



# 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 ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE

STATIC SOLUTION OF A REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Tomáš Zedník

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. MARTIN ZLÁMAL, Ph.D.

BRNO 2021



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Tomáš Zedník
<b>Název</b>	Statické řešení železobetonové konstrukce
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Martin Zlámal, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2020
<b>Datum odevzdání</b>	15. 1. 2021

V Brně dne 31. 3. 2020

---

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

---

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

## PODKLADY A LITERATURA

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

Literatura doporučená vedoucím diplomové práce.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Navrhnete nosnou konstrukci železobetonové konstrukce horského hotelu, vypracujte studii proveditelnosti a srovnání jednotlivých variant.

Pro vybranou variantu vypracujte statické řešení konstrukce a naddimenzujte její vybrané části v rozsahu určeném vedoucím práce. Statickou analýzu provedte v některém programovém systému pro výpočet konstrukcí (včetně případné kontroly zjednodušenou metodou).

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 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. Martin Zlámal, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce



## ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem horského hotelu se střešní konstrukcí z železobetonové skořepiny. Při návrhu byly posuzovány tři druhy konstrukčního řešení. Cílem bylo zjistit, které z konstrukčních řešení je nejvhodnější pro chování železobetonové konstrukce. Pro posouzení a výpočet vnitřních sil v konstrukci byl použit program Dlubal RFEM. V této práci se dále zabývám návrhem a posouzením jednotlivých prvků zvoleného konstrukčního řešení objektu. Součástí práce jsou i výkresy tvarů a výkresy výztuže.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Železobetonová monolitická konstrukce, střešní skořepina, netradiční veřejný objekt, interakční diagram, Dlubal RFEM

## ABSTRACT

This diploma thesis deals with the design of a mountain hotel with a roof structure made of a reinforced concrete shell. During designing three types of design were assessed. The aim was to find out which of the design solutions is the most suitable for the behaviour of a reinforced concrete structure. The Dlubal RFEM program was used to assess and calculate the internal forces in the structure. In this thesis I also deal with the design and assessment of individual elements of the selected design solution. The thesis also includes drawings of construction plans and drawings of reinforcement plans.

## KEYWORDS

Monolith concrete structure, roof shell, non-traditional public building, interaction diagram, Dlubal RFEM



## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Tomáš Zedník *Statické řešení železobetonové konstrukce*. Brno, 2021. 65 s., 393 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Martin Zlámal, Ph.D.



## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Statické řešení železobetonové konstrukce* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 10. 1. 2021

---

Bc. Tomáš Zedník

autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Statické řešení železobetonové konstrukce* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2021

---

Bc. Tomáš Zedník

autor práce



## PODĚKOVÁNÍ:

Děkuji vedoucímu své diplomové práce Ing. Martinovi Zlámalovi, Ph.D. za cenné rady a čas věnovaný konzultacím. Také bych chtěl poděkovat své rodině a nejbližším za podporu po celou dlouhou dobu studia. Dále bych chtěl poděkovat kolegům ze zaměstnání.



# 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

TEXTOVÁ ČÁST  
TEXT PART

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Tomáš Zedník

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. MARTIN ZLÁMAL, Ph.D.

BRNO 2021





## Obsah

1.	Úvod .....	12
1.1.	Popis architektonické studie.....	12
1.2.	Umístění stavby.....	15
2.	Modelování a analýza chování konstrukce.....	15
2.1.	Model Typu A: Železobetonová předpjatá konstrukce .....	16
2.2.	Model Typu B: Standardní železobetonová konstrukce .....	20
2.3.	Model Typu C: Vylehčená železobetonová stropní deska se systémem COBIAX	23
2.4.	Vyhodnocení a volba nejvhodnějšího modelu .....	27
2.4.1.	Modely Typu: B a C .....	27
2.4.2.	Model typu: A .....	28
2.4.3.	Výběr vhodného konstrukčního systému .....	29
2.4.4.	Porovnání vybraných hodnot výsledků .....	31
3.	Detailní popis výpočetního modelu RFEM.....	34
3.1.	Okrajové podmínky a uložení modelu .....	34
3.2.	Popis jednotlivých konstrukčních prvků v konstrukčním systému.....	35
3.3.	Zatížení.....	35
3.4.	Kombinace zatížení .....	36
3.5.	Výsledky návrhového zatížení pro posouzení prvků .....	36
4.	Dimenzování.....	36
4.1.	Materiály .....	37
4.2.	Výpočet krytí.....	37
4.3.	Výpočet minimálního vyztužení skořepiny .....	37
4.4.	Průřez skořepiny.....	38
4.5.	Výpočet bodů interakčního diagramu skořepiny se základním vyztužením	38



4.5.1. Bod 0 .....	38
4.5.2. Bod 1 .....	39
4.5.3. Bod 2 .....	40
4.5.4. Bod 3 .....	41
4.5.5. Bod 4 .....	42
4.5.6. Bod 5 .....	42
4.5.7. Bod 6 .....	43
4.5.8. Bod 1' .....	44
4.5.9. Bod 2' .....	44
4.5.10. Bod 3' .....	45
4.5.11. Bod 4' .....	46
4.5.12. Bod 6' .....	47
4.6. Posouzení skořepiny.....	48
4.6.1. Návrhové síly prvního řádu .....	48
4.6.2. Návrhové síly druhého řádu .....	52
4.6.3. Množství příčné výztuže ve skořepině (spony, třmínky) .....	54
4.7. Kotevní délka ohybové výztuže .....	55
4.8. Posouzení sloupů.....	57
4.8.1. Program INCA2 .....	58
4.9. Posouzení stěn v 1NP a 2NP.....	58
4.10. Posouzení průvlaků v 1NP a 2NP.....	58
4.11. Posouzení stropní desky .....	59
5. Závěr.....	60
6. Bibliografie.....	61
7. Seznam použitých softwarů.....	62
8. Seznam obrázků.....	63
9.....	64



10. Seznam příloh .....	65
-------------------------	----



## 1. Úvod

### 1.1. Popis architektonické studie

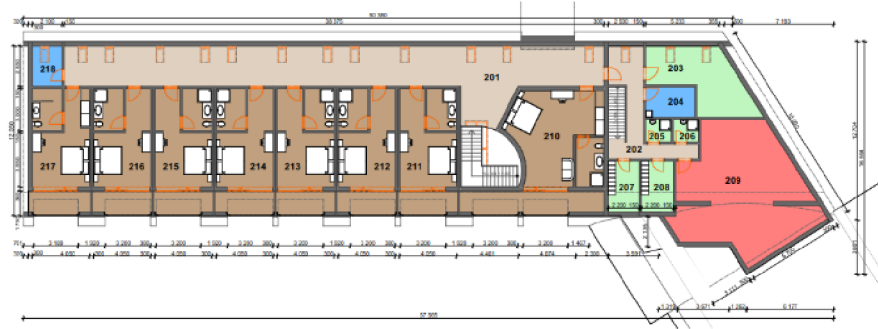
Pro statické řešení železobetonové konstrukce jsem zvolil fiktivní budovu, kterou jsem navrhl v rámci jednoho z kurzů na VUT, tudíž jsem jako podklad použil pouze jednoduchou architektonickou studii horského hotelu. Hlavní dominantou stavby je oblouková střešní konstrukce, která dodává charakter celé budově.

Hotel je rozdělen na dvě hlavní části. První částí dvoupodlažní budovy je trakt hotelových pokojů, který navazuje na vstupní halu objektu. V rohu objektu se nachází kuchyně a zázemí pro personál hotelu. V křídle směřujícím dále od pozemní komunikace se nachází restaurace. Tato část je jednopodlažní. Délka hotelové části se zázemím je 43 m, délka šikmé části s restaurací činní 19 m. Celková výška objektu je 7,2 m a šířka hotelového traktu je 13,5 m. V práci je posouzena celá hotelová část, avšak na výkresech je zpracováno pouze jedno modulové pole.

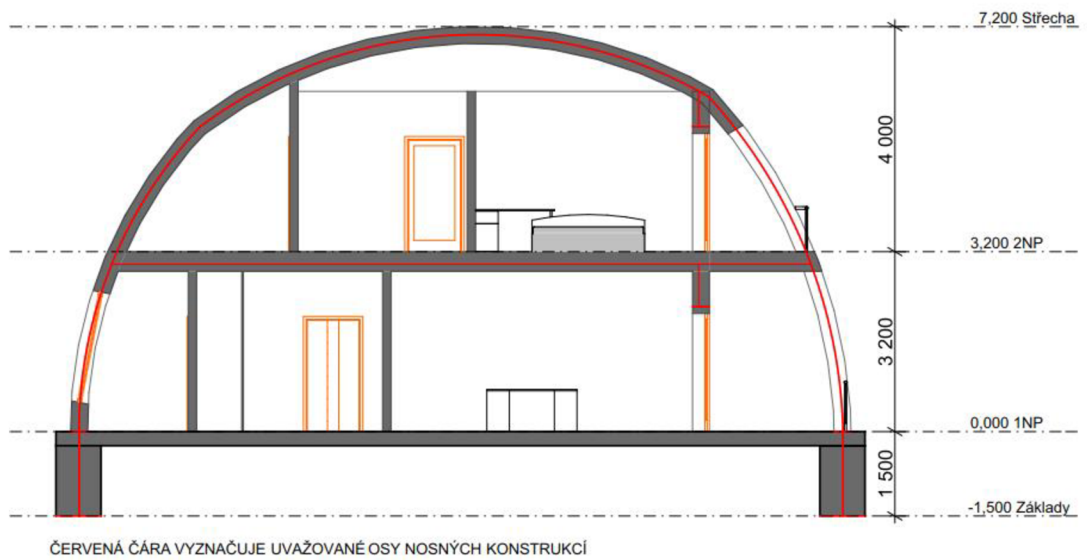
Střešní konstrukce není navržena jako jedna křivka, nýbrž je, kvůli zlepšení tvaru vnitřních místností, dvakrát zalomena, a je tedy navržena ze tří kružnic o různých poloměrech. Nosná konstrukce je kompletně tvořena železobetonovou konstrukcí. Na straně blíže vozovky přechází střešní skořepina až do základové konstrukce. Na opačné straně jsou umístěny balkóny, které jsou podepřeny zakřivenými sloupy. V objektu se nachází dvě schodiště. První je dvouramenné a umožňuje přístup do pokojů v 2NP. Druhé schodiště je umístěno v technické části budovy a slouží pouze pro personál. Celkové rozložení objektu se nachází v příloze P1.



Obrázek 1-1: Půdorys INP



Obrázek 1-2 Půdorys 2NP



Obrázek 1-3 Řez hotelovými pokoji



POHLED JIŽNÍ



Obrázek 1-4 Pohledy

## 1.2. Umístění stavby

Přestože se jedná o fiktivní projekt, musel jsem definovat jeho přibližnou polohu a určit okolní podmínky libovolně, neboť se od polohy objektu odvíjí zatížení ve formě větru a sněhu. Jelikož se jedná o horský hotel, zvolil jsem nejvyšší třídu zatížení jak pro sních, tak i pro vítr. Od tohoto se odvíjí i způsob založení, kdy je pro všechny výpočetní modely uvažované tuhé podloží. Výpočet a hodnoty zatížení na jeden  $m^2$  jsou uvedeny v příloze P1.

## 2. Modelování a analýza chování konstrukce

Na první pohled je zřejmé, že budova v hotelovém traktu je složena z „modulových dílců“ vždy po dvou pokojích. Tento opakující se modul byl volen jako reprezentativní část budovy. Protože se jedná o architektonickou studii, u které nebyly pevně stanoveny druhy nosných konstrukcí, provedl jsem statický rozbor ke zjednodušení nosného systému.

Navrhnul jsem tři základní typy konstrukčního systému A, B a C (detailně popsané v kapitolách x, y, z), kdy se dále každý dělí na dalších pět podtypů 1–5. Jednotlivé podtypy jsou definovány množstvím použitých nosných konstrukcí a jsou popsány dále.

Základním typem, od kterého se volba nosného konstrukčního systému odvíjí, je konstrukce s maximálním počtem dostupných nosných konstrukcí podle architektonické studie. U dalších typů jsem nosné konstrukční prvky postupně redukoval. Postupná redukce nosných prvků vede, v případě její proveditelnosti, ke snížení spotřeby betonu, a tedy i celkové ceny stavby. Stropní konstrukce působí ve všech typech jako táhlo.

Pro základní analýzu a výběr vhodného konstrukčního řešení jsem použil výpočetních modelů provedených v programu Dlubal RFEM. Tuto analýzu jsem provedl za pomoci předběžných výsledků požadované výztuže v plošných prvcích spočtených modulem RF-CONCRETE Surfaces, ale také na základě výsledků nelineární deformace konstrukce.

Informace o kombinacích zatížení, nastavení výpočtu, materiálových charakteristikách a součinitelích vstupujících do výpočtu jsou uvedeny v příloze P2. V této příloze se dále nachází protokoly s výsledky jednotlivých konstrukčních typů a podtypů. Všechny statické modely jsou modelovány s kloubovým uložením základového pasu.

Předpokládám dobré základové poměry vzhledem k tomu, že by se mělo jednat o stavbu v horském prostředí. U všech modelů byly ponechány stejné dimenze nosných prvků.

Střešní skořepina:  $d = 20$  cm

Stropní deska:  $d = 25$  cm

Stěny:  $d = 20$  cm

Sloupy:  $b/h = 25/20$  cm;  $96/20$  cm

**U podtypu 2:** Byla odstraněna základová deska

**U podtypu 3:** Odstraněna stěna v 2NP

**U podtypu 4:** Odstraněna stěna v 1NP, přidán průvlak  $b/h = 25/38$  cm, v místě spojení sloupů a stropní desky

**U podtypu 5:** Byla změněna tloušťka stropní desky na  $d = 30$  cm, byla přidána základová deska s příčnými pasy.

Porovnání sledovaných veličin a hodnot je uvedeno v Tabulka 2-1,2,3 v kapitole 2.4.4.

## 2.1. Model Typu A: Železobetonová předpjatá konstrukce

První typ modelu byl uvažován s použitím dodatečně předpjaté stropní desky pomocí kabelů monostrand. U těchto desek jsem musel prvně vytvořit vnitřní žebra, abych mohl následně pomocí přídatného modulu RF-Tendon namodelovat předpínací kabely. Excentricitu kabelů od těžiště průřezu jsem volil podle momentového průběhu od stálého zatížení. Cílem bylo vždy nastavit předpínací výztuž tak, aby vyrovnala účinky od vlastní tíhy stropní konstrukce a působila zároveň proti tahovým silám v desce, které byly způsobeny vetknutou skořepinou.

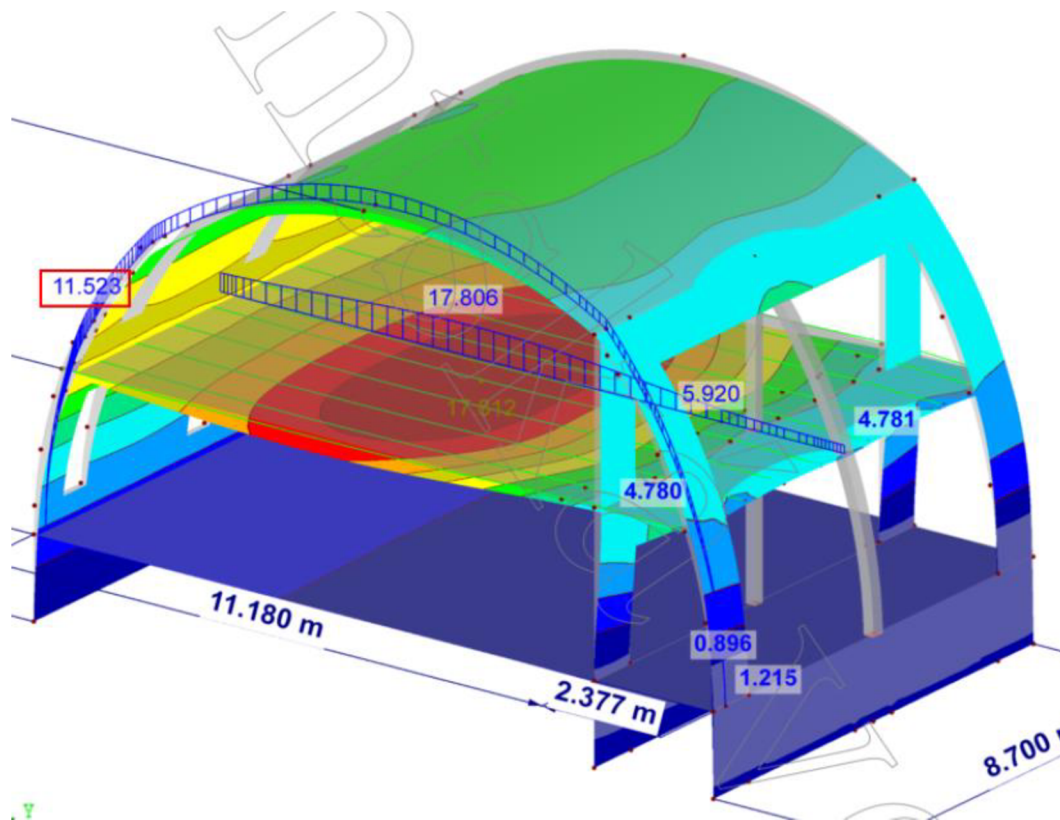
U konstrukční varianty Modelu A-1 došlo ke značné deformaci skořepiny nad balkonem. To bylo způsobeno nerovnoměrným zatížením skořepiny. V případě modelu A-2 se velké pootočení spoje mezi deskou a skořepinou se nepříznivě projevovalo na velikosti průhybu stropní desky. U modelu typu A-3 došlo po odstranění stěny ve 2NP k velkým nerovnoměrným deformacím skořepiny, protože byla velice nerovnoměrně zatížena od stropní konstrukce. Následně jsem u modelu A-4 odstranil stěnu ve 1NP, proto abych docílil rovnoměrnějšího zatížení na obou stranách skořepiny. Tato změna se pozitivně projevila na rovnoměrnější deformaci skořepiny, ale díky příliš malé tuhosti skořepiny na



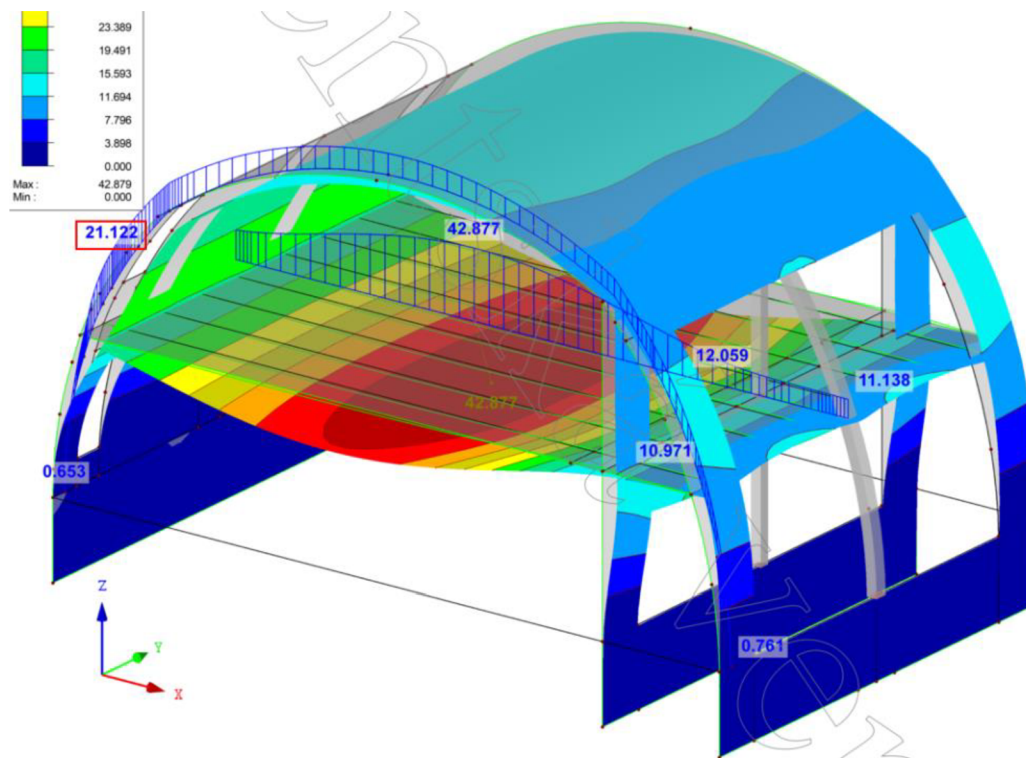


straně s balkóny došlo k velkému průhybu stropní desky. V modelu A-5 jsem doplnil konstrukci o základovou desku a pasy v příčném směru. Předpokládal jsem zlepšení tuhosti v patě skořepiny a díky tomu následné zmenšení průhybu.

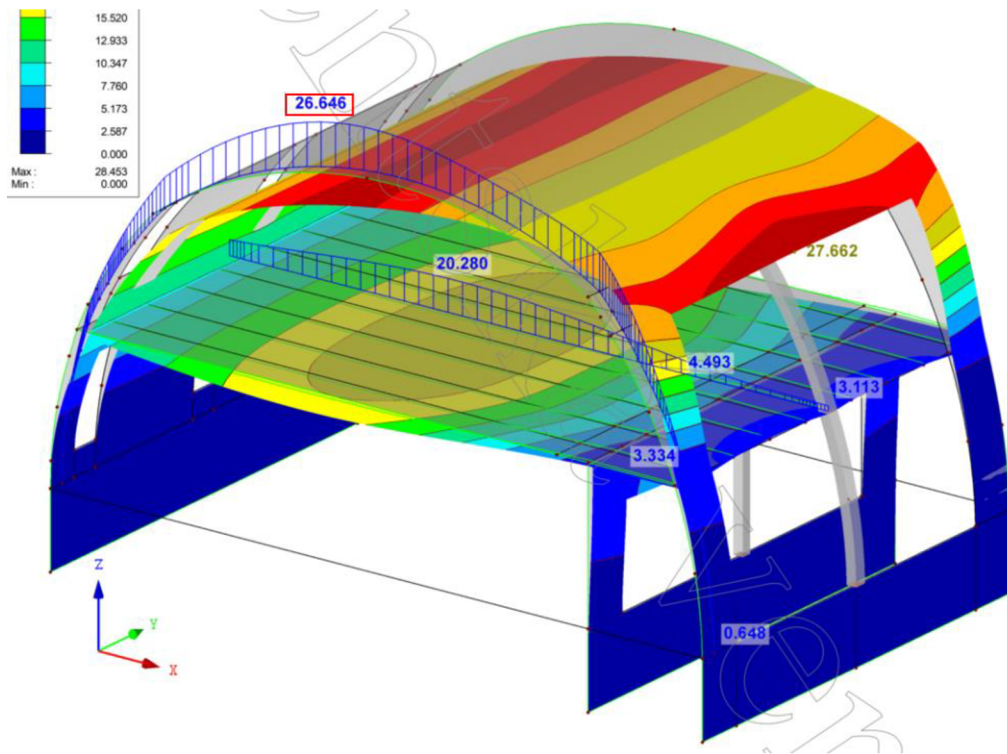
Následují obrázky s vypočítanými nelineárními deformacemi vyztuženého železobetonového průřezu.



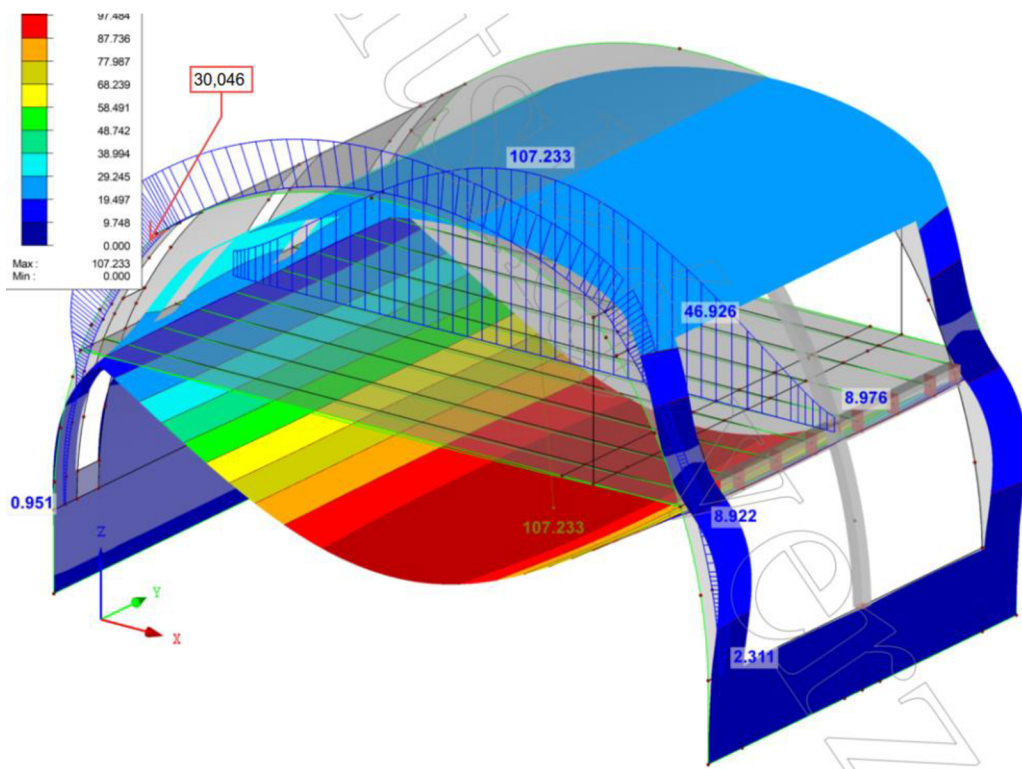
Obrázek 2-1 Model typu: A-1



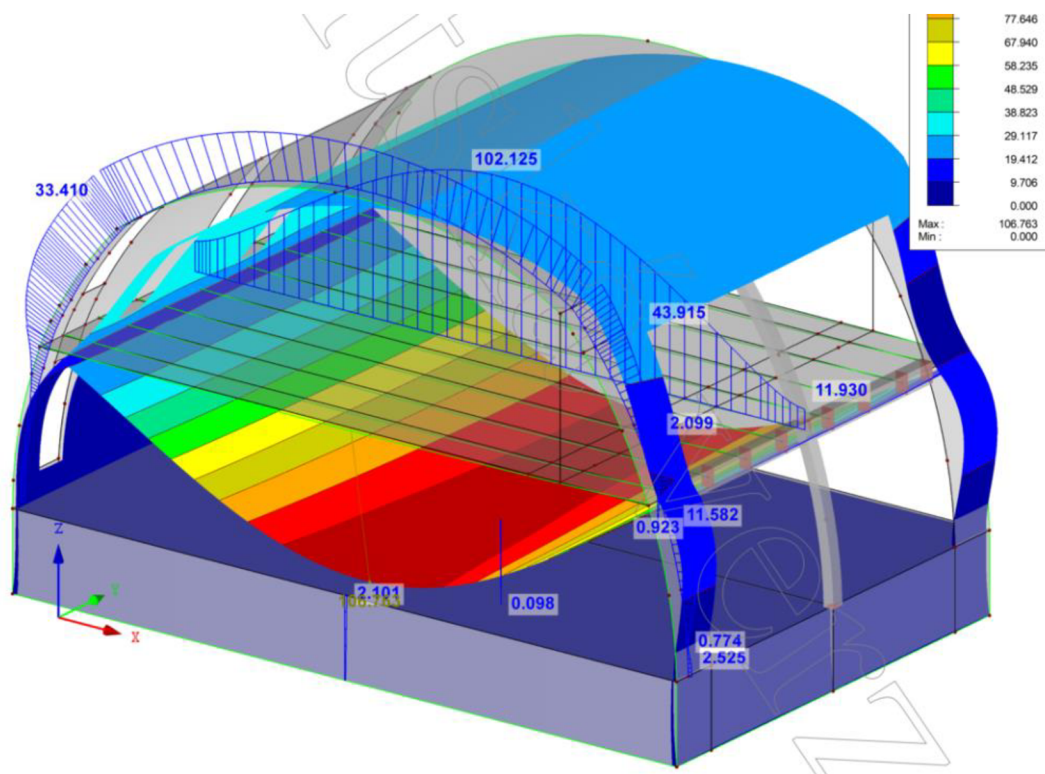
Obrázek 2-2: Model typu: A-2



Obrázek 2-3 Model typu: A-3



Obrázek 2-4 Model typu: A-4

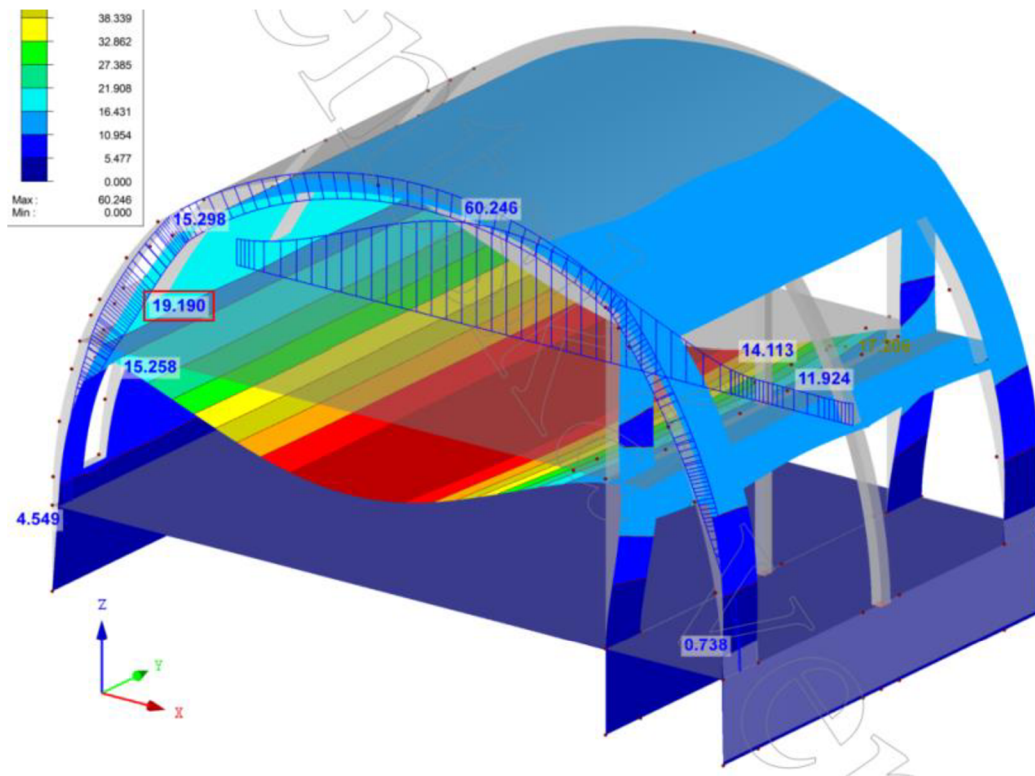


Obrázek 2-5 Model typu: A-5

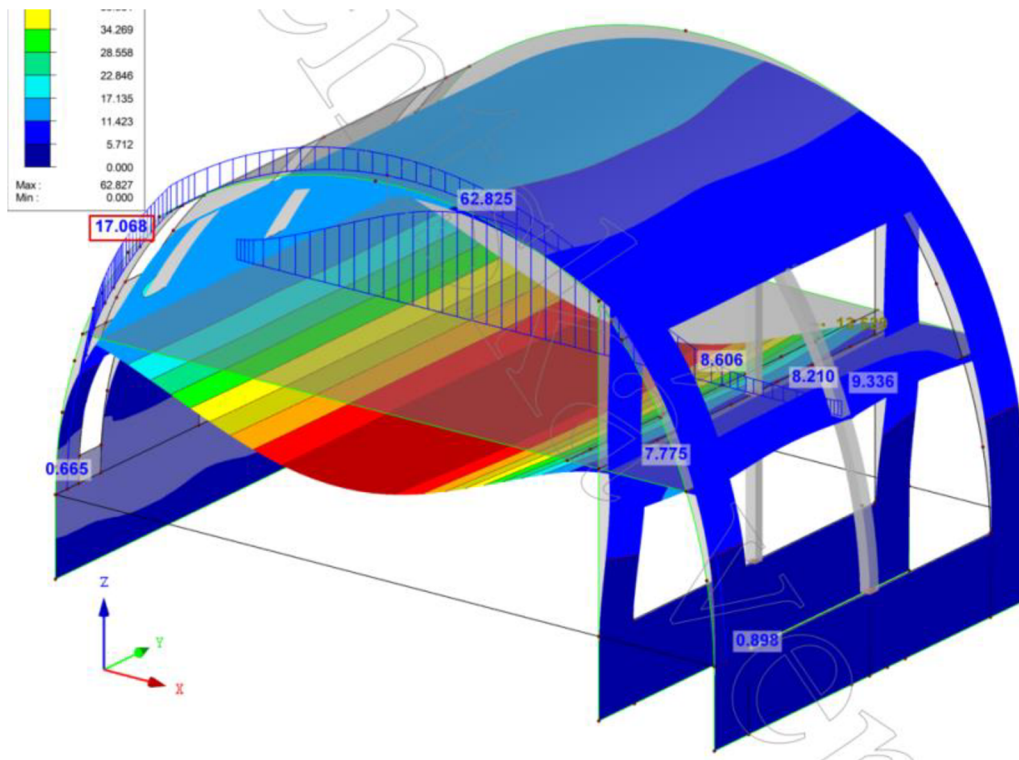
## 2.2. Model Typu B: Standardní železobetonová konstrukce

Tento model je navržen jako klasická monolitická železobetonová konstrukce a slouží jako referenční model pro sledování změn deformací v ostatních modelech, jestli se jiné způsoby provádění podílí na zlepšení chování konstrukce.

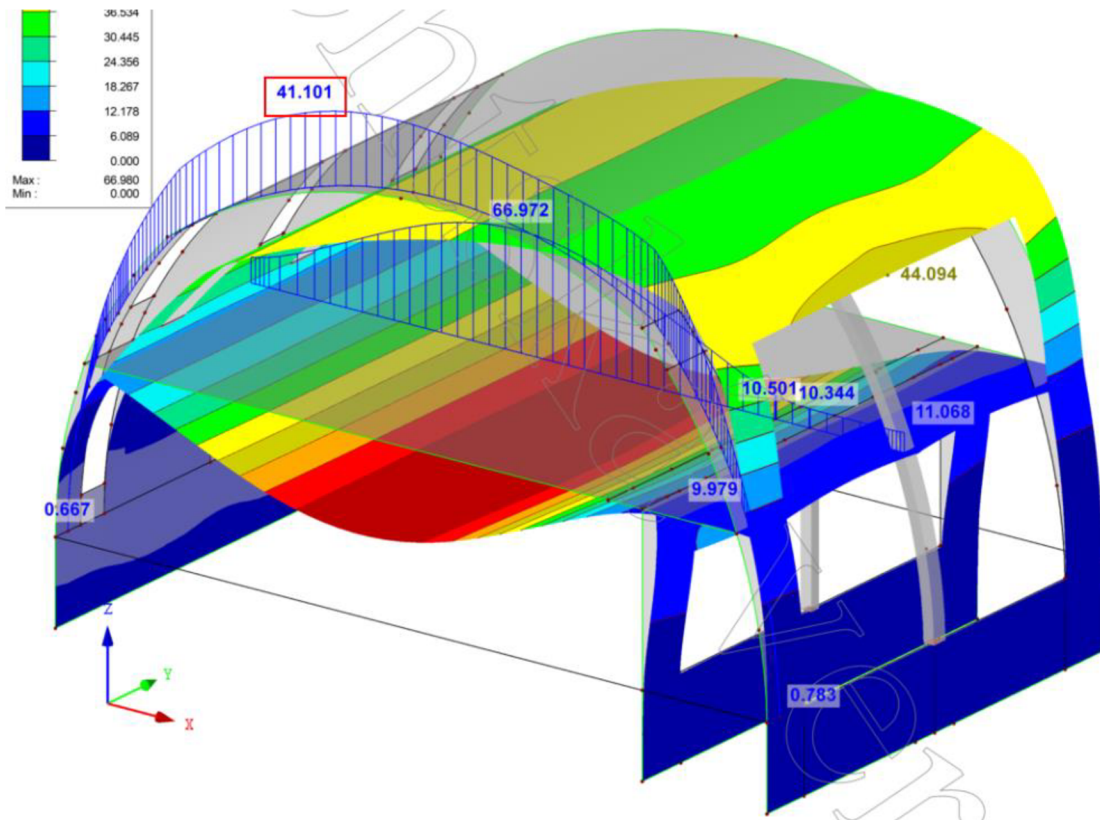
V tomto modelu jsou uplatněny stejné principy podtypů, jako v předchozím případě. Jelikož zde není zavedeno předpětí stropní desky, které by kompenzovalo průhyb, musí se tento kompenzovat buď zvýšením množství výztuže, anebo nadvýšením ve středu rozpětí. Výztuž se v jednotlivých podtypech mění. Pro všechny případy jsem zvolil základní vyztužení 12/15cm v některých případech jsem uvažoval vyšší stupeň vyztužení, abych zmenšil velikost průhybu. Jako maximální stupeň vyztužení jsem uvažoval 16/10cm.



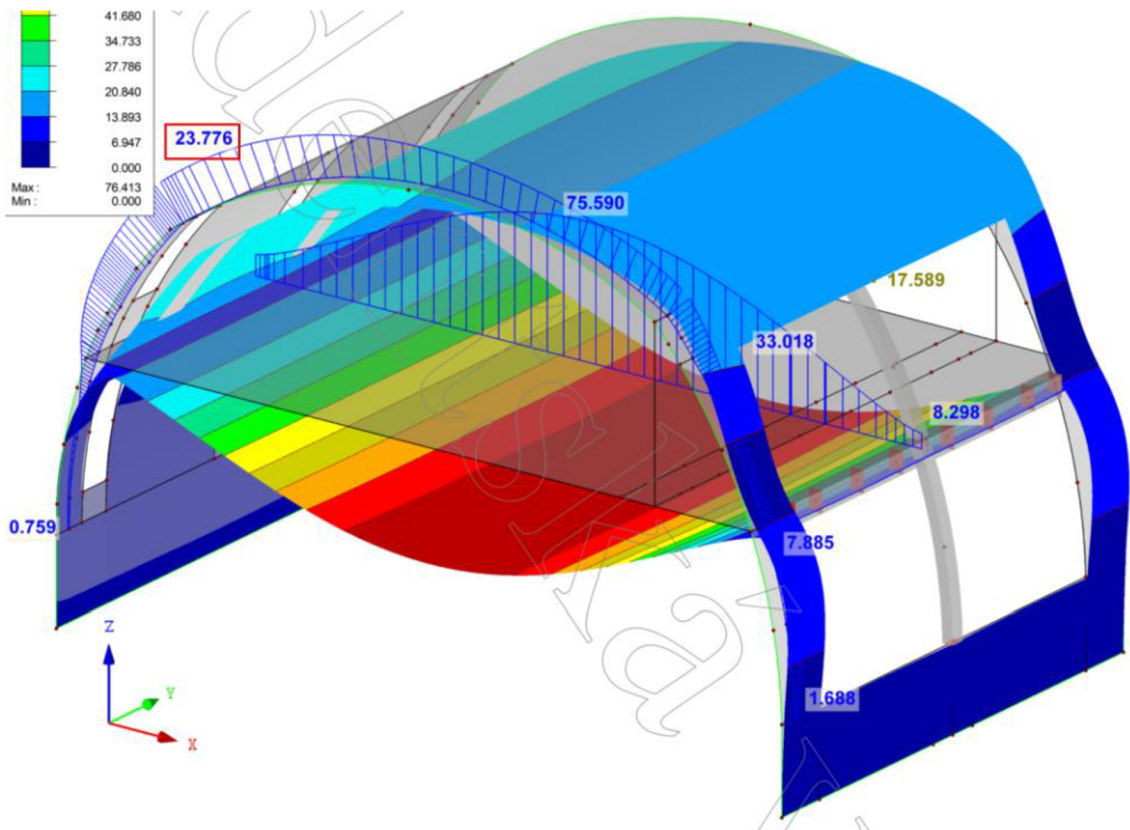
Obrázek 2-6: Model typu: B-1



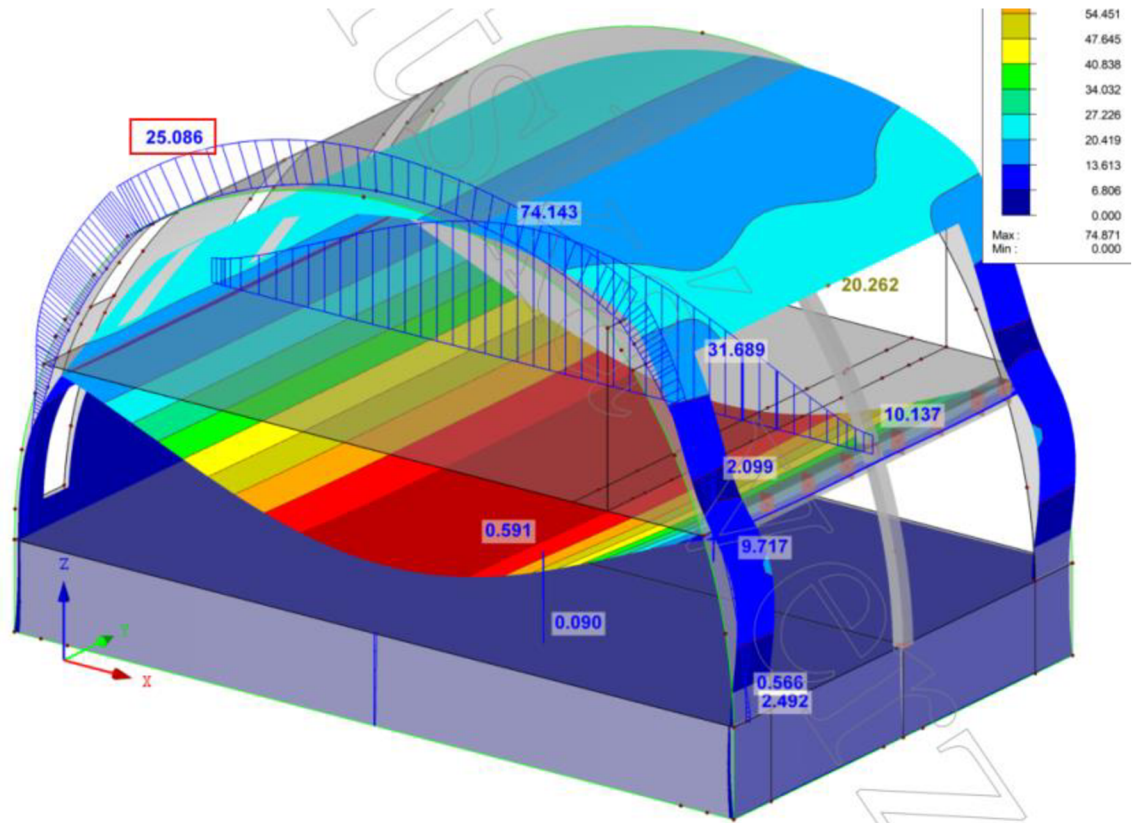
Obrázek 2-7: Model typu: B-2



Obrázek 2-8: Model typu: B-3



Obrázek 2-9: Model typu: B-4



Obrázek 2-10: Model typu: B-5

### 2.3. Model Typu C: Vylehčená železobetonová stropní deska se systémem COBIAX

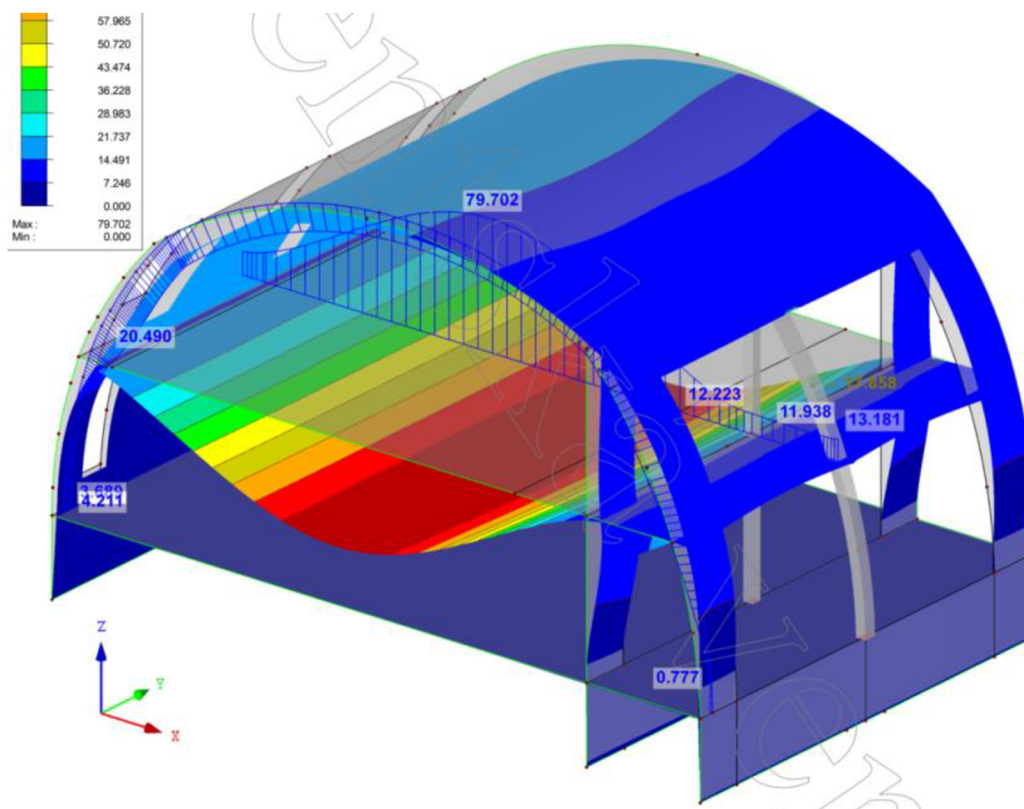
Cílem třetího typu bylo ověřit, k jakým změnám v nelineárním průhybu stropní konstrukce dojde při použití některého ze systémů pro vylehčení stropních desek. Pro tento účel byl zvolen systém COBIAX, s nímž mám již osobní zkušenost z praxe. Tato firma dodává plastové balóny, které se umístí do středu železobetonové desky, čímž sníží její hmotnost. Pro odlehčení jsem zvolil odlehčovací profily řady Slim-Line s označením S120-140c.

Při návrhu jsem postupoval podle technických listů výrobce, které jsou součástí přílohy P1. Návrh se provádí pomocí hodnoty pro odlehčení, která je uvedena v tabulce v části Ortbeto-/Fertigteil v řádku zugeh. Lastreduktion. Tato hodnota je uvedena jako tíha působící proti gravitaci v  $\text{kN/m}^2$ . Dále je nutné zohlednit snížení modulu pružnosti stropu díky vytvořeným dutinám v průřezu. To provedeme tak, že vynásobíme modul pružnosti součinitelem Steifigkeitsfaktor (HK mittig) uvedeným v příloze P1.

Zcela zásadním při návrhu tohoto systému je kontrola únosnosti betonu ve smyku, jelikož se redukuje na hodnotu dle vzorce (2.1), což v tomto konkrétním případě odpovídá jedné polovině smykové únosnosti plného průřezu. To vyžaduje iterační přístup návrhu. Postupně posouváme oblast vylehčení od míst, kde působí návrhová smyková síla větší než návrhová smyková únosnost vylehčeného průřezu. Návrhová smyková únosnost vylehčeného průřezu nesmí překročit redukovanou únosnost betonu ve smyku označenou v technických listech jako  $V_{Rd,c,co\text{bia}x}$ . Tuto hodnotu získáme pomocí vzorce (2.1).

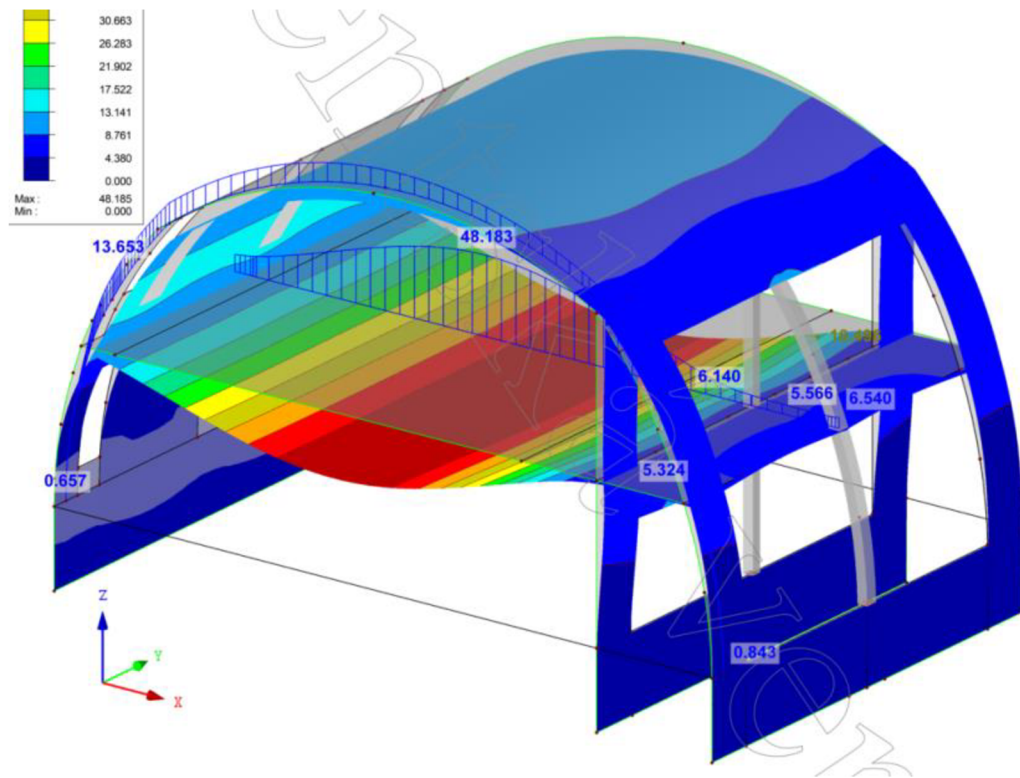
$$V_{Rd,c,co\text{bia}x} = f_v \cdot V_{Rd,c} \quad (2.1)$$

Hodnota  $f_v$  je uvedena v tabulce technických dat v řádku 26 v příloze P1 na straně 16.

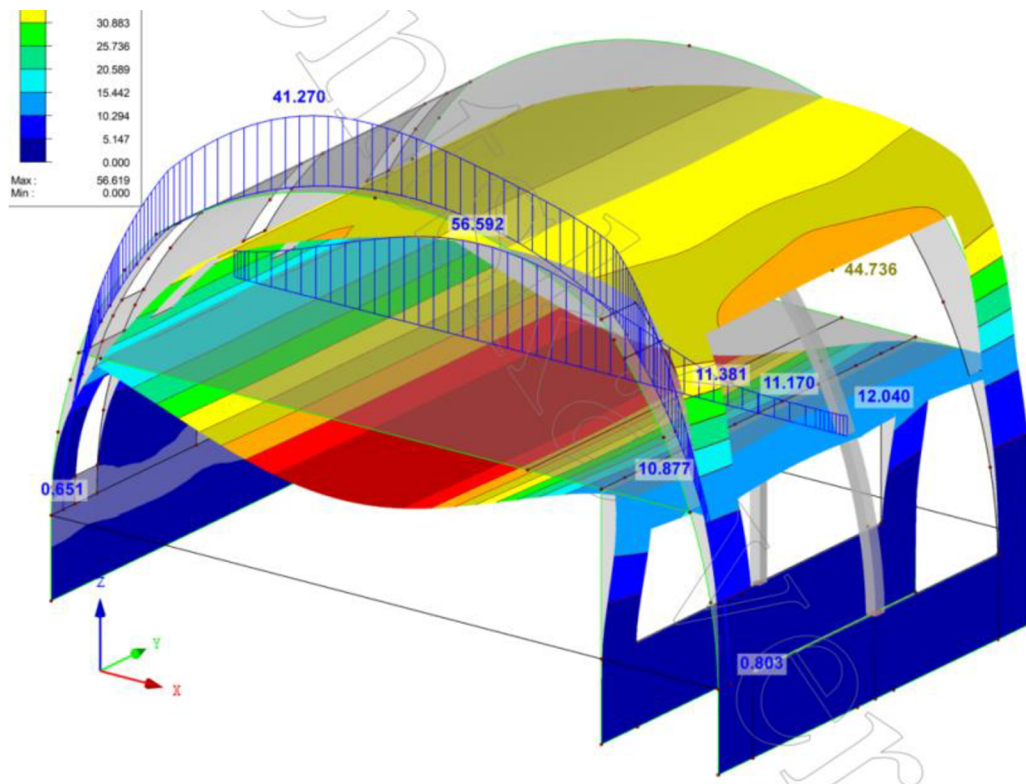


Obrázek 2-11: Model typu: C-1

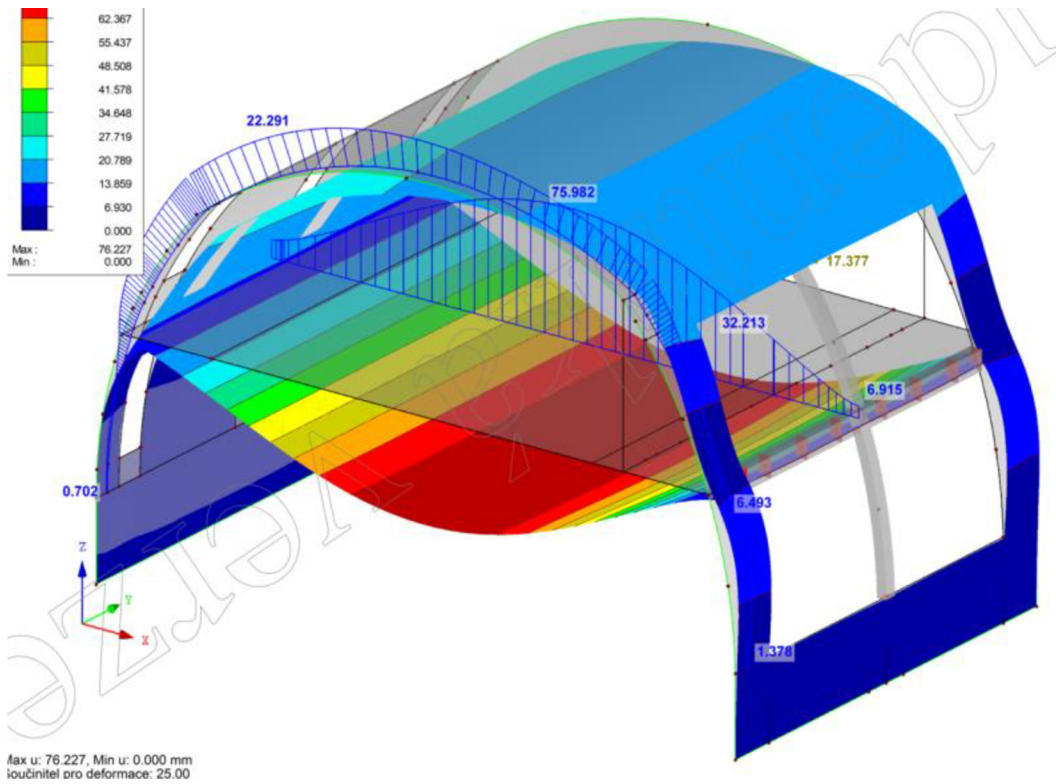




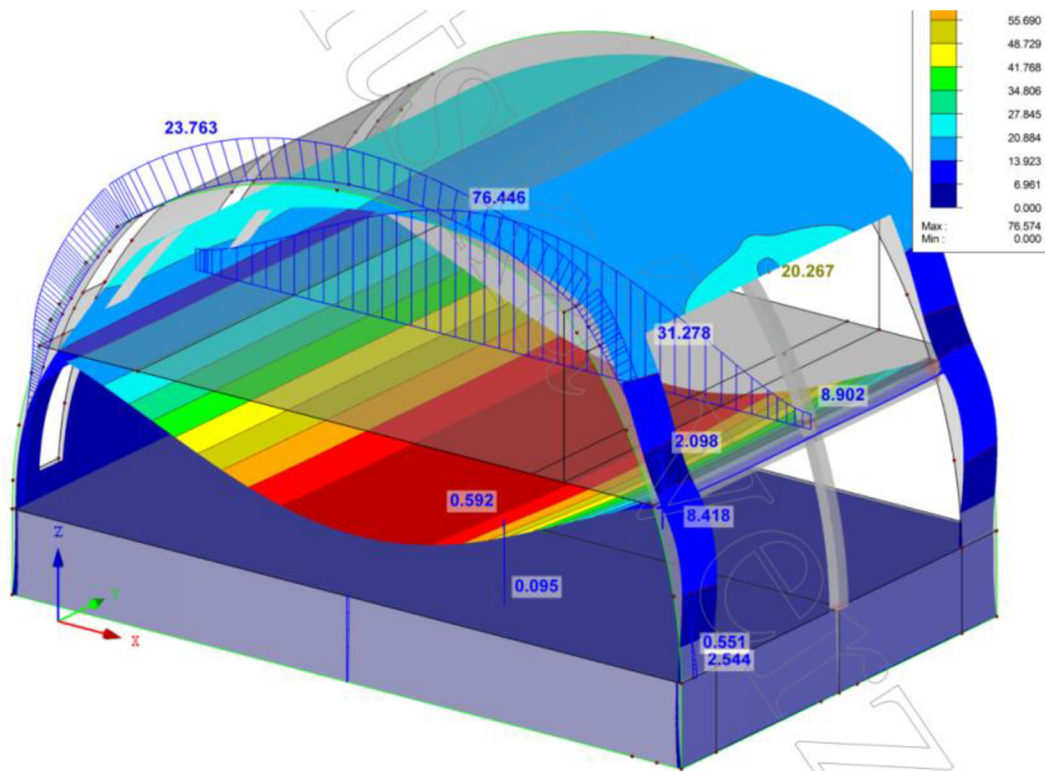
Obrázek 2-12: Model typu: C-2



Obrázek 2-13: Model typu: C-3



Obrázek 2-14: Model typu: C-4



Obrázek 2-15: Model typu: C-5

## 2.4. Vyhodnocení a volba nevhodnějšího modelu

V této kapitole bude provedeno vyhodnocení a volba nevhodnějšího modelu.

### 2.4.1. Modely Typu: B a C

Chování konstrukce v modelech B a C bylo velmi podobné. Model C vykazuje, díky vylehčení, nepatrně menší průhyb. Tento rozdíl v průhybech je možné vykompenzovat přidáním ohybové výztuže, případně nadvýšením bednění ve středu rozpětí desky. Otázkou zůstává, jestli navýšení plochy výztuže a větší spotřeba betonu není levnější než pořízení tohoto systému. K ověření jsem neměl relevantní data cen produktu a práce. Z tabulkových hodnot je patrné, že tento systém má větší přínos při použití u desek s větší tloušťkou.

V následujících odstavcích jsou rozebrány jednotlivé podtypy.

**Podtypy 1 a 2:** Výsledky těchto dvou podtypů jsou téměř totožné. Oba vykazují vyhovující deformace jak střešní skořepiny, tak i stropní desky. Jediný rozdíl mezi těmito podtypy bylo odstranění železobetonové základové desky z modelu. Z toho vyplývá, že základová deska INP může být konstruována nezávisle na nadzemní konstrukci.

**Podtyp 3:** Odstraněním střední stěny podporující skořepinu vyvolalo její nerovnoměrnou deformaci, která navíc překračovala přípustné meze, a proto se toto řešení jeví jako nevhodné.

**Podtyp 4:** Odstranění jediné nosné stěny, které vede k větší symetrii konstrukce se projevuje pozitivně na deformaci skořepiny. Naproti tomu dochází ke značnému nárůstu průhybu u stropní desky, kde chování nezlepšil ani doplněný průvlak. Jako další problém se ukázaly samotné sloupy podporující skořepinu. Tyto sloupy by nebylo možné naddimenzovat ve stejné tloušťce jako samotná skořepina. Kvůli velikosti průhybu by musela být zvětšena i tloušťka stropní desky, a to minimálně na 30 cm. Muselo by se také zvětšit tloušťka skořepiny v místě uložení stropní desky. Dále měla tato změna značný vliv na založení objektu, jelikož v důsledku odstranění vnitřní stěny došlo k značnému zvýšení příčných sil v základové spáře.

**Podtyp 5:** Jako vhodné řešení, které vedlo k redukci průhybu stropní desky a částečně i skořepiny, se ukázalo právě vodorovné sepnutí konstrukce za pomoci příčných základových pasů a zvýšení tloušťky stropní desky na 30 cm. Do celého systému byla vnesena vyšší tuhost a robustnost.

#### 2.4.2. Model typu: A

V této části textu nejsou opět popisovány jednotlivé změny v konstrukčním systému jednotlivých podtypů, ale je zde pouze popsáno rozdílné chování konstrukce oproti typu B a C.

**Podtyp 1 a 2:** U těchto podtypů se ukázalo, že předpjetí je naprosto zbytečné. Konstrukce by byla zbytečně předdimenzovaná a konstrukční systém by byl zbytečně drahý. Spíše by se dalo uvažovat o zeštíhlení některých prvků konstrukce, ale tato úspora by nebyla určitě dostatečně vysoká, aby pokryla vícenáklady a technologii předpjatého betonu.

**Podtyp 3:** Pro tento podtyp se ukázalo předpětí ve stropní desce jako vhodné řešení proti nerovnoměrné deformaci střešní skořepiny vyvolané nerovnoměrným zatížením od stropní desky. Zlepšení nastalo díky vnesení kladného momentu do stropní desky na straně, kde je deska po celé délce uložena na skořepině.

**Podtyp 4 a 5:** U modelů těchto podtypů se ukázalo předpjetí jako velice nevhodné řešení, protože díky malé tuhosti sloupů dojde, v důsledku velké normálové síly, k velké vodorovné deformaci sloupu v úrovni stropní desky, čímž dojde k pootočení sloupů. Ze stejného důvodu dojde i ke zvýšení průhybu stropní konstrukce.

### 2.4.3. Výběr vhodného konstrukčního systému

Abych byl schopen lépe analyzovat tak velké množství výsledků všech patnácti dílčích modelů, nejprve jsem vytvořil stejný výstupový protokol z každého modelu a poté jsem vybrané hodnoty vložil do mé porovnávací tabulky výsledných hodnot.

Pro základní konstrukční prvky - stropní desku, skořepinu a základové pasy - jsem vytvořil tři samostatné porovnávací tabulky, které vyhodnocují sledované veličiny, jako jsou ohybové momenty, normálové síly, průhyb a reakce na základových pasech. Do tabulky vstupuje vždy pro každý model a veličinu hodnota z nejnepříznivější kombinace. V posledním řádku je uvedena nejhorší hodnota dané veličiny (sloupce) a je uvažována jako referenční. Z tohoto důvodu je označena jako "100 %" a zbývající hodnoty jsou k ní procentuálně dopočítány. Nejpříznivější hodnota má tím pádem nejnižší procentní hodnotu, nejhorší, již zmíněných, "100 %". Zároveň je každý sloupec, pro větší přehlednost, doprovázen barevnou škálou, kde zelená značí nejpříznivější a červená nejhorší hodnotu.

V Tabulka 2-1, zabývající se stropní deskou, jsou porovnávány vnitřní návrhové síly (kladný a záporný ohybový moment a normálová síla), základní rastr výztuže s ohledem na minimální vyztužení i ve vztahu k redukci průhybu, a také požadované příložky k základnímu rastru. Porovnání stropní desky je uzavřeno nelineárním průhybem.

Střešní skořepinou se zabývá Tabulka 2-3, která je postavena na stejném principu, jako předešlá, avšak s jediným rozdílem, a to, že se neuvažují příložky, ale potřebná výztuž je rovnou započtena do základního rastru. Toto je zvoleno zejména kvůli místu pro jednotlivou výztuž.

Veškeré hodnoty, které do tabulky vstupují, jsou zároveň dohledatelné v příloze P2, kde jsou u každého podtypu zřetelně označeny, a to včetně místa působení.

I přesto by byl tento systém neúměrně nákladný a konstrukčně komplikovaný, a proto jsem, po prvotní analýze všech konstrukčních řešení, zvolil standardní železobetonovou konstrukci. Zvolený model je tedy **model typu B s podtypem 2**. Nejprve jsem ze své úvahy vyloučil možnost s vylehčenou stropní deskou, protože s použitím tohoto systému jsem nezískal žádné výrazně lepší výsledky ve stropní desce. Je jisté, že tento systém by zcela určitě navýšil cenu samotné stropní desky a pozitiva tohoto systému je možné vykompenzovat ve standardní železobetonové desce, buď nadvýšením konstrukce, anebo



navýšením množství výztuže. Tato řešení budou určitě ekonomičtější než vylehčení stropu systémem COBIAX. Je zřejmé, že tento systém by měl daleko efektivnější uplatnění u velkých rozponů a u lokálně podepřených stropů s tloušťkou desek větší než 40 cm.

Základní myšlenkou pro model typu A bylo konstrukční řešení, kdy stropní deska bude působit jako velké táhlo přenášející vodorovné síly vznikající od zakřivení konstrukce. U podtypů 1 a 2 by bylo předpínání konstrukce zcela zbytečné, protože deformace standardní železobetonové konstrukce byly vyhovující. U modelu 3 by bylo předpínání vhodné, ale ušetřila by se tímto řešením pouze konstrukce železobetonové stěny v 2NP, kde je malé množství betonu.

Model 4 by bylo velice komplikované řešit předpínáním. Prvním problémem by byla velice měkká strana se sloupy, kde by se musela zohlednit velká poddajnost konstrukce a s tím spojená ztráta předpětí v předpínací výztuži. Za druhé by musela být konstrukce sloupů masivnější, než byl původní návrh což konstrukci nejen prodraží, ale také zmenší vnitřní užitnou plochu. Další problém by představovaly samotné základy objektu kvůli příčné síle v základové spáře. Jako použitelné se jeví pouze podtypy 3 a 5. I přesto by byl tento systém neúměrně nákladný a konstrukčně komplikovaný, a proto jsem, po prvotní analýze všech konstrukčních řešení, zvolil standardní železobetonovou konstrukci. Zvolený model je tedy model typu B s podtypem 2. Výběr konkrétního podtypu k modelu B se zužuje na varianty 1, 2 a 5. Podtyp 1 jsem zamítnul, protože základová deska by mohla vnášet do výpočtu jen nepřesnosti a z mého pohledu je lepší a přehlednější, pokud je konstrukce jednoduše založena na pasech. Podtyp 5 nevede k ušetření materiálu, jelikož se zvětšuje tloušťka konstrukce stropní desky a sloupů. Zároveň přibývá nutnost vytvoření táhel v úrovni základové desky, buď přímo v základové desce, anebo formou příčných žeber v místě, kde jsou uloženy sloupy na základovém pasu. tudíž jsem se rozhodl pro podtyp 2.



## 2.4.4. Porovnání vybraných hodnot výsledků

Kons.	Stropní deska																										
	Základní hodnoty návrhových sil								Základní výztuž								max- Nutná plocha výztuže								Deformace (nelineární)		
	Jednotky	kNm/m	%	kNm/m	%	kN/m	%	kN/m	%	cm <sup>2</sup> /m	%	cm <sup>2</sup> /m	%	cm <sup>2</sup> /m	%	cm <sup>2</sup> /m	%	cm <sup>2</sup> /m	%	cm <sup>2</sup> /m	%	mm	%	limitní kontrola			
Model	MAX-M <sub>x</sub>		min-m <sub>x</sub>		max-n <sub>x</sub>		min-n <sub>x</sub>		as-1,-z		as-2,-z		as-1,+z		as-2,+z		as-1,-z		as-2,-z		as-1,+z		as-2,+z	max-U	L/250		
M1A	48,4	26	-80,0	56	-916,6		-3659,7	100	7,85	35	7,85	51	7,85	35	7,85	51	1,50	8	7,50	77	1,71	8	3,32	32	15,9	15	44,7
M1B	86,5	47	-103,2	72	157,3	81	10,2	0	7,85	35	7,85	51	7,85	35	7,85	51	9,32	50	6,08	62	11,68	52	3,11	30	58,8	55	44,7
M1C	70,7	39	-92,1	64	145,7	75	11,1	0	7,85	35	7,85	51	7,85	35	7,85	51	7,85	42	7,85	81	10,37	46	2,77	27	78,7	74	44,7
M2A	49,0	27	55,0	-38	-911,5		-581,3	16	7,85	35	7,85	51	7,85	35	7,85	51	1,54	8	7,70	79	2,91	13	3,32	32	40,5	38	44,7
M2B	86,4	47	-105,4	73	164,3	85	12,5	0	7,85	35	7,85	51	7,85	35	7,85	51	9,36	51	7,85	81	11,90	53	3,91	38	62,1	58	44,7
M2C	71,0	39	-101,3	70	152,2	78	12,3	0	7,85	35	7,85	51	7,85	35	7,85	51	7,85	42	7,85	81	11,12	50	2,76	27	47,6	45	44,7
M3A	54,5	30	-54,3	38	-935,0		-585,5	16	7,85	35	7,85	51	7,85	35	7,85	51	1,72	9	8,62	89	1,14	5	3,32	32	19,7	18	44,7
M3B	93,1	51	-105,4	73	161,0	83	-4,9	0	7,85	35	7,85	51	7,85	35	7,85	51	9,76	53	7,13	73	9,77	44	3,95	38	66,0	62	44,7
M3C	79,6	43	-96,7	67	142,3	73	1,4	0	7,85	35	7,85	51	7,85	35	7,85	51	8,36	45	6,67	68	16,42	74	3,28	32	55,1	52	44,7
M3D	120,1	65	-142,3	99	194,0	100	4,6	0	15,39	69	15,39	100	15,39	69	15,39	100	13,32	72	9,74	100	16,46	74	3,29	32	72,0	67	44,7
M4A	105,3	57	-100,6	70	-968,4		-1059,9	29	20,11	90	7,85	51	10,26	46	7,85	51	3,61	19	3,20	33	4,98	22	10,41	100	106,7	100	54,2
M4B	183,4	100	-137,8	96	27,2	14	-52,0	1	22,34	100	7,54	49	22,34	100	7,54	49	16,45	89	3,29	34	12,28	55	3,19	31	75,1	70	54,2
M4C	122,1	67	-135,1	94	29,5	15	-49,8	1	19,24	86	7,58	49	19,24	86	7,58	49	13,51	73	2,94	30	19,24	86	7,85	75	75,6	71	54,2
M5A	103,7	57	-86,2	60	-989,2		-1054,6	29	7,85	35	7,85	51	7,85	35	7,85	51	3,32	18	1,20	12	5,77	26	7,79	75	93,0	87	54,2
M5B	181,6	99	-143,7	100	22,8	12	-70,6	2	22,34	100	7,85	51	22,34	100	7,85	51	18,53	100	3,71	38	22,34	100	7,85	75	73,3	69	54,2
M5C	117,9	64	-130,6	91	26,2	14	-43,3	1	18,29	82	7,85	51	18,29	82	7,85	51	13,23	71	2,93	30	14,90	67	3,63	35	75,8	71	54,2
Max. nepříznivá hodnota	<b>183,4</b>		<b>-143,7</b>		<b>194,0</b>		<b>-3659,7</b>		<b>22,3</b>		<b>15,4</b>		<b>22,3</b>		<b>15,4</b>		<b>18,5</b>		<b>9,7</b>		<b>22,3</b>		<b>10,4</b>		<b>106,7</b>		

Tabulka 2-1 Výsledky Stropní deska

Kons.	Základy									
	Podporové reakce, X vodorovná, Z svislá									
Jednotky	kN/m	kN/m		%	kN/m	kN/m		%	kN/m	%
Model	max-X	Odpovídající reakce v z	Poměr X/Z		min-X	Odpovídající reakce v z	Poměr X/Z		min-Z	
M1A	13,2	-38,0	0,3		-14,6	-249,5	0,1		-378,2	
M1B	-16,0	-156,3	0,1		-26,1	-156,3	0,2		-343,7	
M1C	14,3	-76,7	0,2		-22,6	-166,4	0,1		-341,9	
M2A	57,3	-115,1	0,5		-32,7	-154,7	0,2		-366,4	
M2B	76,2	-134,6	0,6		-43,6	-152,7	0,3		-325,0	
M2C	76,6	-150,8	0,5		-42,2	-144,1	0,3		-326,7	
M3A	43,3	-67,1	0,6		-34,9	-154,3	0,2		-227,6	
M3B	87,9	-231,7	0,4		-49,1	-147,5	0,3		-334,6	
M3C	60,0	-107,3	0,6		-39,8	-139,1	0,3		-300,3	
M3D	31,5	-35,4	0,9		-32,2	-139,7	0,2		-423,8	
M4A	158,5	-303,0	0,5		-64,6	-168,4	0,4		-482,9	
M4B	166,2	-314,7	0,5		-69,2	-175,8	0,4		-478,9	
M4C	147,7	-277,1	0,5		-62,8	-158,4	0,4		-434,1	
M5A	50,5	-298,0	0,2		-9,7	-187,1	0,1		-437,0	
M5B	65,1	-155,3	0,4		-8,2	-184,4	0,0		-453,1	
M5C	63,1	-142,9	0,4		-8,8	-167,3	0,1		-409,1	
Max. nepříznivá hodnota			0,9				0,4		-482,9	

Tabulka 2-2 Výsledky Základy





Kons.	Skořepina																		
	Základní hodnoty návrhových sil								Nutná plocha výztuže								Deformace (nelinéární)		
Jednotky																	kN/m	limitní kontrola	
Model	max-m <sub>x</sub>		min-m <sub>x</sub>		max-n <sub>x</sub>		min-n <sub>x</sub>		as-1,-z		as-2,-z		as-1,+z		as-2,+z		MAX-U	L/250	
M1A	65,0	24	-33,5	19	13,0	11	-588,9	100	9,76	23	7,85	25	2,56	11	2,56	15	11,5	28	54,2
M1B	82,1	31	-42,1	23	-40,3	-34	-580,3	99	9,18	22	2,56	8	3,50	14	2,56	15	19,2	46	54,2
M1C	81,0	30	-36,3	20	62,0	52	-211,1	36	2,56	6	8,45	27	2,56	11	3,13	19	20,5	50	54,2
M2A	67,1	25	34,4	-19	68,1	57	-228,9	39	2,56	6	10,90	35	2,56	11	2,56	15	21,2	51	54,2
M2B	73,9	28	41,6	-23	65,4	55	-159,5	27	2,56	6	10,02	32	2,56	11	3,74	22	17,1	41	54,2
M2C	69,1	26	-36,7	20	68,2	57	-156,8	27	2,56	6	7,91	25	2,56	11	3,13	19	13,7	33	54,2
M3A	159,8	60	-85,5	47	90,1	75	-238,2	40	7,85	19	27,20	87	3,17	13	10,41	62	26,6	64	54,2
M3B	155,8	58	-91,5	51	91,8	77	-245,8	42	4,63	11	23,17	74	3,23	13	11,35	67	41,1	100	54,2
M3C	155,1	58	-92,2	51	97,2	81	-257,9	44	7,85	19	23,79	76	3,32	14	11,52	68	41,3	100	54,2
M3D	125,5	47	-81,3	45	89,5	75	-221,6	38	3,63	9	18,13	58	2,93	12	9,69	58	26,3	64	54,2
M4A	266,6	100	-129,1	72	117,2	98	-402,9	68	40,92	97	8,18	26	18,14	75	7,85	47	30,1	73	54,2
M4B	266,4	100	-171,2	95	115,1	96	-362,2	62	42,33	100	11,92	38	23,34	96	6,73	40	23,8	58	54,2
M4C	249,3	94	-158,0	88	114,9	96	-356,1	60	40,02	95	10,14	33	22,72	93	5,48	33	22,3	54	54,2
M5A	205,4	77	-141,8	79	117,9	98	-371,2	63	31,69	75	31,19	100	7,85	32	16,84	100	3,5	8	54,2
M5B	250,4	94	-180,2	100	119,7	100	-349,0	59	39,03	92	9,16	29	23,62	97	5,22	31	25,1	61	54,2
M5C	239,2	90	-167,7	93	119,9	100	-344,0	58	38,73	91	10,62	34	24,31	100	6,83	41	23,8	58	54,2
<b>Max. nepříznivá hodnota</b>	<b>266,6</b>		<b>-180,2</b>		<b>119,9</b>		<b>-588,9</b>		<b>42,3</b>		<b>31,2</b>		<b>24,3</b>		<b>16,8</b>		<b>41,3</b>		

Tabulka 2-3 Výsledky Skořepina

### 3. Detailní popis výpočetního modelu RFEM

#### 3.1. Okrajové podmínky a uložení modelu

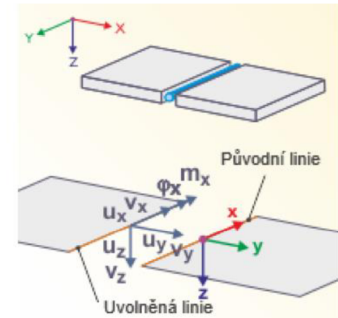
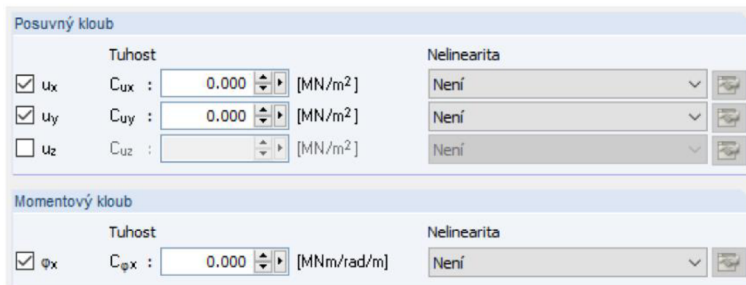
Na rozdíl od testovací modulové části je kompletní model celého objektu uložen na základových pasech šířky 1,5m a hloubky 1,5m. Základy jsou vymodelovány pomocí plošného prvku. Uložení je nastaveno jako liniová podpora pevně uložena v osách  $x, y, z$ , dále je zabráněno pootočení ve směru  $y$ , což je kolmo k základovému pasu. Toto liniové uložení je nastaveno v úrovni základové spáry. Celkové nastavení je vidět na obrázku níže. Základy jsou navrženy z betonu C25/30. Železobetonová základová deska pro 1NP je navržena tloušťky 25 cm, též z betonu C25/30 a v modelu uložena na plošné pružné podpoře. Aby byl dodržen zvolený konstrukční systém typu B-2, kdy je celá konstrukce nezávislá na základové desce a všechno zatížení směřuje přímo do základové spáry železobetonového pasu, je základová deska odpojena od celkové konstrukce kloubem a je uvolněna ve směru  $x, y$ . Nastavení je možné vidět na obrázcích níže.



Obrázek 3-1: Liniové podpory



Obrázek 3-2: Uložení základové desky



Obrázek 3-3: Uvolněné základové desky

### 3.2. Popis jednotlivých konstrukčních prvků v konstrukčním systému

Navazující prvky prvního nadzemního podlaží jsou navrženy z betonu třídy C30/37 a jsou pevně vetknuté do základové konstrukce. Střešní skořepina, široké sloupy mezi modulovými dílci a stěnové prvky jsou vymodelovány pomocí plochy o tloušťce 20 cm. Sloupy uprostřed modulového pole, sloupy u vstupů, sloup ve vstupní hale a řada sloupů u restaurace jsou tvořeny 1D prutovými prvky s různými průřezy. Stropní deska má tloušťku 25 cm a je též uvažováno plné vetknutí ve všech podporách. U nadzemních konstrukcí není nikde uvažováno žádné liniové nebo uzlové uvolnění.

### 3.3. Zatížení

Všechny výpočty a jednotlivé hodnoty zatížení, které jsou použité pro zatížení modulové části, i kompletního modelu, jsou uvedeny v příloze P1 – Architektonické podklady, zatížení. Model byl zatížen dle platných norem ČSN EN 1991-1-1, ČSN EN 1991-1-3 a ČSN EN 1991-1-4. Pro hodnoty zatížení sněhem byla zvolena nejhorší z běžných charakteristických hodnot: zóna VII. Zónu VIII jsem ne zvolil, protože hodnoty zatížení pro tyto regiony poskytuje Český hydrometeorologický úřad (ČHMÚ) pro přesnou polohu, která je neznámá. U zatížení větrem jsem použil hodnotu uvedenou pro nejnepriznivější zónu V, i když by se i u této zóny mělo vycházet z přesných údajů ČHMÚ. K výpočtu hodnoty stálého zatížení pro stropní a základovou desku jsem zvolil běžnou skladbu podlahy bez podlahového vytápění o tíže 1,9 kN/m<sup>2</sup>.

### 3.4. Kombinace zatížení

Ke stanovení všech kombinací zatížení jsem použil automaticky generované kombinace programem RFEM. Následně jsem v účincích nastavil u stálého zatížení současné působení. Pro všechna užitná zatížení jsem nastavil střídavé působení. Pro posuzování prvku na MSÚ jsem použil kombinační pravidlo na základě rovnice 6.10a a 6.10b ČSN EN 1990-1 a pro posouzení na MSP jsem si nastavil vlastní kvazistálou kombinaci zatížení. Následně program vygeneroval několik stovek kombinací zatížení, které poté zkombinoval do obálky výsledků.

### 3.5. Výsledky návrhového zatížení pro posouzení prvků

Krátce popíši chování prvků v modelu. Celá stropní deska v místě hotelových pokojů funguje jako táhlo, tudíž není možné navrhovat průřez pouze na ohybové namáhání, jako v běžných případech, a je nutné část výztuže uvažovat pouze pro přenesení tahové síly v průřezu. Jedním z možných řešení je použít k posouzení interakční diagram. V manuálu pro program RFEM se uvádí, že není možné kombinovat návrhový moment s návrhovou normálovou silou. Proto jsem pro plošné prvky, posuzované interakčním diagramem, nucen používat základní hodnoty vnitřních sil a dodatečně přičítat hodnoty krouticích momentů. V modelu došlo ke zvláštnímu chování svislých prvků v 2NP. Všechny tyto prvky jsou tažené (působí jako táhlo). Zdá se, že se všechny prvky zavěsily na střešní skořepinu.

## 4. Dimenzování

Jediný výpočet dimenzování, který jsem uvedl v hlavním dokumentu práce, je výpočet interakčního diagramu pro střešní skořepinu se základním vyztužením. Ostatní výpočty jsou součástí příloh. Výpočet šířky trhlin je proveden v jednotlivých posudecích vždy v nejnepříznivějším místě konstrukce. V každé příloze jsou vstupní hodnoty návrhových sil a jejich posouzení. V práci jsem se zabýval pouze dimenzováním nadzemní části konstrukce. Pro výpočet bylo využito norem [1], [2], [3], [4] a dále ostatních podkladů [5], [6], [7], [8], [9] uvedených v kapitole 6.



#### 4.1. Materiály

Beton: C30/37,  $f_{ctm} = 2,9$  MPa

Výztuž: B500 B,  $f_{yk} = 500$  MPa

Krytí výztuže: 30 mm

Průměr výztuže: 10 mm

#### 4.2. Výpočet krytí

Abych splnil podmínku trvanlivosti a použitelnosti konstrukce, musí být navrhnutá dostatečná betonová krycí vrstva výztuže. Tloušťka se odvíjí od stupně vlivu prostředí, třídy a druhu konstrukce (železobetonová nebo předpjatá konstrukce), způsobu zhotovení, třídy betonu a průměru výztuže.

Stupeň vlivu prostředí: **XC1**

Třída konstrukce: S4 (návrhová životnost 50let)

Způsob zhotovení: Tvarově složitá monolitická konstrukce  $\rightarrow \Delta c_{dev} = 15$  mm

Výpočet:

Maximální průměr výztuže v 1. vrstvě:  $\varnothing 14$  mm

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm} \}$$

$$c_{min,b} = 14 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = \text{Tabulka 4.4N} \rightarrow 15 \text{ mm [10]}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max \{ 14; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 15 = \underline{\underline{30 \text{ mm}}}$$

#### 4.3. Výpočet minimálního vyztužení skořepiny

$$d = 200 - 30 - 5 = 165 \text{ mm}$$

$$A_{s,min} = A_{s,min1} > A_{s,min2}$$

$$A_{s,min1} = 0,26 \times \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = 0,26 \times \frac{2,6 \cdot 1 \cdot 0,165}{500} = 2,23 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}$$

$$A_{s,min2} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,215 = 2,15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}$$

$$A_{s,min} = 2,23 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}$$

Základní síť stropní desky:  $d = 10 \text{ mm}$ ,  $\acute{a} = 200 \text{ mm}$ ,  $A_s = 3,93 \text{ m}^2/\text{m}$

#### 4.4. Průřez skořepiny

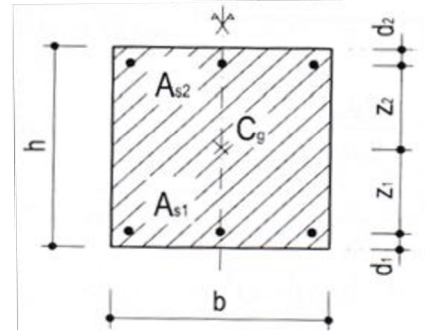
$$h = 20 \text{ cm}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$d_1 = d_2 = 3 + 1,2 + 0,5 = 4,7 \text{ cm}$$

$$d_{1c} = d_{2c} = 20 - 4,7 = 15,3 \text{ cm}$$

$$z_1 = z_2 = 5,3 \text{ cm}$$



Obrázek 4-1 Průřez skořepiny [9]

#### 4.5. Výpočet bodů interakčního diagramu skořepiny se základním vyztužením

Únosnost průřezu jsem stanovil pomocí interakčního diagramu. Jako příklad výpočtu jednotlivých bodů interakčního diagramu jsou použity hodnoty pro základní vyztužení skořepiny. Výpočet je rozepsán níže. Posouzení jsem provedl v tabulce, kde jsou uvedeny max/min hodnoty obálky vnitřních sil ( $N_{max}$ ,  $N_{min}$ ,  $M_{max}$ ,  $M_{min}$ ) a k nim odpovídající hodnoty druhé vnitřní síly ( $N$ ,  $M$ ). K hodnotě momentu jsem vždy přičetl nepříznivé složky kroutících Momentů  $M_{xy}$ . Hodnoty pro posouzení jsem vybral z příčných řezů skořepinou na místech s největšími hodnotami vnitřních sil. Tato místa jsou označena v příloze P3.

##### 4.5.1. Bod 0

- Příklad tlakového porušení při rovnoměrném rozdělení přetvoření  $\epsilon_{c2}$  po celé výšce průřezu.

$$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{43,48}{20\,000} = 0,00217$$

$$\epsilon_{c2} = 0,0020 = \epsilon_{s1,2}$$

$$\epsilon_{s1,2} = 0,0020 < 0,00217 = \epsilon_{yd}$$

$$\sigma_{s1,2} = \varepsilon_{s1,2} \cdot E_s \leq f_{yd}$$

$$\sigma_{s1,2} = 0,0020 \cdot 20\,000 = \mathbf{40,00 \text{ kN/cm}^2} < 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_{Rd0} = -(b \cdot h \cdot f_{cd}) + \sum A_s \cdot \sigma_s$$

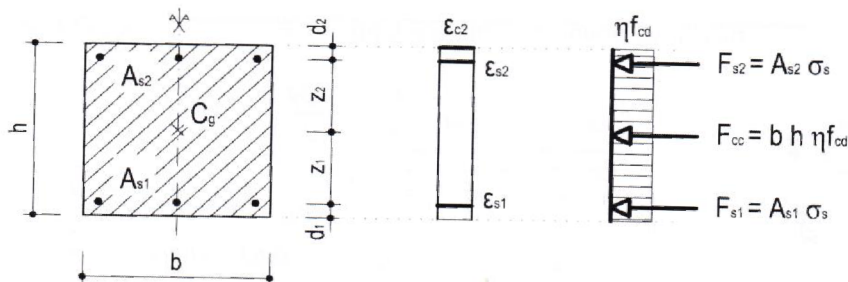
$$N_{Rd0} = -(100 \cdot 20 \cdot 2,0) + 2 \cdot 3,93 \cdot 40,00 = \mathbf{-4\,314,16 \text{ kN}}$$

$$N_{Rd0} = \mathbf{-4\,314,16 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd0} = h \cdot b \cdot f_{cd} \cdot z_c + (A_{s2} \cdot z_2 - A_{s1} \cdot z_1) \cdot \sigma_s$$

$$M_{Rd0} = 20 \cdot 100 \cdot 2,0 \cdot 0 + (3,93 \cdot 5,3 - 3,93 \cdot 5,3) \cdot 40,0$$

$$M_{Rd0} = \mathbf{0,0 \text{ kNm}}$$



Obrázek 4-2 [9]:Bod 0

#### 4.5.2. Bod 1

- Neutrální osa prochází polohou dolní výztuže.

$$\varepsilon_{s1} = 0,0 \rightarrow \sigma_{s1} = 0,0 \rightarrow F_{s1} = \mathbf{0,0 \text{ kN}}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (x - d_2) = \frac{0,0035}{15,3} (15,3 - 4,7) = 0,0024$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,0024 > \mathbf{0,00217} = \varepsilon_{yd}$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 3,93 \cdot 43,48 = \mathbf{170,74 \text{ kN}}$$

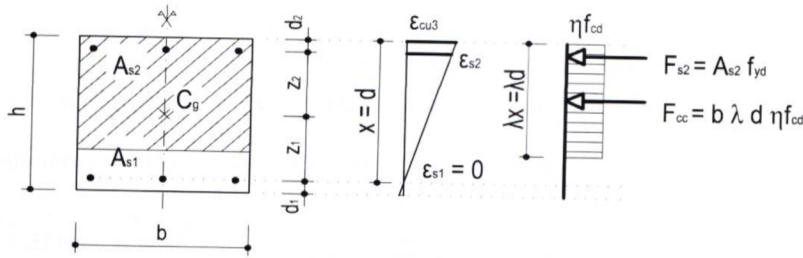
$$N_{Rd1} = -(\lambda \cdot b \cdot d_{1c} \cdot f_{cd} + F_{s2}) = -(0,8 \cdot 100 \cdot 15,3 \cdot 2,0 + 170,74)$$

$$N_{Rd1} = \mathbf{-2618,74 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd1} = \lambda \cdot b \cdot d_{1c} \cdot f_{cd} \cdot (h - \lambda \cdot d_{1c}) \cdot 0,5 + F_{s2} \cdot z_2$$

$$M_{Rd1} = 0,8 \cdot 100 \cdot 15,3 \cdot 2,0 \cdot (20,0 - 0,8 \cdot 15,3) \cdot 0,5 + 170,74 \cdot 5,3$$

$$M_{Rd1} = 10403 \text{ kNcm} = \mathbf{104,03 \text{ kNm}}$$



Obrázek 4-3 [9]: Bod 1

#### 4.5.3. Bod 2

- Neutrální osa se nachází ve vzdálenosti  $x_{bal,1}$  a to je hranice mezi tlakovým a tahovým porušením.

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd} = \mathbf{0,00217}$$

$$\sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\varepsilon_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 + 0,00217} = \mathbf{0,62}$$

$$x_{bal,1} = \varepsilon_{bal,1} \cdot d_{1c} = 0,62 \cdot 15,3 = \mathbf{9,44 \text{ cm}}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (x - d_2) = \frac{0,0035}{9,44} (9,44 - 4,7) = 0,0018$$

$$\varepsilon_{s2} = \mathbf{0,0018} < 0,00217 = \varepsilon_{yd}$$

$$\sigma_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E_s \leq f_{yd}$$

$$\sigma_{s2} = 0,0018 \cdot 20\,000 = \mathbf{35,14 \text{ kN/cm}^2} < 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} = 3,93 \cdot 43,48 = \mathbf{170,74 \text{ kN}}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 3,93 \cdot 35,14 = \mathbf{138,0 \text{ kN}}$$

$$N_{Rd2} = -(\lambda \cdot b \cdot x_{bal,1} \cdot f_{cd}) - F_{s2} + F_{s1}$$

$$N_{Rd2} = -(0,8 \cdot 100 \cdot 9,44 \cdot 2,0) - 138 + 170,74$$

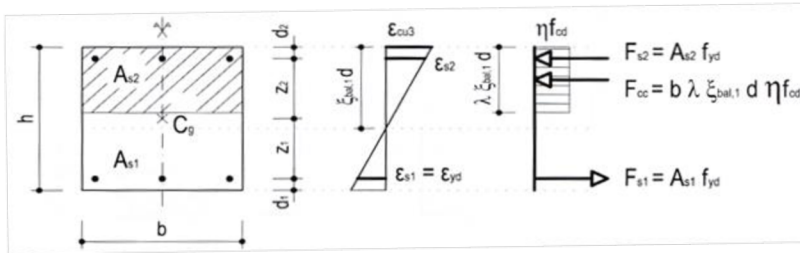
$$N_{Rd2} = \mathbf{-1477,33 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd2} = \lambda \cdot b \cdot x_{bal,1} \cdot f_{cd} \cdot (h - \lambda \cdot x_{bal,1}) \cdot 0,5 + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2$$

$$M_{Rd2} = 0,8 \cdot 100 \cdot 9,44 \cdot 2,0 \cdot (20,0 - 0,8 \cdot 9,44) \cdot 0,5 + 170,74 \cdot 5,3 + 138,0 \cdot 5,3$$

$$M_{Rd2} = 11\,036 \text{ kNcm} = \mathbf{110,36 \text{ kNm}}$$





Obrázek 4-4 [9]: Bod 2

#### 4.5.4. Bod 3

- Prostý ohyb, výztuž v tlaku není zohledněna.

$$x = \frac{F_{s1}}{\lambda \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{170,74}{0,8 \cdot 100 \cdot 3,0}$$

$$x = \mathbf{1,07 \text{ cm}}$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d_{1c} - x) = \frac{0,0035}{1,07} (15,3 - 1,07) = 0,0465$$

$$\varepsilon_{s1} = \mathbf{0,0465} > 0,00217 = \varepsilon_{yd}$$

$$\sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 3,93 \cdot 43,48 = \mathbf{170,74 \text{ kN}}$$

$$F_c = \lambda \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 1,07 \cdot 100 \cdot 2,0$$

$$F_c = \mathbf{170,74 \text{ kN}}$$

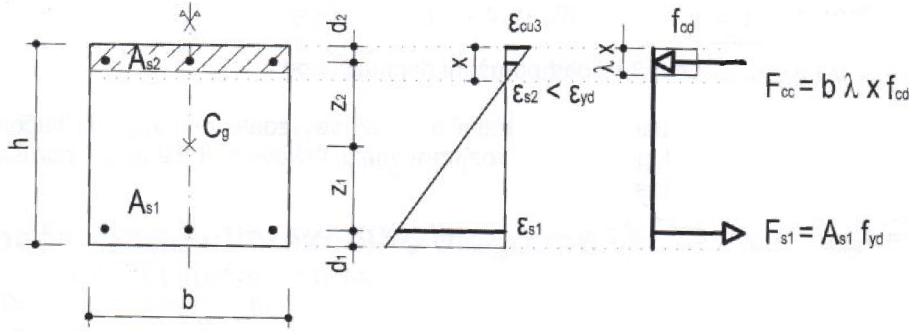
$$N_{Rd3} = F_c - F_{s1} = 170,74 - 170,74$$

$$N_{Rd3} = \mathbf{0,0 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd3} = \lambda \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot (d_1 - 0,5 \cdot \lambda \cdot x)$$

$$M_{Rd3} = 0,8 \cdot 1,07 \cdot 100 \cdot 2,0 \cdot (4,7 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1,07)$$

$$M_{Rd3} = 2539 \text{ kNcm} = \mathbf{25,39 \text{ kNm}}$$



Obrázek 4-5 [9]: Bod 3

#### 4.5.5. Bod 4

- Tahové působíště je v těžišti výztuže  $A_{s2}$ .

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$\sigma_{s1} = f_{yd}$$

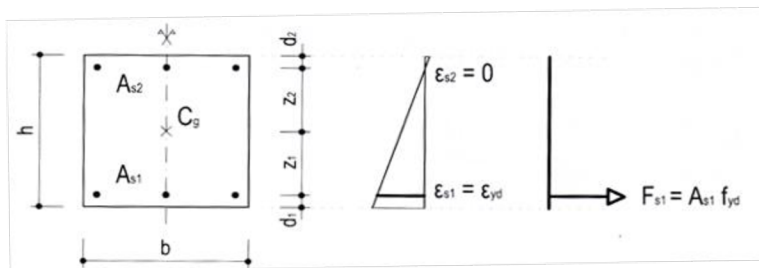
$$\varepsilon_{s2} \approx 0,0$$

$$N_{Rd4} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 3,93 \cdot 43,48$$

$$N_{Rd4} = 170,74 \text{ kN}$$

$$M_{Rd4} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 = 3,93 \cdot 43,48 \cdot 5,3$$

$$M_{Rd4} = 905 \text{ kNcm} = 9,05 \text{ kNm}$$



Obrázek 4-6 [9]: Bod 4

#### 4.5.6. Bod 5

- Tahová síla působí ve společném těžišti horní a dolní výztuže.

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

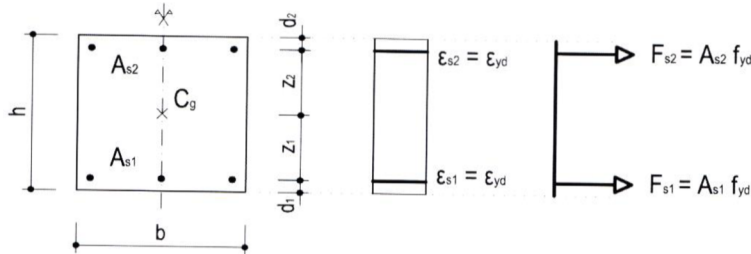
$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$N_{Rd5} = A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s1} \cdot f_{yd} = 3,93 \cdot 43,48 + 3,93 \cdot 43,48$$

$$N_{Rd5} = 341,48 \text{ kN}$$

$$M_{Rd5} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 - A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 = 3,93 \cdot 43,48 \cdot 5,3 - 3,93 \cdot 43,48 \cdot 5,3$$

$$M_{Rd5} = 0,0 \text{ kNm}$$



Obrázek 4-7 [9]: Bod 5

#### 4.5.7. Bod 6

- Bod se nachází mezi 1. až 4. bodem diagramu. Tento bod znázorňuje případ plného využití tláčené výztuže  $A_{s2}$ .

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd} = 0,00217$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\varepsilon_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 - 0,00217} = 2,64$$

$$x_{bal,2} = \varepsilon_{bal,2} \cdot d_2 = 2,64 \cdot 4,7 = 12,4 \text{ cm}$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x_{bal,2}} (d_{1c} - x_{bal,2}) = \frac{0,0035}{12,4} (15,3 - 12,4) = 0,000817$$

$$\sigma_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E_s \leq f_{yd}$$

$$\sigma_{s1} = 0,00082 \cdot 20\,000 = 16,34 \text{ kN/cm}^2 < 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} = 3,93 \cdot 16,34 = 64,15 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 3,93 \cdot 43,48 = 170,74 \text{ kN}$$

$$N_{Rd6} = -(\lambda \cdot b \cdot x_{bal,2} \cdot f_{cd}) - F_{s2} + F_{s1}$$

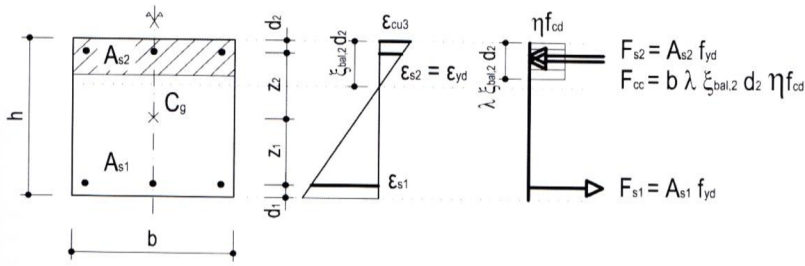
$$N_{Rd6} = -(0,8 \cdot 100 \cdot 12,4 \cdot 2,0) - 170,74 + 64,22$$

$$N_{Rd6} = -2091,37 \text{ kN}$$

$$M_{Rd6} = \lambda \cdot b \cdot x_{bal,2} \cdot f_{cd} \cdot (h - \lambda \cdot x_{bal,2}) \cdot 0,5 + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2$$

$$M_{Rd6} = 0,8 \cdot 100 \cdot 12,4 \cdot 2,0 \cdot (20,0 - 0,8 \cdot 12,4) \cdot 0,5 + 170,74 \cdot 5,3 + 64,22 \cdot 5,3$$

$$M_{Rd6} = 11\,244 \text{ kNcm} = 112,44 \text{ kNm}$$



Obrázek 4-8 [9]: Bod 6

#### 4.5.8. Bod 1'

- Neutrální osa prochází polohou horní výztuže.

$$\varepsilon_{s2} = 0,0 \rightarrow \sigma_{s2} = 0,0 \rightarrow F_{s2} = \mathbf{0,0\ kN}$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (x - d_1) = \frac{0,0035}{15,3} (15,3 - 4,7) = 0,0024$$

$$\varepsilon_{s1} = 0,0024 > \mathbf{0,00217} = \varepsilon_{yd}$$

$$\sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 3,93 \cdot 43,48 = \mathbf{170,74\ kN}$$

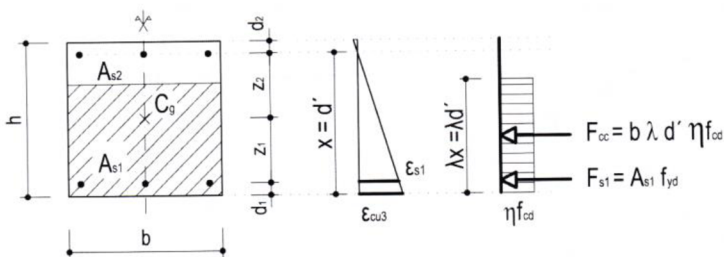
$$N_{Rd1'} = -(\lambda \cdot b \cdot d_1 \cdot f_{cd} + F_{s1}) = -(0,8 \cdot 100 \cdot 15,3 \cdot 2,0 + 170,74)$$

$$N_{Rd1'} = \mathbf{-2618,74\ kN}$$

$$M_{Rd1'} = -\lambda \cdot b \cdot d_2 \cdot f_{cd} \cdot (h - \lambda \cdot d_2) \cdot 0,5 - F_{s1} \cdot z_2$$

$$M_{Rd1'} = -0,8 \cdot 100 \cdot 15,3 \cdot 2,0 \cdot (20,0 - 0,8 \cdot 15,3) \cdot 0,5 - 170,74 \cdot 5,3$$

$$M_{Rd1'} = -10403\ kNcm = \mathbf{-104,03\ kNm}$$



Obrázek 4-9 [9]: Bod 1'

#### 4.5.9. Bod 2'

- Neutrální osa se nachází ve vzdálenosti  $x_{bal,1'}$  a to je hranice mezi tlakovým a tahovým porušením.

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd} = \mathbf{0,00217}$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\varepsilon_{bal,1'} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 + 0,00217} = \mathbf{0,62}$$

$$x_{bal,1'} = \varepsilon_{bal,1'} \cdot d_{1c} = 0,62 \cdot 15,3 = \mathbf{9,44 \text{ cm}}$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x_{bal,1'}} (x_{bal,1'} - d_1) = \frac{0,0035}{9,44} (9,44 - 4,7) = 0,0018$$

$$\varepsilon_{s1} = \mathbf{0,0018} < 0,00217 = \varepsilon_{yd}$$

$$\sigma_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E_s \leq f_{yd}$$

$$\sigma_{s1} = 0,0018 \cdot 20\,000 = \mathbf{35,14 \text{ kN/cm}^2} < 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} = 3,93 \cdot 43,48 = \mathbf{138,00 \text{ kN}}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 3,93 \cdot 35,14 = \mathbf{170,74 \text{ kN}}$$

$$N_{Rd2'} = -(\lambda \cdot b \cdot x_{bal,1'} \cdot f_{cd}) - F_{s1} + F_{s2}$$

$$N_{Rd2'} = -(0,8 \cdot 100 \cdot 9,44 \cdot 2,0) - 138 + 170,74$$

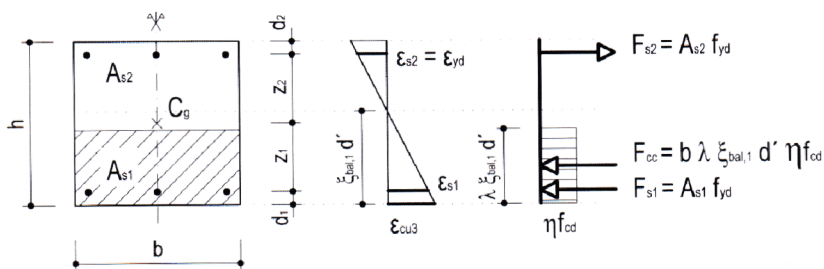
$$N_{Rd2'} = \mathbf{-1477,33 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd2'} = -\lambda \cdot b \cdot x_{bal,1'} \cdot f_{cd} \cdot (h - \lambda \cdot x_{bal,1'}) \cdot 0,5 - F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2$$

$$M_{Rd2'} = -0,8 \cdot 100 \cdot 9,44 \cdot 2,0 \cdot (20,0 - 0,8 \cdot 9,44) \cdot 0,5 - 170,74 \cdot 5,3 -$$

$$-138,0 \cdot 5,3$$

$$M_{Rd2'} = \mathbf{-11\,036 \text{ kNcm} = -110,36 \text{ kNm}}$$



Obrázek 4-10 [9]: Bod 2'

#### 4.5.10. Bod 3'

- Prostý ohyb, výztuž v tlaku není zohledněna.

$$x = \frac{F_{s2}}{\lambda \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{170,74}{0,8 \cdot 100 \cdot 3,0}$$

$$x = \mathbf{1,07 \text{ cm}}$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d_{2c} - x) = \frac{0,0035}{1,07} (15,3 - 1,07) = 0,0465$$

$$\varepsilon_{s1} = \mathbf{0,0465} > 0,00217 = \varepsilon_{yd}$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$F_{s2} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 3,93 \cdot 43,48 = \mathbf{170,74 \text{ kN}}$$

$$F_c = \lambda \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 1,07 \cdot 100 \cdot 2,0$$

$$F_c = \mathbf{170,74 \text{ kN}}$$

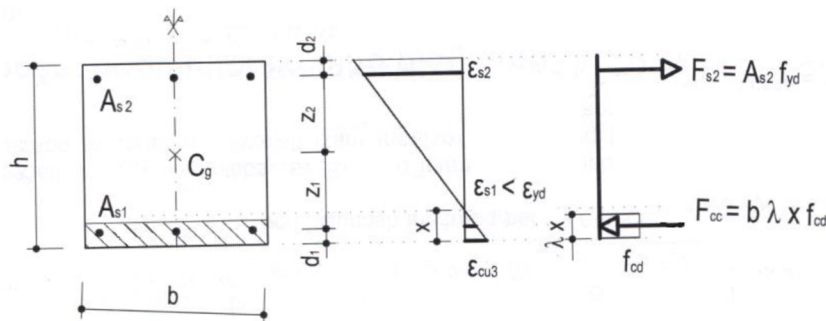
$$N_{Rd3'} = F_c - F_{s1} = 170,74 - 170,74$$

$$N_{Rd3'} = \mathbf{0,0 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd3'} = -\lambda \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot (d_1 - 0,5 \cdot \lambda \cdot x)$$

$$M_{Rd3'} = -0,8 \cdot 1,07 \cdot 100 \cdot 2,0 \cdot (4,7 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1,07)$$

$$M_{Rd3'} = -2539 \text{ kNcm} = \mathbf{-25,39 \text{ kNm}}$$



Obrázek 4-11 [9]: Bod 3'

#### 4.5.11. Bod 4'

- Tahové působíště je v těžišti výztuže  $A_{s1}$ .

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{yd} = \mathbf{0,00217}$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd}$$

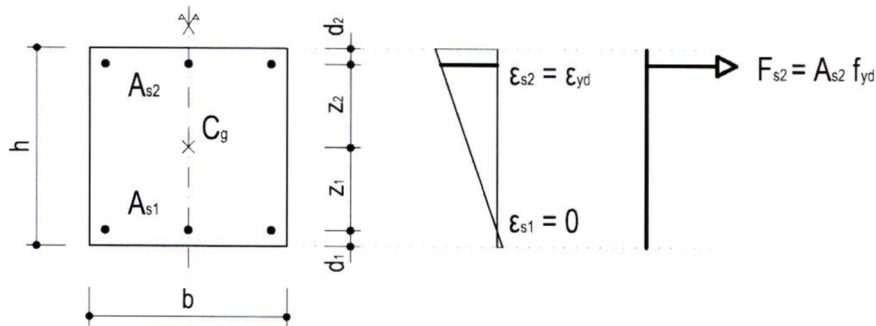
$$\varepsilon_{s1} \approx \mathbf{0,0}$$

$$N_{Rd4'} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 3,93 \cdot 43,48$$

$$N_{Rd4'} = \mathbf{170,74 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd4'} = -A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot (-z_1) = 3,93 \cdot 43,48 \cdot (-5,3)$$

$$M_{Rd4'} = -905 \text{ kNcm} = \mathbf{-9,05 \text{ kNm}}$$



Obrázek 4-12 [9]: Bod 4'

#### 4.5.12. Bod 6'

- Bod se nachází mezi 1' až 4' bodem diagramu. Tento bod znázorňuje případ plného využití tláčené výztuže  $A_{s1}$ .

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd} = \mathbf{0,00217}$$

$$\sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$\varepsilon_{bal,2'} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 - 0,00217} = \mathbf{2,64}$$

$$x_{bal,2'} = \varepsilon_{bal,2'} \cdot d_1 = 2,64 \cdot 4,7 = \mathbf{12,4 \text{ cm}}$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x_{bal,2'}} (d_{2c} - x_{bal,2'}) = \frac{0,0035}{12,4} (15,3 - 12,4) = 0,000817$$

$$\sigma_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E_s \leq f_{yd}$$

$$\sigma_{s2} = 0,00082 \cdot 20\,000 = \mathbf{16,34 \text{ kN/cm}^2} < 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} = 3,93 \cdot 43,48 = \mathbf{170,74 \text{ kN}}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 3,93 \cdot 16,34 = \mathbf{64,15 \text{ kN}}$$

$$N_{Rd6'} = -(\lambda \cdot b \cdot x_{bal,2'} \cdot f_{cd}) - F_{s1} + F_{s2}$$

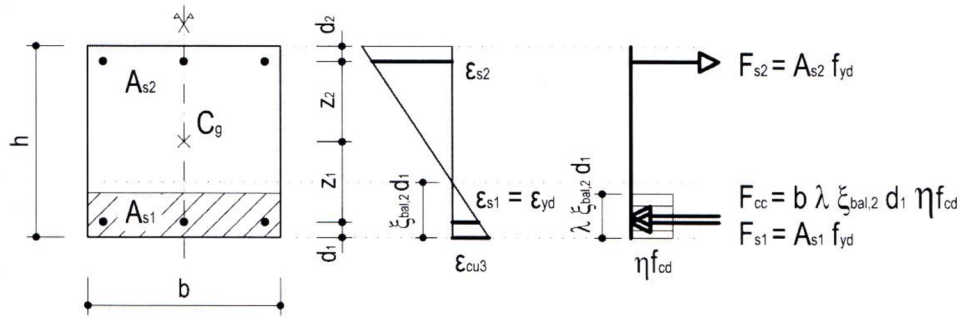
$$N_{Rd6'} = -(0,8 \cdot 100 \cdot 12,4 \cdot 2,0) - 170,74 + 64,22$$

$$N_{Rd6'} = \mathbf{-2091,37 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd6'} = -\lambda \cdot b \cdot x_{bal,2'} \cdot f_{cd} \cdot (h - \lambda \cdot x_{bal,2'}) \cdot 0,5 - F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2$$

$$M_{Rd6'} = -0,8 \cdot 100 \cdot 12,4 \cdot 2,0 \cdot (20,0 - 0,8 \cdot 12,4) \cdot 0,5 - 170,74 \cdot 5,3 - 64,22 \cdot 5,3$$

$$M_{Rd6'} = 11\,244 \text{ kNcm} = \mathbf{-112,44 \text{ kNm}}$$



Obrázek 4-13 [9]: Bod 6'

Graf vypočteného interakčního diagramu i s návrhovými hodnotami je vložen na konci části 4.6.

#### 4.6. Posouzení skořepiny

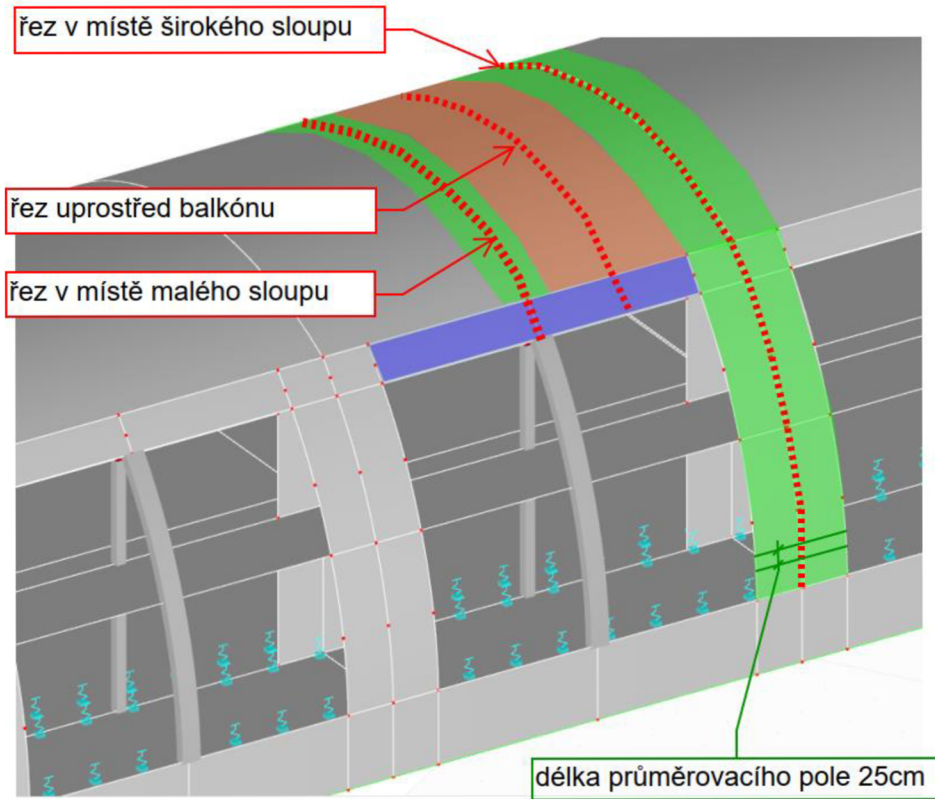
Celá konstrukce střešní skořepiny je navržena z betonu C30/37 o tloušťce 20 cm. Konstrukce není v žádných místech extrémně vyztužená. Největší množství výztuže se nachází v místě napojení stropní desky, kde jsem použil svislou výztuž  $\varnothing 16$  a větší množství smykové výztuže. Dále jsem tuto smykovou výztuž použil i v místě napojení stropní desky na široký sloup.

V nejvíce zatíženém místě jsem provedl i výpočet na kontrolu šířky trhlin. Posouzení průhybu jsem následně provedl pomocí programu RFEM. Pro nelineární výpočet jsem pro každou plochu v modelu zadal naddimenzované množství výztuže podle schématu vyztužení, které je součástí přílohy P3. V této příloze se také nachází veškeré podklady, které byly použity pro posouzení skořepiny včetně posudků a interakčních diagramů. Podrobnější postup a popis přílohy P3 viz níže. Tento postup je použit obdobně u všech ostatních konstrukčních prvků.

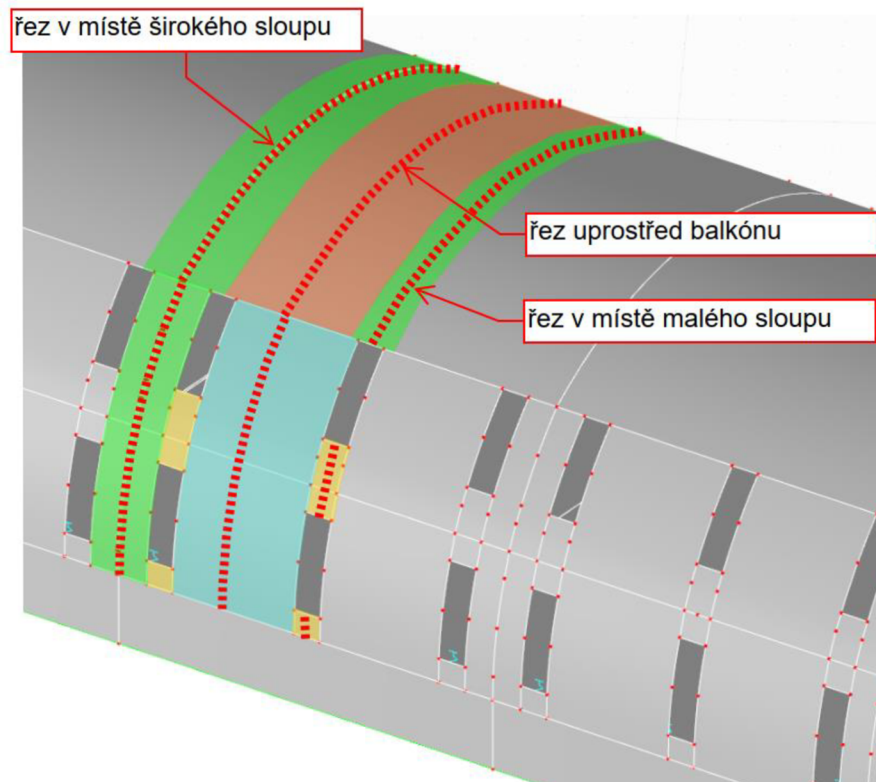
##### 4.6.1. Návrhové síly prvního řádu

Pro posouzení skořepiny jsem zprůměroval hodnoty návrhových sil do pruhů podobně jako u stropních desek podporovaných pouze sloupy. Zde jsem ale vytvořil průměrovací pásy v místě širokých pilířů, oblast mezi sloupem a pilířem a oblastí nad sloupem. Na protilehlé straně jsem zprůměroval hodnoty mezi okny. Průměrování jsem provedl pomocí průměrovacích ploch o délce 25 cm.





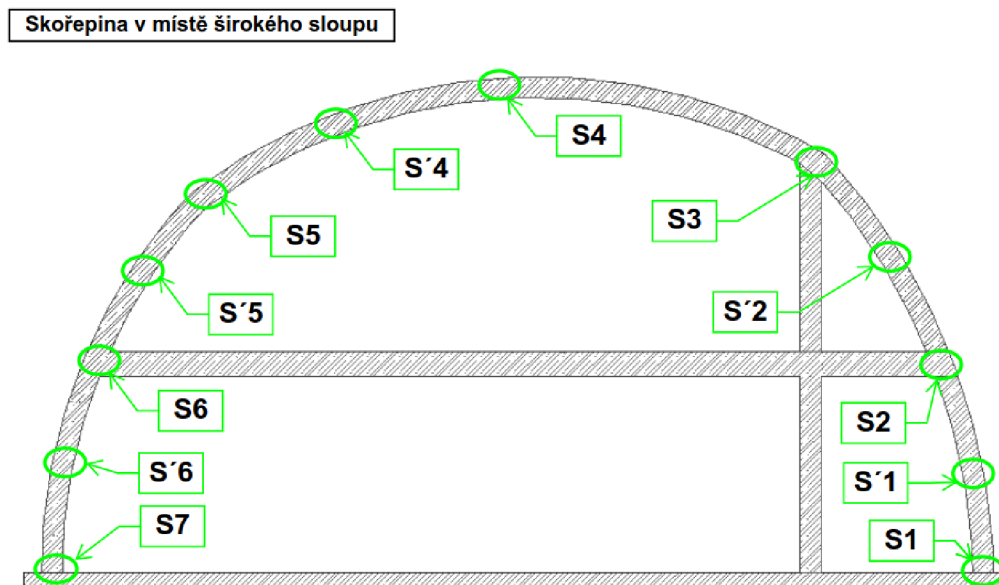
Obrázek 4-14: Nákres průměrovacích polí



Obrázek 4-15: Nákres průměrovacích polí

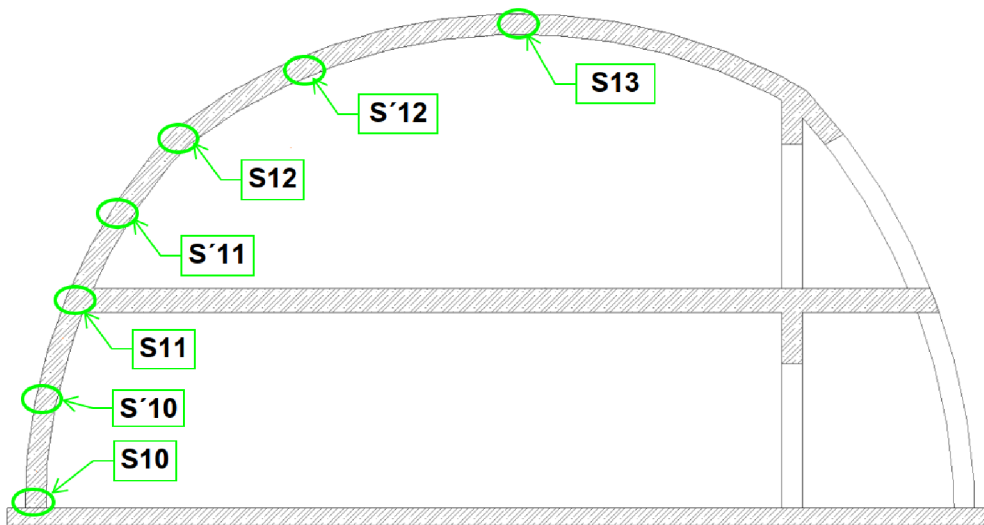
Následně jsem v příčném řezu kruhem označil posuzovaná místa a ve výsledcích jsem vyznačil hodnoty návrhového zatížení čarou. Pro normálovou sílu jsem použil základní návrhové vnitřní síly  $n_y$  a pro moment jsem použil základní vnitřní síly  $m_y$  a k nim jsem vždy přičetl ještě hodnotu kroutícího momentu  $m_{xy}$ . Pro výpočet II. řádu jsem použil hodnotu  $m_y$  v kvazistálé kombinaci. Tyto návrhové hodnoty jsou uvedeny v tabulce u interakčního diagramu.

Pro návrh smykové výztuže jsem použil základní vnitřní síly  $v_y$ . Pro posouzení smykové únosnosti jsem vypočetl smykovou únosnost betonového plošného průřezu bez smykové výztuže a působící smykové síly jsem s touto hodnotou porovnal. Pro všechna místa, kde smykové síly tuto hodnotu překročily, jsem navrhnul a posoudil smykovou výztuž. Všechny posudky jsou obsaženy v příloze P3. Pro celkový přehled jsem do přílohy vložil i pohledy s izoplochami.



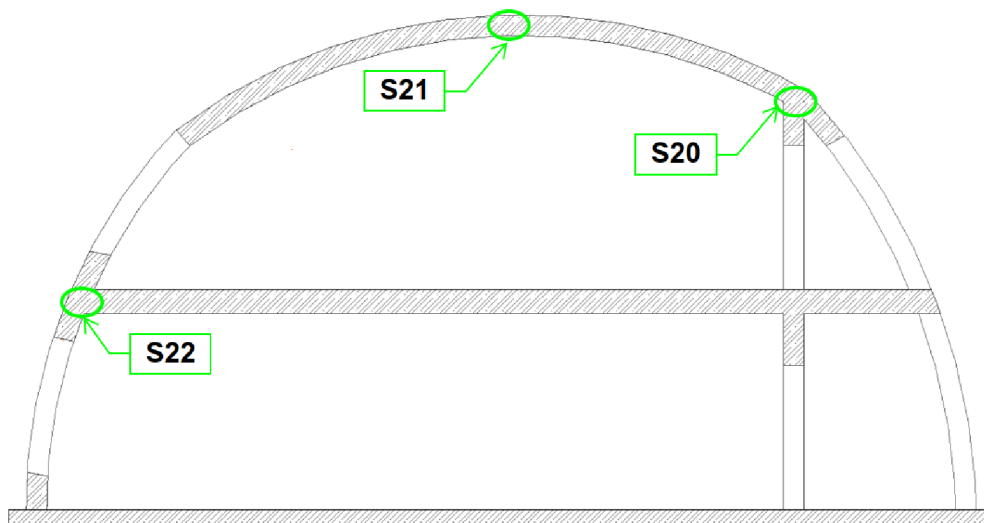
Obrázek 4-16: Posuzovaná místa skořepiny

**Skořepina uprostřed balkónu**



Obrázek 4-17: Posuzovaná místa skořepiny

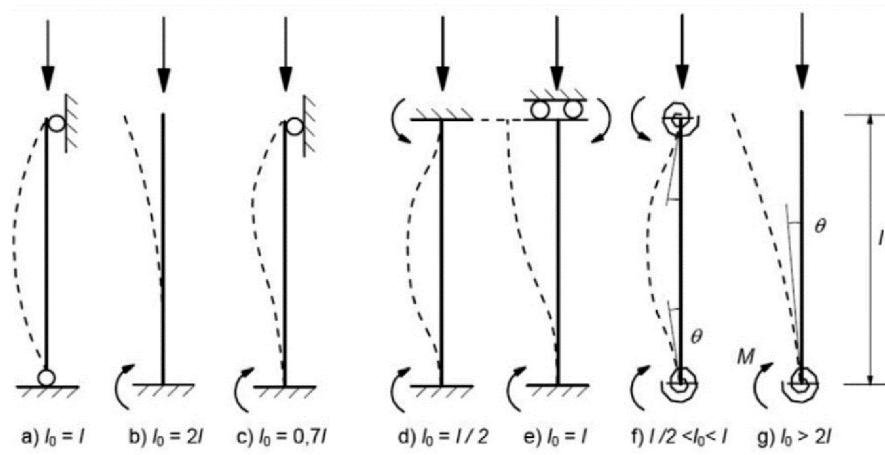
**Skořepina v místě malého sloupu**



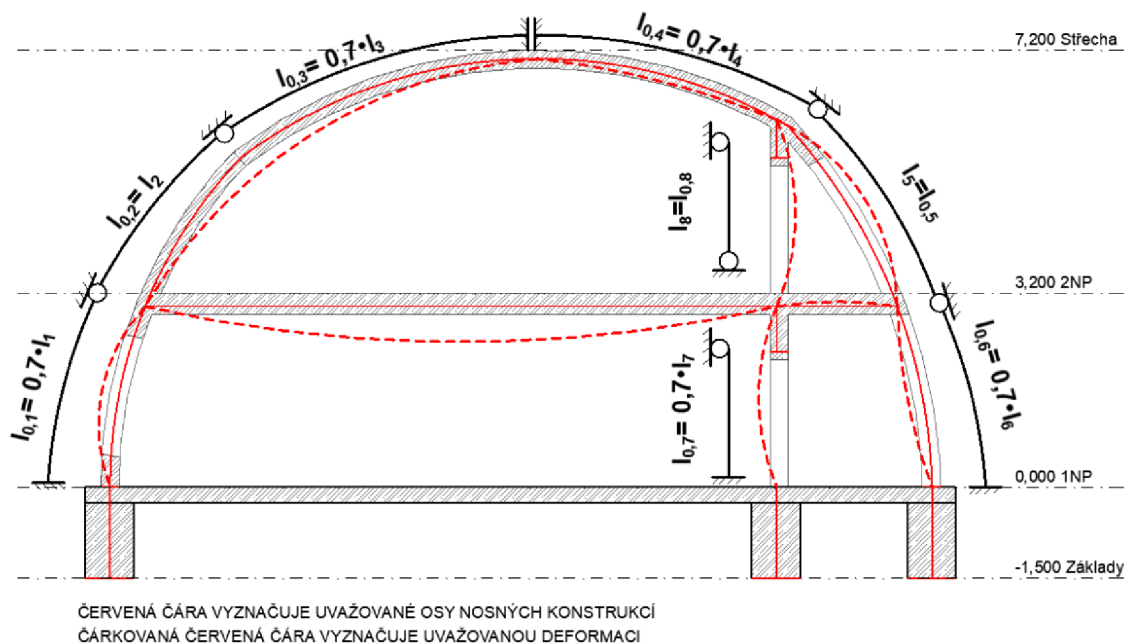
Obrázek 4-18: Posuzovaná místa skořepiny

#### 4.6.2. Návrhové síly druhého řádu

Nejdůležitější vstupní hodnotou pro výpočet II. řádu je účinná délka konstrukčního prvku  $l_{0,x}$ . Tuto délku jsem určil na základě skutečné délky prvku a jeho uvažovaného podepření. Účinná délka je vypočítaná na základě hodnot uvedených v obrázku 4-19 z normy ČSN EN 1992-1-1. Všechny tyto uvažované prvky a jejich podepření jsem zobrazil v přiloženém obrázku níže, kde jsou též uvedeny i hodnoty jednotlivých účinných délek prvků.



Obrázek 4-19: Účinné délky podle druhu uložení prutu [9]



Obrázek 4-20: Schéma účinných délek v modelu

Výsledky v řezu – Skořepina v místě širokého sloupu							účinná délka $l_0$ m
poloha	max $N_{Ed}$ kN/m	min $N_{Ed}$ kN/m	$M_{0Ed}$ kNm/m	$M_{Eqp}$ kNm/m	$M_2$ kNm/m	$M_2+M_{0Ed}$ kNm/m	
S1	-121,6	-494,6	27,5	10,5	0,0	27,5	x
S'1	-107,4	-483,0	-17,5	-4,2	-2,7	-20,2	2,2
S2	-99,2	-574,7	63,9	21,0	0,0	63,9	x
S'2	-204,9	-556,9	-41,5	-16,0	-31,3	-72,8	3,7
S3	-135,0	-378,7	-34,3	10,2	0,0	-34,3	x
S4	-30,0	-79,8	27,9	6,1	0,0	27,9	x
S'4	-80,0	-150,6	-6,5	-2,2	-1,4	-7,9	3,7
S5	-69,4	-161,5	-43,8	-13,8	0,0	-43,8	x
S'5	-94,7	-170,7	50,4	29,9	1,3	51,7	3,0
S6	-69,1	-191,9	76,9	41,9	0,0	76,9	x
S'6	-149,3	-261,8	-49,5	-29,2	-1,4	-50,9	2,2
S7	-104,5	-178,7	36,3	22,7	0,0	36,3	x

Hodnoty účinných délek:

$$l_{0,1} = 0,7 \times l_1 = \mathbf{2,2m}$$

$$l_{0,2} = 0,7 \times l_2 = \mathbf{3,0m}$$

$$l_{0,3} = l_3 = \mathbf{3,7m}$$

$$l_{0,4} = l_4 = \mathbf{3,0m}$$

$$l_{0,5} = l_5 = \mathbf{3,7m}$$

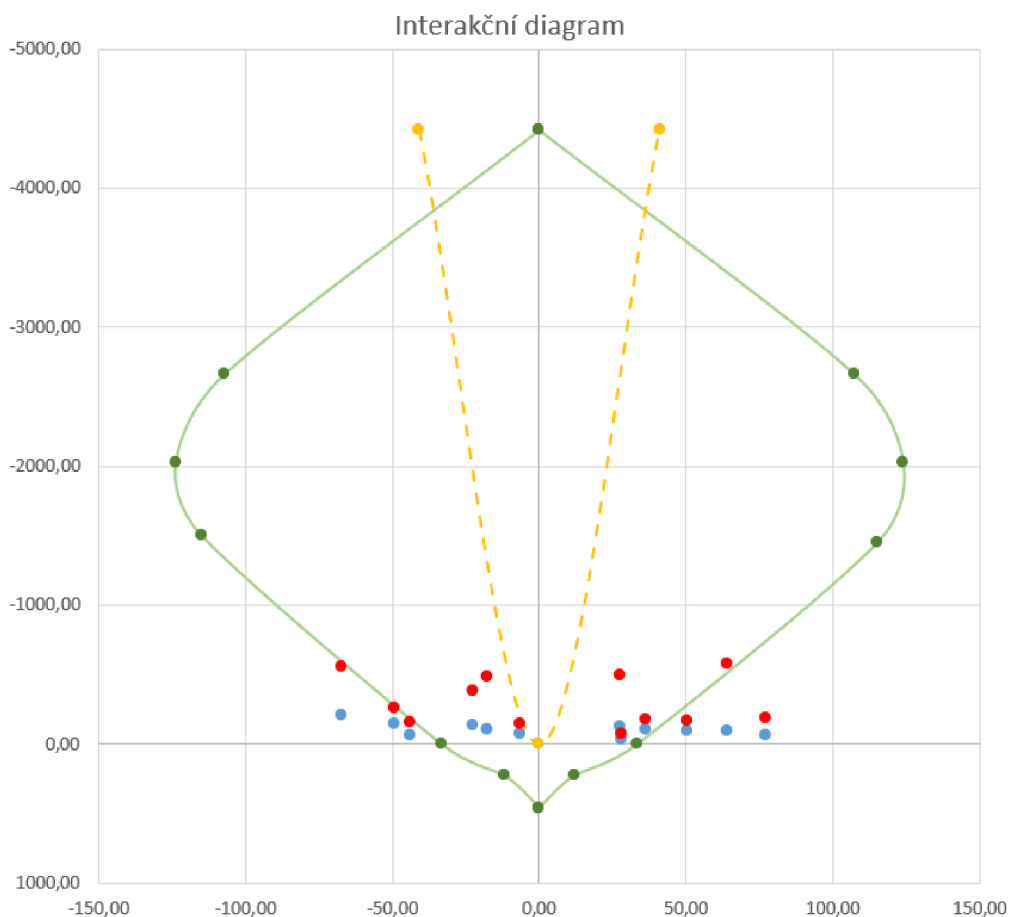
$$l_{0,6} = 0,7 \times l_6 = \mathbf{2,2m}$$

$$l_{0,7} = 0,7 \times l_7 = \mathbf{2,1m}$$

$$l_{0,8} = l_8 = \mathbf{3,1m}$$

Pro výpočet návrhového momentu druhého řádu jsem použil zjednodušenou metodu založenou na jmenovité křivosti uvedenou v normě ČSN EN 1992-1-1, která je vhodná pro posouzení osamělých prvků s konstantní normálovou silou. Postup výpočtu hodnoty momentu druhého řádu  $M_2$  pro pozici S'2 jsem rozepsal v příloze P3.

Tabulka 4-1 Výsledky v řezu skořepiny



Obrázek 4-21: Interakční diagram pro základní vyztužení skořepiny

V interakčním diagramu můžeme vidět, že je nutné v některých částech skořepiny zvýšit množství výztuže. Z diagramu lze vyčíst i to, že je nutné zvyšovat množství výztuže u obou povrchů skořepiny. Všechny interakční diagramy pro dimenzování střešní skořepiny jsou k dispozici v příloze P3.

#### 4.6.3. Množství příčné výztuže ve skořepině (spony, třmínky)

Dle normy ČSN EN 1992-1-1 je dostatečné vyztužit stěny proti příčnému tahu pomocí  $4\text{ks/m}^2$  spon, za předpokladu, že součet plochy svislé výztuže u obou povrchů stěny nepřekročí hodnotu:  $A_{s,\text{svislá}} < 0,02 A_c$ . Pokud by byla tato hodnota překročena, je nutné navrhnout výztuž podle konstrukčních pravidel pro sloupy. Hodnota je posouzena v jednotlivých posudcích.

Dále jsem posuzoval všechny plošné prvky na posouvající základní sílu ( $v_x, v_y$ ). Ukázalo se, že v patě a v místě uložení stropní konstrukce je skořepina o šířce 20 cm příliš tenká na to, aby přenesla, od zavěšené stropní desky, působící smykové zatížení bez smykové výztuže. Proto jsem byl nucen navrhnout smykové třmínky skoro až do poloviny výšky podlaží. Stejný problém jsem objevil i na druhé straně, kde se spojuje stropní deska se širokými sloupy. Možnou alternativou by bylo použít beton o vyšší pevnosti, anebo zvětšit tloušťku skořepiny.

#### 4.7. Kotevní délka ohybové výztuže

V této části jsem uvedl dva příklady výpočtu minimální kotevní a stykové délky výztuže. Tyto hodnoty jsem použil při návrhu vyztužení a samotném kreslení výkresů výztuže. Hodnoty odpovídají rovné výztuži při stykování v jednom místě.

Mezní napětí v soudržnosti:

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{1,8}{1,5} = 1,2 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,2 = 2,7 \text{ MPa}$$

$$\eta_1 - h \text{ desky} \leq 250 \rightarrow 1,0$$

$$\eta_2 - \emptyset \leq 32 \text{ mm} \rightarrow 1,0$$

#### Základní kotevní délka pro výztuž Ø8:

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{8}{4} \cdot \frac{434,78}{2,7} = 322 \text{ mm}$$

počítáno na plné využití výztuže

Návrhová kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

$$l_{bd} = 1,0 \times 0,7 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 322 = \mathbf{225 \text{ mm}} \geq 100 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = \mathbf{1,0} \rightarrow \text{přímý prut}$$

$$\alpha_2 = 1 - 0,15(c_d - \emptyset) / \emptyset = 1 - 0,15(30 - 8) / 8 = 0,6 \rightarrow \mathbf{0,7}$$

$$c_d = \min(a/2; c_1; c) = \min(170/2; x; 30) = 30 \text{ mm}$$

$$\alpha_3 = 1,0$$

$$\alpha_4 = 1,0$$

$$\alpha_5 = 1,0$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \times l_{brqd}; 10 \times \emptyset; 100 \text{ mm}\} = \{0,3 \times 322; 10 \times 8; 100\}$$



$$l_{b,min} = 100 \text{ mm}$$

**Zvoleno:  $l_{bd} = 230 \text{ mm}$**

### Návrhová stykací délka pro výztuž Ø8:

$$l_0 = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 \times \alpha_6 \times l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

$$l_0 = 1,0 \times 0,7 \times 1,0 \times 1,0 \times 2,0 \times 402,6 = \mathbf{563 \text{ mm}} \geq 200 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = \mathbf{1,0} \rightarrow \text{přímý prut}$$

$$\alpha_2 = 1 - 0,15(c_d - \emptyset) / \emptyset = 1 - 0,15(30 - 8) / 8 = 0,6 \rightarrow \mathbf{0,7}$$

$$c_d = \min(a/2; c_1; c) = \min(170/2; x; 30) = 30 \text{ mm}$$

$$\alpha_3 = 1,0$$

$$\alpha_5 = 1,0$$

$$\alpha_6 = (\rho_1/25)^{0,5} = (100/25)^{0,5} = 2,0$$

$$l_{0,min} = \max\{0,3 \times \alpha_6 \times l_{brqd}; 15 \times \emptyset; 200 \text{ mm}\}$$

$$\{0,3 \times 2,0 \times 322; 15 \times 8; 200\} = \mathbf{200 \text{ mm}}$$

**Zvoleno:  $l_0 = 565 \text{ mm}$**

### Základní kotevní délka pro výztuž Ø16:

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \cdot \frac{434,78}{2,7} = 644,1 \text{ mm}$$

počítáno na plné využití výztuže

Návrhová kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

$$l_{bd} = 1,0 \times 0,7 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 644,1 = \mathbf{450 \text{ mm}} \geq 193 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = \mathbf{1,0} \rightarrow \text{přímý prut}$$

$$\alpha_2 = 1 - 0,15(c_d - \emptyset) / \emptyset = 1 - 0,15(30 - 8) / 8 = 0,6 \rightarrow \mathbf{0,7}$$

$$c_d = \min(a/2; c_1; c) = \min(170/2; x; 30) = 30 \text{ mm}$$

$$\alpha_3 = 1,0$$

$$\alpha_4 = 1,0$$

$$\alpha_5 = 1,0$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \times l_{brqd}; 10 \times \emptyset; 100 \text{ mm}\} = \{0,3 \times 644,1; 10 \times 16; 100\}$$

$$l_{b,min} = 193 \text{ mm}$$

**Zvoleno:  $l_{bd} = 450 \text{ mm}$**



### Návrhová stykací délka pro výztuž Ø16:

$$l_0 = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 \times \alpha_6 \times l_{b,rd} \geq l_{0,min}$$

$$l_0 = 1,0 \times 0,7 \times 1,0 \times 1,0 \times 2,0 \times 644,1 = \mathbf{902 \text{ mm}} \geq 273 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = \mathbf{1,0} \rightarrow \text{přímý prut}$$

$$\alpha_2 = 1 - 0,15(c_d - \emptyset) / \emptyset = 1 - 0,15(30 - 8) / 8 = 0,6 \rightarrow \mathbf{0,7}$$

$$c_d = \min(a/2; c_1; c) = \min(170/2; x; 30) = 30 \text{ mm}$$

$$\alpha_3 = 1,0$$

$$\alpha_5 = 1,0$$

$$\alpha_6 = (\rho_1/25)^{0,5} = (100/25)^{0,5} = 2,0$$

$$l_{0,min} = \max\{0,3 \times \alpha_6 \times l_{brqd}; 15 \times \emptyset; 200 \text{ mm}\}$$

$$\{0,3 \times 2,0 \times 644,1; 15 \times 16; 200\} = \mathbf{386 \text{ mm}}$$

**Zvoleno:  $l_0 = 905 \text{ mm}$**

### Seznam minimálních kotevních a stykacích délek:

průměr výztuže	kotevní délka $l_{bd}$	stykací délka $l_0$
Ø8	225 mm	450 mm
Ø10	285 mm	565 mm
Ø12	340 mm	680 mm
Ø14	395 mm	790 mm
Ø16	450 mm	905 mm

Tabulka 4-2 Seznam minimálních kotevních délek

### 4.8. Posouzení sloupů

Všechny sloupy jsem posoudil pomocí výpočetního programu INCA, protože jsem je musel posoudit na šikmý ohyb. Široké sloupy skořepiny jsem posoudil jako plošný prvek na jeden běžný metr délky, jelikož nesplňují kritérium pro sloupy ( $h \leq 4x_b$  a  $l \geq 3x_h$ ). Sloupy jsem posoudil ve dvou skupinách podle jejich průřezu. To znamená, že sloupy jedné skupiny jsou nadimenzované na nejnepříznivější kombinaci zatížení celé skupiny, čímž jsem zaručil, že mohou být všechny sloupy stejného průřezu stejně vyztuženy. Sloupy stojící v linii se stěnou v 2NP působí pouze jako táhla zavěšená na skořepině. Výztuž z těchto sloupů jsem prodloužil až do spoje průvlaku se skořepinou.



Sloupy jsem vyztužil profily  $\text{Ø}14$  a  $\text{Ø}16$ . Hodnota maximálního vyztužení průřezu nepřesahuje hodnotu 50%. Všechny posudky a návrhové síly zobrazené v pohledech z programu RFEM jsem vložil do přílohy P5. Součástí přílohy je i schéma vyztužení.

#### 4.8.1. Program INCA2

Zkratka INCA2 je označení pro: Interactive Nonlinear Cross-Section Analysis Biaxial. Autorem tohoto programu je Dr.-Ing. Uwe Pfeiffer z Technische Universität Hamburg. Program slouží pro interaktivní materiálově nelineární výpočet a posouzení železobetonových průřezů s libovolným tvarem a vyztužením, které jsou namáhané dvouosým ohybem. Program obsahuje knihovnu materiálů se shodnými hodnotami s normou EC2. Pro posouzení sloupů jsem použil materiály s parabolicko-rektangulární pracovním diagramem. Více informací k programu lze nalézt na stránce: <http://www.u-pfeiffer.de/>

#### 4.9. Posouzení stěn v 1NP a 2NP

Stěny jsem posoudil podobně jako střešní skořepinu. Všechny vstupní hodnoty pro zatížení, posudky a schémata výztuže jsou součástí přílohy P4. U posudku stěn je možné vidět, že ve 2NP došlo k zavěšení konstrukce na střešní skořepinu, a proto jsou tyto prvky namáhané pouze tahem a ohybem. Kvůli tomuhle vlivu jsem byl následně nucen tyto stěny více vyztužit. V 1NP přechází stěny do tlakového působení vlivem zatížení od stropní desky a díky tomuto působení jsem nebyl nucen zvýšit množství výztuže ve stěnách.

#### 4.10. Posouzení průvlaků v 1NP a 2NP

Protože jsem průvlaky namodeloval v programu RFEM jako plošné prvky, bylo potřeba použít několik řezů v ploše na nejvíce zatížených místech abych získal potřebné výsledky pro dimenzování průřezu. Pro kontrolu jsem v příloze P6 provedl, pomocí ručního výpočtu, odhad maximálního možného zatížení průvlaku. Místo a použitou zatěžovací plochu jsem uvedl v příloze. Na základě těchto zatížení jsem vypočítal pomocí statických tabulek hodnoty odpovídajících vnitřních sil v průvlaku. V posudcích pro průvlak v 1NP jsem následně použil hodnoty vypočítané ručně a i hodnoty, které jsem

odvodil z řezů s výsledky. Průvlak v 1NP se podle výsledku z RFEM choval jako běžný spojitý nosník o dvou polích. Průvlak v 2NP navazoval na obrácené namáhání, jako tomu bylo u stěn a sloupů v 2NP, a proto je i průběh tahových normálových sil opačný, tudíž největší tahové namáhání je u spodního líce v místě uložení sloupu 20x20cm. Dále jsem musel posoudit průvlak v horní části v místě, kde se nachází spoj se skořepinou. V tomto místě jsem posoudil průvlak pomocí interakčního diagramu na tah při ohybu kolmo k jeho délce. Následně po porovnání spodního vyztužení průvlaku v 1NP a 2NP jsem došel k závěru, že není nutné posuzovat průvlak na zatížení během provádění, protože vyztužení u spodního líce odpovídá vyztužení průvlaku v 1NP.

#### 4.11. Posouzení stropní desky

V práci jsem provedl vyztužení a posouzení stropní desky v hotelovém traktu budovy. Zbývající část desky nad vstupní halou a provozní částí jsem nedimenzoval a neposuzoval. Stropní deska, kterou jsem posuzoval, má tloušťku 25cm a celkové rozměry 27x13m. V podélném směru jsem desku rozdělil na dvě pole o šířkách 10,5m a 2,5m. Ve vnitřním poli s šířkou 10,5m jsem desku uložil skoro po celém obvodu, jen u začátku hotelového traktu jsem desku uložil na jednom sloupu ve středu příčného rozpětí. V celé konstrukci působí deska jako táhlo pro střešní skořepinu, proto je v příčném směru namáhána tahem za ohybu. Z tohoto důvodu jsem musel řešit dimenzování výztuže pomocí interakčního diagramu. Kvůli velkému vlivu krouticích momentů v ploše desky jsem do interakčního diagramu použil kombinaci návrhových momentových sil a základních normálových vnitřních sil. Desku jsem posoudil na smykovou únosnost v místech, kde je uložena na skořepině a stěnách. Posouzení desky na protlačení jsem provedl pouze u venkovních sloupů vycházejících ze skořepiny s průřezem 20x38cm. Tahové působení desky a blízké uložení na stěně způsobilo, že došlo k přerozdělení normálových sil v příčném směru. Z tohoto důvodu se hodnota zatížení prutu od normálové síly v místě napojení na desku dramaticky snížila, a proto jsem se rozhodl provést ruční výpočet pro zatížení. Jako zatěžovací šířku jsem si vždy zvolil polovinu osového rozpětí nosných konstrukcí v obou směrech od sloupu a následně jsem výslednou plochu vynásobil návrhovým zatížením. Dále jsem posoudil desku uprostřed pole na šířku trhlín. Posouzení průhybu desky jsem provedl pomocí nelineárního výpočtu v programu RFEM, kde byl výsledný maximální průhyb 50mm, přičemž limitní hodnota průhybu je



40mm. Z tohoto důvodu je deska navržena s převýšením 20mm. Do výpočtu jsem zahrnul navrhnutou výztuž podle vypracovaných schémat vyztužení. Všechny vstupní návrhové síly, posudky a schémata výztuže jsem vložil do přílohy P7.

## 5. Závěr

Na začátku práce jsem se detailně zabýval různými možnostmi konstrukčního řešení vybrané architektonické studie. Vzhledem k tomu, že jsou ze strany architektonických kanceláří většinou požadovány subtilní konstrukční systémy s velkými otevřenými prostory, porovnal jsem několik konstrukčních variant, abych zjistil, jak velký vliv má počet svislých nosných prvků, při zvoleném konstrukčním systému, na celkové chování konstrukce.

Pro statický výpočet a posouzení na mezní stavy únosnosti a použitelnosti jsem zvolil model typu B-2. Tento model jsem vybral hlavně na základě deformací, chování konstrukce a s ohledem na cenu provádění. V práci jsem provedl výpočet, návrh výztuže a posouzení pro celou nadzemní část hotelového traktu objektu. V místě provádění jsem uvažoval dobré základové podmínky. Jednotlivá konstrukční řešení uvažují i různé varianty založení, ale celkově se práce základovými konstrukcemi nezabývá.

Pro posouzení a výpočet jednotlivých konstrukcí jsem použil programy RFEM, INCA2 a MS Excel. Musím podotknout, že s prací v programu RFEM jsem velice zklamaný. Jako hlavní problém vidím ve způsobu vytváření výstupní dokumentace a také způsob modelování konstrukce. Při posudcích jsem z velké části používal návrh pomocí interakčního diagramu, což bylo způsobeno celkovým charakterem chování konstrukce. Tímto způsobem jsem navrhl střešní skořepinu, stěny i stropní desku. V programu INCA2 jsem posoudil všechny sloupy na šikmý ohyb. Průvlaky jsem posoudil na základě vypočtených vnitřních sil 2D ploch. Celkové chování svislých konstrukcí v 1NP a 2NP se výrazně lišilo. U všech svislých konstrukcí v 2NP, které jsem posuzoval, došlo k zavěšení na střešní skořepinu, z tohoto důvodu byly namáhány pouze tahem. Všechny tyto konstrukce vyhověly v obou mezních stavech. Na závěr jsem vypracoval výkres tvaru hotelového traktu. Vzhledem k tomu, že hotelový trakt je tvořen několika stejnými, za sebou jdoucími poli, vypracoval jsem výkresy výztuže pouze pro poslední modulové pole, které navazuje na štitovou stěnu. Veškeré výkresy jsou součástí příloh P8.1 až P8.8.

## 6. Bibliografie

- [1] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [2] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Ed. 1. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [4] ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [5] FOGLAR, Marek, Michaela FRANTOVÁ a Pavel JIŘÍČEK. *Betonové konstrukce 3: navrhování betonových konstrukcí na MSP, úvod do předpjatého betonu*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04943-3.
- [6] PROCHÁZKA, Jaroslav a Jiří ŠMEJKAL. *Betonové stropní a schodišťové konstrukce*. 1. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2017. ISBN 978-80-01-06323-1.
- [7] KOHOUTKOVÁ, Alena, Jaroslav PROCHÁZKA a Jiří ŠMEJKAL. *Modelování a vyztužování betonových prvků: lokální modely železobetonových konstrukcí*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05329-4.
- [8] MELCHER, DR.SC., Prof. Ing. Jindřich, Ing. Marcela KARMAZÍNOVÁ, CSC., Ing. Miroslav BAJER, CSC. a Ing. Karel SÝKORA. *Prvky kovových konstrukcí: Pruty namáhané tahem a tlakem*



[online]. Brno, 2003 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z:  
<http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BO02-Prvky%20kovovych%20konstrukci/M03-Pruty%20namahane%20tahem%20a%20tlakem.pdf>. Skriptum. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.

- [9] ZICH, Miloš. *Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů*. 1. vydání. Praha: Dashöfer, 2010. ISBN 978-80-86897-38-7.
- [10] EQW. *Eq. e: eq, ewq*.
- [11] ČSN EN 1992: *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí*. 1.11.2006. Praha: Český normalizační institut, 2006.

## 7. Seznam použitých softwarů

Microsoft 365 - Word ([www.microsoft.com](http://www.microsoft.com))

Microsoft 365 - Excel ([www.microsoft.com](http://www.microsoft.com))

Dlubal RFEM 5.24. ([www.dlubal.com](http://www.dlubal.com))

INCA2 ([www.u-pfeiffer.de](http://www.u-pfeiffer.de))

Allplan 2019 ([www.allplan.com](http://www.allplan.com))

## 8. Seznam obrázků

Obrázek 1-1: Půdorysy 1NP .....	13
Obrázek 1-2 Půdorys 2NP .....	14
Obrázek 1-3 Řez hotelovými pokoji .....	14
Obrázek 1-4 Pohledy .....	14
Obrázek 2-1 Model typu: A-1 .....	18
Obrázek 2-2: Model typu: A-2 .....	18
Obrázek 2-3 Model typu: A-3 .....	19
Obrázek 2-4 Model typu: A-4 .....	19
Obrázek 2-5 Model typu: A-5 .....	20
Obrázek 2-6: Model typu: B-1 .....	21
Obrázek 2-7: Model typu: B-2 .....	21
Obrázek 2-8: Model typu: B-3 .....	22
Obrázek 2-9: Model typu: B-4 .....	22
Obrázek 2-10: Model typu: B-5 .....	23
Obrázek 2-11: Model typu: C-1 .....	24
Obrázek 2-12: Model typu: C-2 .....	25
Obrázek 2-13: Model typu: C-3 .....	25
Obrázek 2-14: Model typu: C-4 .....	26
Obrázek 2-15: Model typu: C-5 .....	26
Obrázek 3-1: Liniové podpory .....	34
Obrázek 3-2: Uložení základové desky .....	34
Obrázek 3-3: Uvolněné základové desky .....	35
Obrázek 4-1 Průřez skořepiny [9] .....	38
Obrázek 4-2 [9]:Bod 0.....	39
Obrázek 4-3 [9]: Bod 1 .....	40
Obrázek 4-4 [9]: Bod 2.....	41
Obrázek 4-5 [9]: Bod 3.....	42
Obrázek 4-6 [9]: Bod 4.....	42
Obrázek 4-7 [9]: Bod 5.....	43
Obrázek 4-8 [9]: Bod 6.....	44
Obrázek 4-9 [9]: Bod 1' .....	44
Obrázek 4-10 [9]: Bod 2' .....	45



Obrázek 4-11 [9]: Bod 3'	46
Obrázek 4-12 [9]: Bod 4'	47
Obrázek 4-13 [9]: Bod 6'	48
Obrázek 4-14: Nákres průměrovacích polí	49
Obrázek 4-15: Nákres průměrovacích polí	49
Obrázek 4-16: Posuzovaná místa skořepiny	50
Obrázek 4-17: Posuzovaná místa skořepiny	51
Obrázek 4-18: Posuzovaná místa skořepiny	51
Obrázek 4-19: Účinné délky podle druhu uložení prutu [9]	52
Obrázek 4-20: Schéma účinných délek v modelu	52
Obrázek 4-21: Interakční diagram pro základní vyztužení skořepiny	54





## 9. Seznam příloh

- P1 – Architektonické podklady, zatížení
- P2 – Návrhové modely
- P3 – Posouzení skořepiny
- P4 – Posouzení stěn
- P5 – Posouzení sloupů
- P6 – Posouzení průvlaků
- P7 – Posouzení stropní desky
- P8 – Výkresová dokumentace