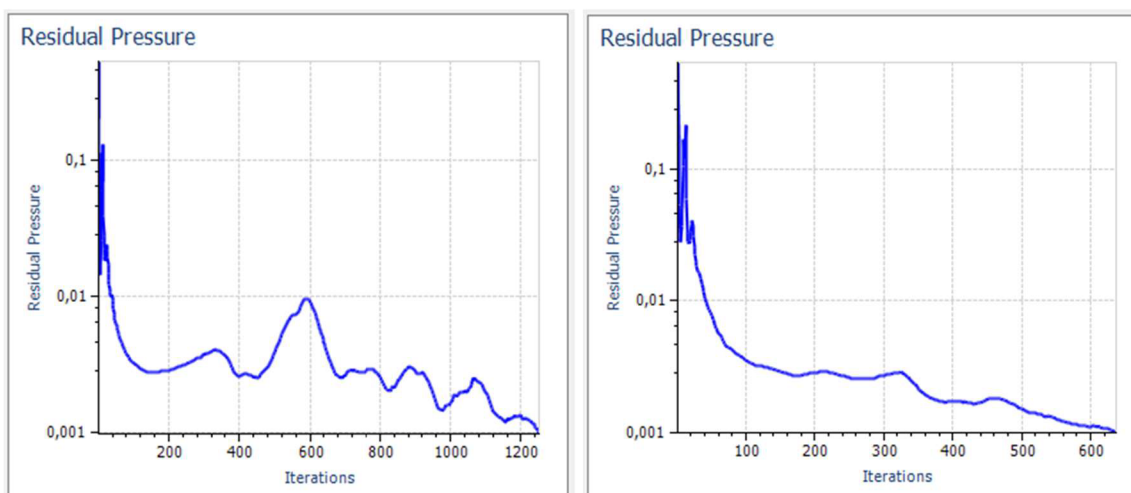
Vstupních dat není potřeba mnoho. Dle technické normy ČSN EN 1991-1-4 [7] je stanovena základní rychlost větru, kinematická viskozita a měrná hmotnost vzduchu.

The image shows two panels from a simulation software interface. The top panel, titled 'Flow Parameters', contains three input fields: 'Inlet velocity' set to 25.00 [m/s], 'Kinematic viscosity' set to 1.5e-05 [m²/s], and 'Density' set to 1.25 [kg/m³]. A 'Profile...' button is located to the right of the velocity field. The bottom panel, titled 'Finite Volume Mesh', contains several settings: 'Mesh density' set to 20 [%] with a slider; 'Mesh cell estimation' showing 247 491 cells and a minimum cell size of 0.229 m; 'Mesh refinement type' with radio buttons for 'Distance from surface' (selected) and 'Surface curvature'; a checkbox for 'Boundary layers' which is unchecked, with 'NL:' set to 5; and a checked checkbox for 'Snap to model edges (if possible)'.

Obr. 3.3 – Nastavení parametrů simulace – parametry proudění a síť konečných prvků

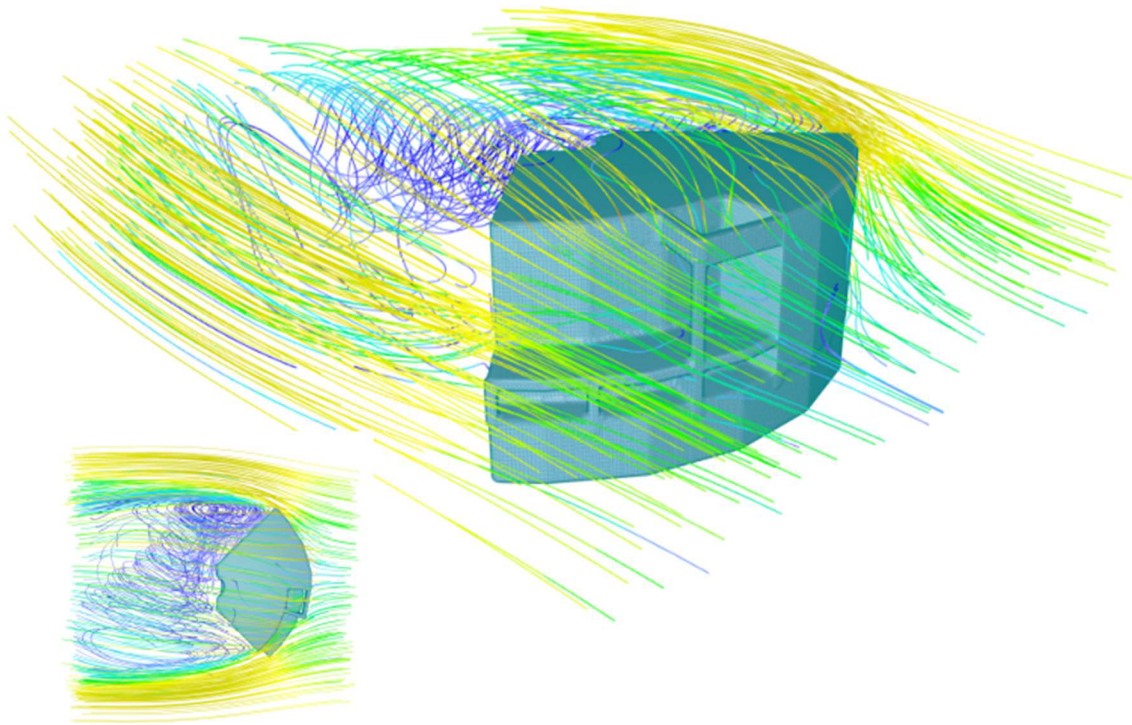
V první části výpočtu je generována síť konečných prvků po celém povrchu objektu s hustotou prvků dle volby uživatele. Čím je hustota vyšší, tím přesnější a náročnější výpočet je. Je vhodné také zmínit, že při generování sítě konečných prvků dochází ke zjednodušení některých detailů modelu, které nejsou pro simulaci zásadní a pouze by výpočet komplikovaly. Nastavení úrovně zjednodušení je také v rukou uživatele. Po kontrole sítě probíhá iterační výpočet až po dosažení kritéria konvergence. Toto kritérium je automaticky přednastaveno na hodnotu jedné tisíciný a s ním i maximální počet iterací. Obě hodnoty je možno upravovat. Po dosažení kritéria konvergence dojde k ukončení výpočtu a uživatel si může prostudovat celou řadu výsledků. Od zobrazení tlaku větru na plochách konstrukce, přes pole tlaků či rychlostí, až po proudnice a jejich animace.

V rámci diplomové práce bylo v digitálním větrném tunelu generováno zatížení větrem pro oba zatěžovací případy. Pokaždé bylo dosaženo kritéria konvergence a výpočet tedy proběhl úspěšně. V případě zatížení kolmo na nosný rám provedl program zhruba 600 iterací, pro zatížení ve směru rámu bylo zapotřebí dvojnásobného množství iterací.

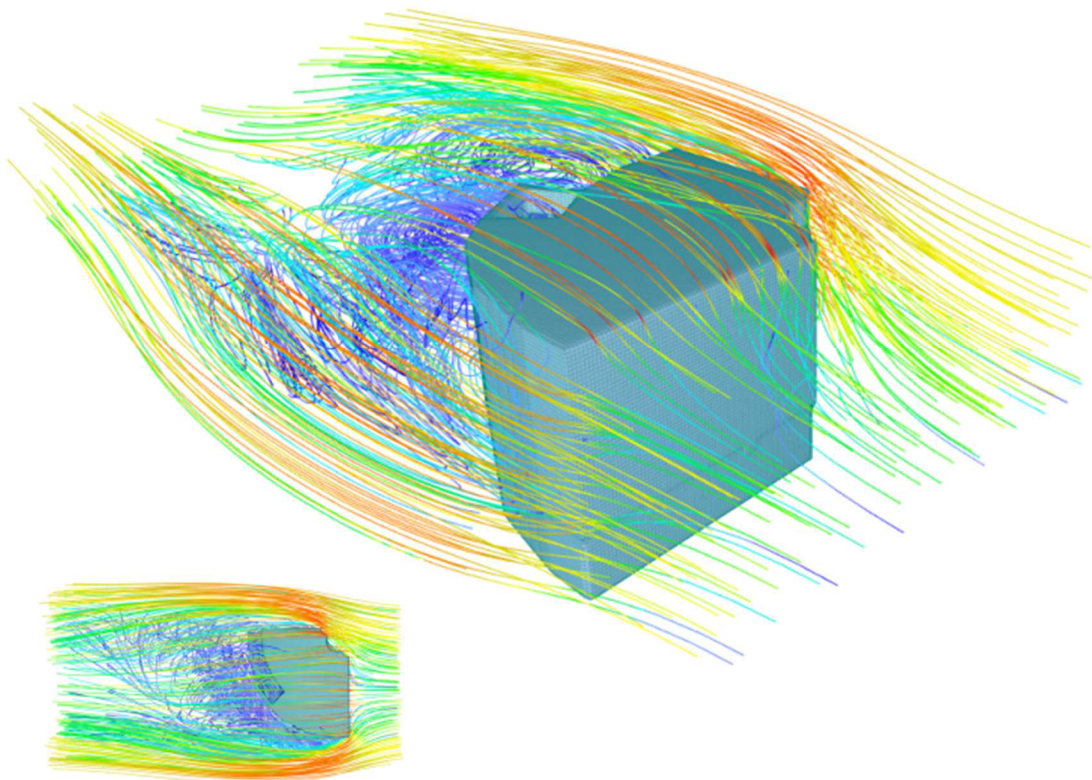


Obr. 3.4 – Grafické znázornění konvergence iterací k požadovanému kritériu

Pro ilustraci jsou zde uvedeny i grafické výstupy z programu, a to konkrétně proudnice, neboť jejich rozložení kolem objektu nám dává představu o skutečném proudění větru.

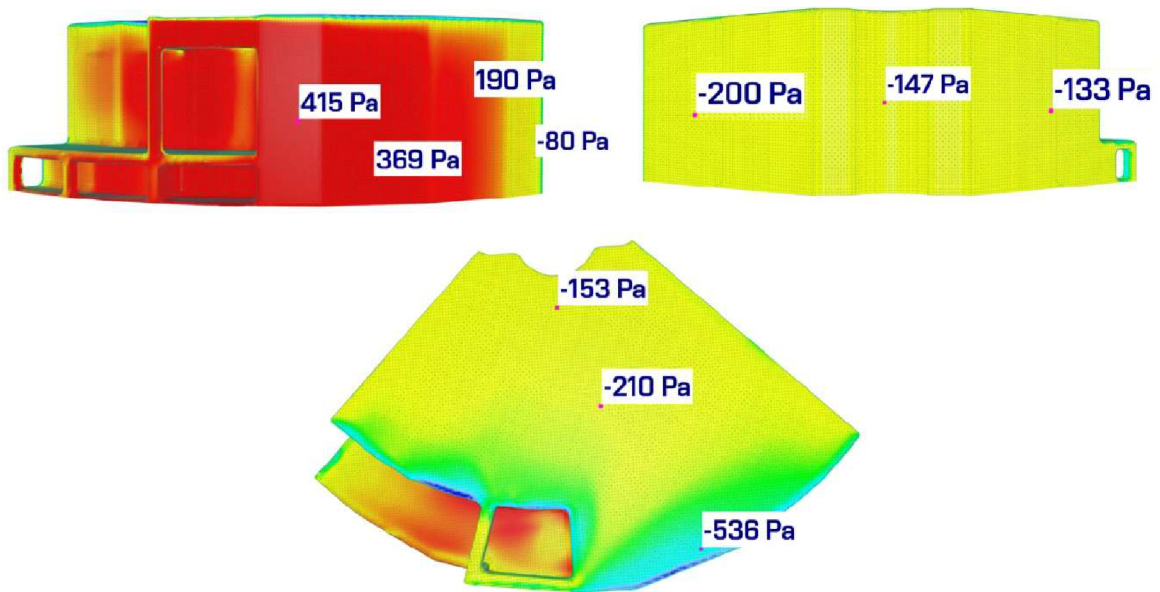


Obr. 3.5 – Proudnice – působení větru ve směru nosného rámu

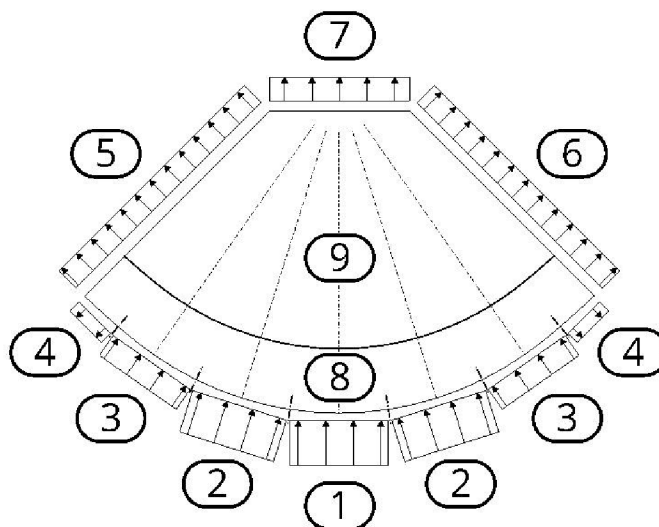


Obr. 3.6 – Proudnice – působení větru kolmo na nosný rám

Závěrem této podkapitoly je porovnání výsledných tlaků větru stanovených podle dostupných technických norem s výsledky z programu RWIND. První část je zaměřena na působení větru ve směru nosného rámu, druhá pak na působení větru kolmo na nosný rám. Jednotlivé oblasti jsou číselně označeny pro snadnější orientaci.



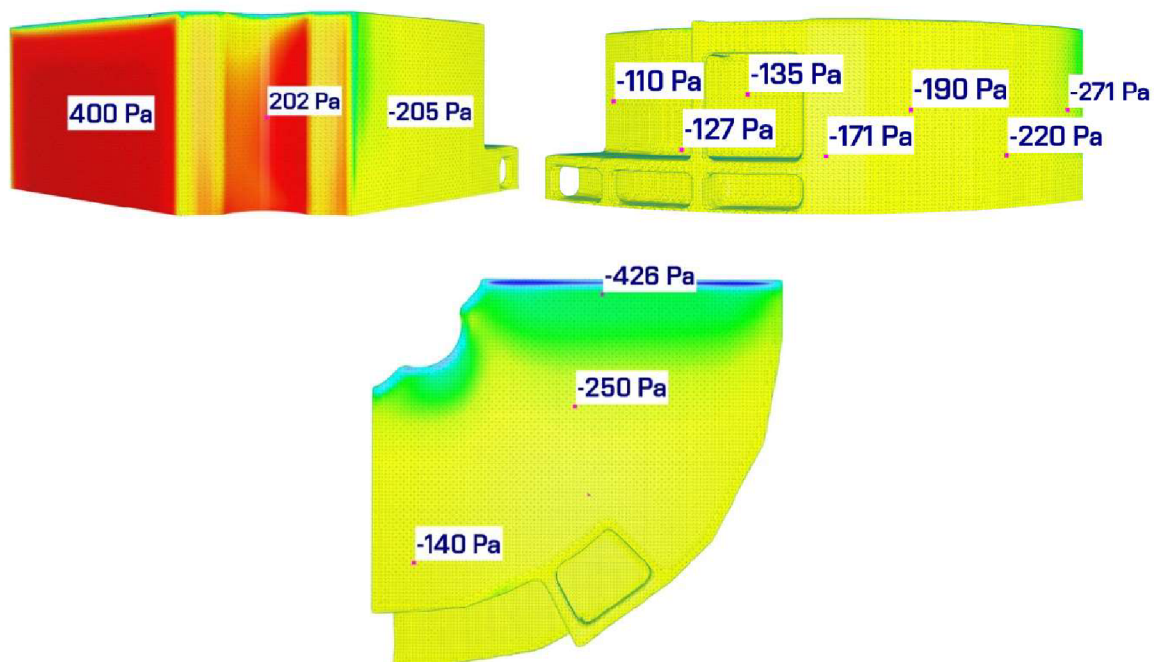
Obr. 3.7 – Výsledné tlaky větru z programu RWIND – 1. směr



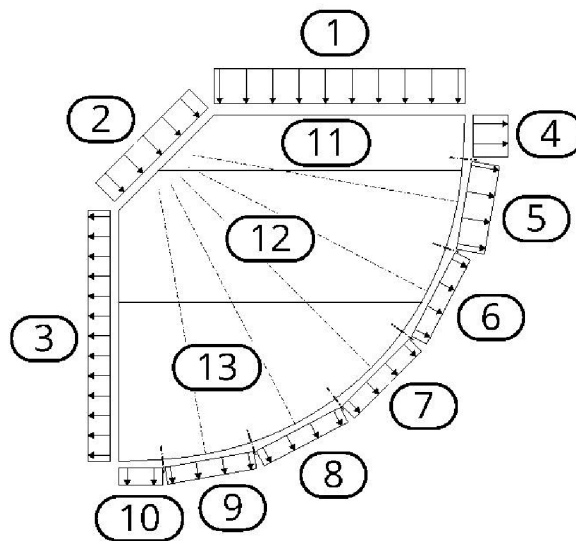
Obr. 3.8 – Číselné značení posuzovaných oblastí – 1. směr

Tab. 3.1 – Porovnání výstupu z programu RWIND se statickým výpočtem – 1. směr

Oblast	RWIND	Stat. výpočet		ROZDÍL	
1	0,415	0,550	kN/m ²	25	%
2	0,369	0,410	kN/m ²	10	%
3	0,190	0,190	kN/m ²	0	%
4	-0,080	-0,110	kN/m ²	27	%
5	-0,133	-0,220	kN/m ²	40	%
6	-0,200	-0,220	kN/m ²	9	%
7	-0,147	-0,220	kN/m ²	33	%
8	-0,536	-0,870	kN/m ²	38	%
9	-0,210	-0,440	kN/m ²	52	%



Obr. 3.9 – Výsledné tlaky větru z programu RWIND – 2. směr



Obr. 3.10 – Číselné značení posuzovaných oblastí – 2. směr

Tab. 3.2 – Porovnání výstupu z programu RWIND se statickým výpočtem – 2. směr

Oblast	RWIND	Stat. Výpočet		ROZDÍL	
1	0,400	0,440	kN/m ²	9	%
2	0,202	0,280	kN/m ²	28	%
3	-0,205	-0,220	kN/m ²	7	%
4	-0,271	-0,470	kN/m ²	42	%
5	-0,220	-0,360	kN/m ²	39	%
6	-0,190	-0,190	kN/m ²	0	%
7	-0,171	-0,190	kN/m ²	10	%
8	-0,135	-0,190	kN/m ²	29	%
9	-0,127	-0,190	kN/m ²	33	%
10	-0,110	-0,190	kN/m ³	42	%
11	-0,426	-1,310	kN/m ⁴	67	%
12	-0,250	-0,440	kN/m ⁵	43	%
13	-0,140	-0,360	kN/m ⁶	61	%

Zatížení větrem, stanovené dle technických norem, je v obou případech vyšší než zatížení získané při simulaci. Jeho průběh však nápadně kopíruje průběh zatížení v programu RWIND, čímž je postup stanovení tohoto zatížení v rámci statického výpočtu považován za správný a na straně bezpečné.

3 VÝPOČTOVÝ MODEL

Prostorový model pro statickou analýzu je vytvořen v programu SCIA Engineer a je sestaven z jednoduchých prutových prvků (nosník, sloup) a plošných dílců (deska, stěna). Průvlaky připojené k desce jsou pak modelovány jako žebra.

Podpěření celého modelu je realizováno pomocí uzlových podpor v místě sloupů a u stěn pomocí liniových podpor na hraně plochy. Ve směru osy Z (vertikálně) je podepření uvažováno jako pružné. Tuhosti jednotlivých podpor jsou nastaveny tak, aby docházelo k rovnoměrné deformaci konstrukce. Z tohoto pak vychází i samotný návrh rozměrů základových konstrukcí, kdy cílem návrhu je dosažení přibližně stejného kontaktního napětí v základové spáře pod všemi konstrukcemi.

Model je dále doplněn o zděné stěny, kloubově připojené k ostatním konstrukcím. Materiálu zdiva je zadána objemová hmotnost, tudíž není potřeba dále na model aplikovat liniová zatížení ze stěn a příček. Konečně-prvkové modely stěn jsou nastaveny jako ortotropní a membránová smyková tuhost je oproti ostatním tuhostem řádově zmenšena. Tím dojde k tzv. „rozsloupečkování“ stěn a eliminování případného spolupůsobení s železobetonovou konstrukcí.

Geometricky vychází model především z podkladů, které jsou součástí této diplomové práce. V několika případech bylo však nutné přistoupit k částečné optimalizaci konstrukce, ať už z důvodu nepřesné či chybné podkladní projektové dokumentace, tak například z důvodu předimenzovaných prvků.

Návrhové vnitřní síly pro dimenzování prvků konstrukce jsou výsledkem kombinací 6.10a a 6.10.b. Program sám nalezne při správně zadaných parametrech zatěžovacích stavů jejich nejnepříznivější kombinaci.

4 NÁVRH A POSOUZENÍ VÝZTUŽE

Návrhu a posouzení výztuže ve vybraných prvcích konstrukce je věnována samostatná příloha P3. *Statický výpočet.*

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a posoudit výztuž ve vybraných prvcích nosné konstrukce objektu kostela. Bylo postupováno dle pokynů vedoucí diplomové práce.

Bylo stanoveno zatížení, provedena analýza nosné konstrukce objektu ve výpočetním programu a vypracovány výkresy tvaru a výztuže posuzovaných prvků. Prvky byly vybrány tak, aby byla prokázána proveditelnost konstrukce v celém jejím objemu.

Ačkoliv byly na konstrukci provedeny změny a došlo k optimalizaci průřezů nosných prvků, je třeba dodat, že v několika případech by byly další kroky ve smyslu úspory materiálu a plného využití konstrukce žádoucí.

Čas věnovaný vypracování mi byl přínosný nejen z hlediska zkušenosti s řešením prostorového statického modelu, ale především díky obeznámení s možnostmi numerické simulace obtékání budov vzdušným proudem. Tu hodnotím jako velmi obohacující a v budoucnu tento nástroj jistě ještě využiji.

Diplomovou práci považuji za úspěšnou.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

ODBORNÁ LITERATURA

- [1] ZICH, Miloš. Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů. Praha: Dashöfer Holding, Ltd., 2010. ISBN 978-80-86897-38-7.
- [2] TICHÝ, Milík. Zatížení stavebních konstrukcí TP 45. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1987. 04-703-87.
- [3] ŠVARŤČKOVÁ, Ivana. 07_základová_patka.pdf [online]. [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://vutbr.sharepoint.com/sites/Svarickova>

PŘEDPISY

- [4] ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: ČNI, 2004.
- [5] ČSN EN 1991-1-1: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: ČNI, 2004.
- [6] ČSN EN 1991-1-3: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Praha: ČNI, 2005.
- [7] ČSN EN 1991-1-4: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Praha: ČNI, 2007.
- [8] ČSN EN 1992-1-1: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI, 2006.
- [9] ČSN EN 1992-1-2: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Praha: ČNI, 2006.
- [10] ČSN 73 0035: Zatížení stavebních konstrukcí. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1988. (Norma není platná)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 – Průvlak P1 – úprava rozměrů průřezu.....	12
Obr. 2.2 – Průvlak P3 – úprava rozměrů průřezu.....	13
Obr. 2.3 – Průvlak P6 – úprava rozměrů průřezu.....	13
Obr. 2.4 – Sloup S1 – úprava rozměrů průřezu.....	14
Obr. 3.1 – Náhradní půdorysné uspořádání pro působení větru ve směru nosného rámu	17
Obr. 3.2 – Náhradní půdorysné uspořádání pro působení větru kolmo na nosný rám.....	18
Obr. 3.3 – Nastavení parametrů simulace – parametry proudění a síť konečných prvků.....	19
Obr. 3.4 – Grafické znázornění konvergence iterací k požadovanému kritériu.....	20
Obr. 3.5 – Proudnice – působení větru ve směru nosného rámu	21
Obr. 3.6 – Proudnice – působení větru kolmo na nosný rám.....	21
Obr. 3.7 – Výsledné tlaky větru z programu RWIND – 1. směr	22
Obr. 3.8 – Číselné značení posuzovaných oblastí – 1. směr	22
Obr. 3.9 – Výsledné tlaky větru z programu RWIND – 2. směr	23
Obr. 3.10 – Číselné značení posuzovaných oblastí – 2. směr	24

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 – Materiálové charakteristiky použitého betonu a oceli	11
Tab. 3.1 – Porovnání výstupu z programu RWIND se statickým výpočtem – 1. směr.....	23
Tab. 3.2 – Porovnání výstupu z programu RWIND se statickým výpočtem – 2. směr.....	24

SEZNAM ZKRATEK

A	průřezová plocha
A_k	plocha dutého průřezu
A_s	plocha výztuže
$A_{s,0}$	plocha základní výztuže
$A_{s,max}$	maximální plocha výztuže
$A_{s,min}$	minimální plocha výztuže
$A_{s,req}$	minimální požadovaná plocha výztuže
A_{sf}	plocha výztuže na podélný smyk
A_{sw}	plocha smykové výztuže
b	šířka průřezu prvku
b_{eff}	spolupůsobící šířka
b_k	šířka střednice dutého průřezu
b_w	nejmenší šířka průřezu v tažené oblasti
c	krytí výztuže betonovou vrstvou
c_{nom}	jmenovitá hodnota betonové krycí vrstvy výztuže
c_t	šířka oblasti přídatných třmínků pro nepřímé uložení
d	účinná výška průřezu
e	excentricita
E_{cm}	sečnový modul pružnosti betonu
E_s	modul pružnosti oceli
f_{bd}	mezní napětí v soudržnosti
F_c	výsledná síla v tlačeném betonu
f_{cd}	návrhová pevnost betonu v tlaku
f_{ck}	charakteristická pevnost betonu v tlaku
f_{ctd}	návrhová pevnost betonu v tahu
$f_{ctk;0,05}$	5% kvantil charakteristické pevnosti v tahu
f_{ctm}	průměrná pevnost betonu v tahu
F_s	tahová síla ve výztuži
f_{yd}	návrhová mez kluzu betonářské výztuže
f_{yk}	charakteristická mez kluzu betonářské výztuže
g_d	návrhová hodnota stálého zatížení
g_k	charakteristická hodnota stálého zatížení
h	výška průřezu prvku
h_f	výška přírub v místě napojení na stojinu
h_k	výška střednice dutého průřezu
h_s	tloušťka stropní desky
I	moment setrvačnosti
k	součinitel výšky průřezu
l_0	přesahová délka výztuže



$l_{0,min}$	minimální přesahová délka výztuže
l_{bd}	kotevní délka výztuže
$l_{bd,min}$	minimální kotevní délka výztuže
$l_{b,rqd}$	základní kotevní délka výztuže
M_{Ed}	návrhový moment
M_{max}	maximální moment
M_{Rd}	momentová únosnost průřezu
q_d	návrhová hodnota proměnného zatížení
q_k	charakteristická hodnota proměnného zatížení
s	vzdálenost podélné výztuže nebo třmínků
s_{min}	minimální světlá vzdálenost prutů výztuže
s_{max}	maximální rozteč prutů výztuže
$s_{t,max}$	maximální příčná vzdálenost větví třmínků
t_{ef}	tloušťka stěny dutého průřezu
$T_{Rd,c}$	únosnost betonového průřezu v kroucení
u	obvod
u_k	obvod střednice dutého průřezu
V	posouvající síla
$V_{Ed,1}$	posouvající síla ve vzdálenosti d od líce podpory
$V_{Rd,c}$	smyková únosnost prvku bez smykové výztuže
$V_{Rd,s}$	únosnost smykové výztuže
x	poloha neutrální osy
Z_c	rameno vnitřních sil
ZS	zatěžovací stav
γ	objemová (plošná) tíha
γ_c	součinitel spolehlivosti materiálu pro beton
γ_s	součinitel spolehlivosti materiálu pro ocel
ΔF_d	změna normálové síly v přírubě na délce Δx
Δx	polovina vzdálenosti mezi průřezem s nulovým a maximálním M
ϵ_{cu3}	mezní poměrné přetvoření betonu
ϵ_s	poměrné přetvoření výztuže
ϵ_{yd}	poměrné přetvoření výztuže na mezi využití
λ	redukční součinitel pro beton
v_{min}	minimální smykové napětí
v_{Ed}	smykové napětí
ρ_l	stupeň vyztužení podélnou výztuží
ρ_w	stupeň vyztužení smykovou výztuží
ρ_{min}	minimální stupeň vyztužení
σ_{sd}	návrhové namáhání prutu v místě, odkud se uvažuje kotvení
\emptyset	průměr betonářské výztuže

SEZNAM PŘÍLOH

P1. POUŽITÉ PODKLADY

P1.01	PŮDORYS 1.PP	M 1:100
P1.02	PŮDORYS 1.NP	M 1:100
P1.03	PŮDORYS 2.NP	M 1:100
P1.04	PODÉLNÉ A PŘÍČNÉ ŘEZY	M 1:50
P1.05	POHLEDY	M 1:200

P2. VÝKRESY TVARU A VÝZTUŽE

P2.01	VÝKRES TVARU 1.PP	M 1:50
P2.02	VÝKRES VÝZTUŽE ZÁKLADOVÉ PATKY	M 1:25
P2.03	VÝKRES VÝZTUŽE SLOUPŮ V 1.PP	M 1:25
P2.04	VÝKRES VÝZTUŽE STĚN V 1.PP	M 1:50
P2.05	VÝKRES VÝZTUŽE PRŮVLAKŮ V 1.PP	M 1:25
P2.06	VÝKRES VÝZTUŽE PŘI SPODNÍM LÍCI DESKY	M 1:50
P2.07	VÝKRES VÝZTUŽE PŘI HORNÍM LÍCI DESKY	M 1:50

P3. STATICKÝ VÝPOČET