



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

## ŽELEZOBETONOVÁ STROPNÍ DESKA LÁZEŇSKÉHO DOMU

CONCRETE FLAT SLAB OF BATHHOUSE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

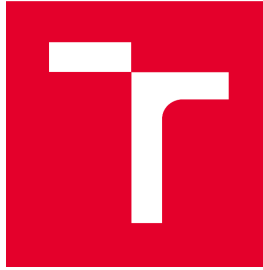
Tomáš Novotný

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN PERLA

BRNO 2017



## VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Studijní program        | B3607 Stavební inženýrství                            |
| Typ studijního programu | Bakalářský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor           | 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby                 |
| Pracoviště              | Ústav betonových a zděných konstrukcí                 |

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

|                 |  |
|-----------------|--|
| Student         | Tomáš Novotný                                |
| Název           | Železobetonová stropní deska lázeňského domu |
| Vedoucí práce   | Ing. Jan Perla                               |
| Datum zadání    | 30. 11. 2016                                 |
| Datum odevzdání | 26. 5. 2017                                  |

V Brně dne 30. 11. 2016

---

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

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,  
MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT



## PODKLADY A LITERATURA

Podklady:

Půdorysy a řezy objektu.

Základní normy (včetně všech změn a doplňků):

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991: Zatížení konstrukcí (část 1-1, 1-3 až 1-7)

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1996-1-1: Navrhování zděných konstrukcí. Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce

ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb

Literatura:

podle doporučení vedoucího bakalářské práce

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Návrh stropní desky budovy - při návrhu bude respektováno rozmístění vynášených zděných příček a provedeno posouzení přetvoření stropní konstrukce s ohledem na jejich celistvost. Ve statickém výpočtu bude zohledněno uložení desky na obvodovém zdivu a vnitřní podepření betonovými sloupy.

Požadované výstupy:

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

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady.

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

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

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1×)

Popisný soubor závěrečné práce (1×)

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě a pro ÚBZK 1× na CD.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

---

Ing. Jan Perla  
Vedoucí bakalářské práce



## **ABSTRAKT**

Předmětem této práce je železobetonová stropní deska lázeňského domu. Práce se v první části zabývá vlivem různého typu podepření a modelování na velikost ohybových a krouticích momentů a na deformace s nimi spojenými. V druhé části je řešeno samotné dimenzování výztuže desky, překladu a sloupu. Následně je posouzen mezní stav použitelnosti desky.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Deska po obvodu podepřená, lokálně podepřená deska, model, sloup, překlad, metoda náhradních rámců, výztuž

## **ABSTRACT**

The topic of this thesis is concrete flat slab of bathhouse. In the first part the thesis deals with the influence of different types of support and models on the size of bending and torsional moments and on the deflection connected with the moments. The second part addresses the reinforcement design of the slab, lintel and column. Subsequently the serviceability limit state of the slab is assessed.

## **KEYWORDS**

Circuit-supported slab, point-supported slab, model, column, lintel, method of spare frames, reinforcement



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Tomáš Novotný *Železobetonová stropní deska lázeňského domu*. Brno, 2017. 31 s.,  
111 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,  
Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Jan Perla



## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 5. 2017

---

Tomáš Novotný  
autor práce



## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

### PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 5. 2017

---

Tomáš Novotný  
autor práce



## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Janu Perlovi za jeho pomoc, ochotu a především čas strávený konzultacemi a odbornými debatami.

Dále patří velké poděkování panu doc. Ing. Ivanu Němcovi, CSc., za odborné rady a pomoc při sestavování modelů v programu Dlubal RFEM.





## OBSAH

|  |    |
|--|----|
| 1. ÚVOD.....                                   | 10 |
| 2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE.....                         | 11 |
| 2.1. Informace o objektu .....                 | 11 |
| 2.2. Popis modelů.....                         | 12 |
| 3. ZATÍŽENÍ, ZATĚŽOVACÍ STAVY A KOMBINACE..... | 15 |
| 3.1. Zatížení a zatěžovací stavy .....         | 15 |
| 3.2. Kombinace .....                           | 15 |
| 4. VYHODNOCENÍ.....                            | 16 |
| 4.1. Ohybové momenty $m_x$ .....               | 17 |
| 4.2. Ohybové momenty $m_y$ .....               | 19 |
| 4.3. Krouticí momenty $m_{xy}$ .....           | 21 |
| 4.4. Pružná deformace $U_z$ .....              | 23 |
| 4.5. Závěr vyhodnocení.....                    | 25 |
| 5. POSTUP STATICKÉHO VÝPOČTU.....              | 26 |
| 5.1. Deska.....                                | 26 |
| 5.2. Sloup.....                                | 26 |
| 5.3. Překlad .....                             | 27 |
| 5.4. Ostatní.....                              | 27 |
| 6. ZÁVĚR .....                                 | 28 |
| 7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....                | 29 |
| 8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....    | 30 |
| 9. SEZNAM PŘÍLOH .....                         | 31 |
| P1. Použité podklady.....                      | 31 |
| P2. Výkresy tvaru a výztuže .....              | 31 |
| P3. Statický výpočet.....                      | 31 |



## 1. ÚVOD

Tématem této práce je železobetonová stropní deska. V první části se práce zabývá modelováním stropní konstrukce třemi různými způsoby pomocí softwaru Dlubal RFEM a porovnává velikost ohybových a krouticích momentů a deformací těmito silami vyvolanými.

Druhá část práce je věnována porovnání výsledků ze softwaru s ručním výpočtem a také samotnému dimenzování a posouzení stropní desky a sloupu.

Jedním z cílů práce bylo objasnit různá úskalí, která používání moderních výpočetních softwarů přináší a která bývají často v praxi přehlížena.

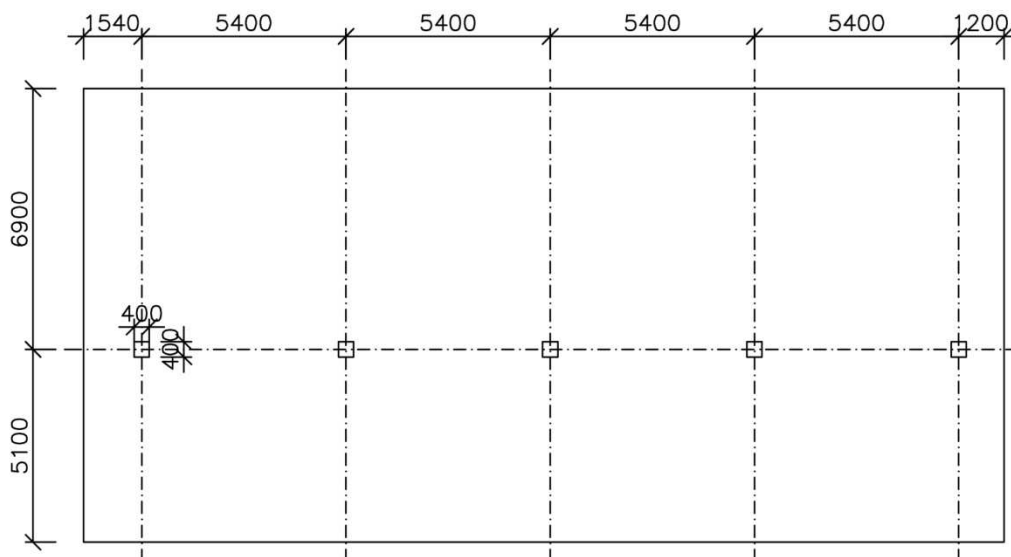
## 2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE

### 2.1. Informace o objektu

Jedná se o stropní desku nad 1NP dvoupodlažního lázeňského objektu v obci Lázně Bělohrad. Tento objekt je stávající a byl řešen před několika lety vedoucím práce obdobným způsobem.

Stropní deska je tedy navržena železobetonová tl. 250 mm, z betonu C30/37 s výztuží B500B. Deska je obdélníková o půdorysných rozměrech 12,00x24,34 m. Po obvodu je prostě uložena na zdivu typu THERM tl. 300mm a podpírána řadou betonových sloupů čtvercového průřezu o délce strany  $a = 400$ mm. Tyto sloupy objekt rozdělují v podélném směru na nesymetrický dvoutrakt s modulem 6,9 a 5,1m. V příčném směru je objekt rozdělen do 6 polí, s tím, že krajní pole jsou kratší (1,54 a 1,2m) a 4 střední pole shodná (5,4m).

Z čela objektu je velký okenní otvor, který je překlenut monolitickým překladem přímo spojeným se stropní deskou. Překlad s ní spolupůsobí jako nesymetrické žebro. Světlost otvoru je 9,9 m.



## 2.2. Popis modelů

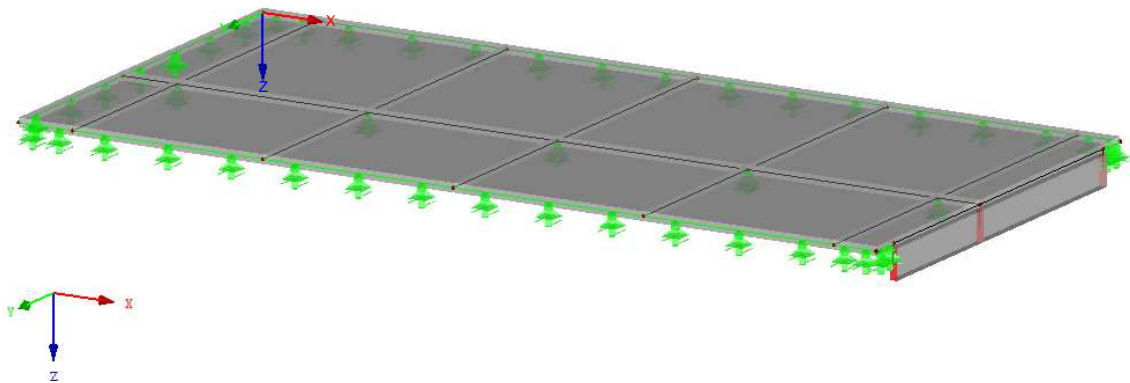
Jak již bylo zmíněno, všechny modely byly vytvořeny a vyhodnoceny pomocí programu Dlubal RFEM. Pro výpočet byla použita Kirchhoffova teorie tenkých desek. Rozdíly mezi výpočtem pomocí Kirchhoffovy teorie a Mindlinovy teorie však nebyly nikterak významné. Síť konečných prvků byla tvořena prvky o délce 0,5 m a kolem podporových prvků byla tato síť rovnoměrně radiálně zahuštěna na prvky délky 0,1 m.

### • Model 1

Jedná se o základní model konstrukce. Uložení na obvodových stěnách je modelováno liniovou kloubovou podporou posuvnou ve směru kolmém k rovině stěny. Tato podpora zjednodušeně odpovídá prostému uložení desky na obvodovém zdivu, avšak zanedbává vliv částečného vetknutí způsobeného přitížením okrajů zdivem horního podlaží. Okraj desky nad velkým okenním otvorem je ztužen překladovým nosníkem, který působí jako žebro.

Prostřední sloupy jsou modelovány pomocí bodové kloubové podpory působící v rovině Z. Tyto podpory jsou posuvné v deskové rovině.

Materiál desky a překladového nosníku je beton C30/37.



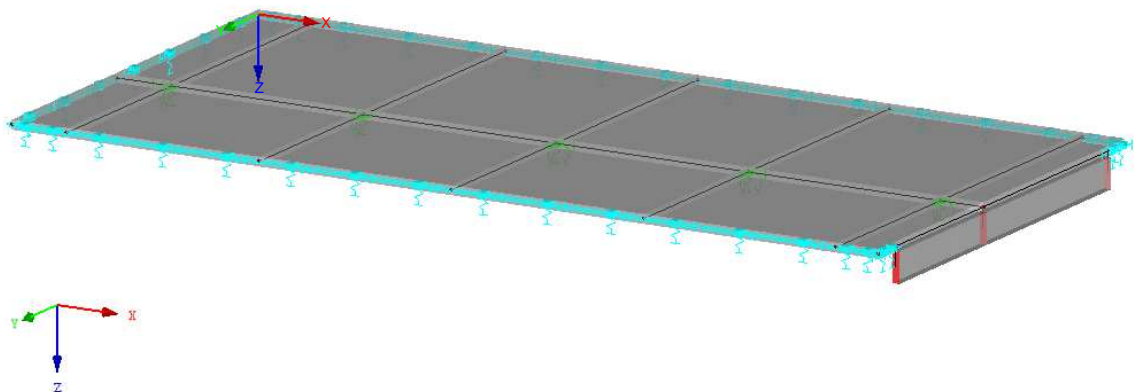
**• Model 2**

Druhý model vychází ze základního modelu s tím rozdílem, že podpory jsou pružné. Software Dlubal RFEM nabízí u podpor funkci stěna v Z/sloup v Z, která zde byla použita. U obvodové liniové podpory si program ze zadaného materiálu stěny a její výšky a tloušťky spočítá tuhost, kterou následně aplikuje jako tuhost pružného podepření. Navíc v těchto podporách je vyloučena tahová reakce, což simuluje velmi nízké působení zdiva v tahu, které bylo zanedbáno.

Bodové podpory využívají opět pružného podepření, u kterého je taktéž k výpočtu tuhosti využit software. Ze zadaných parametrů materiálu sloupu, jeho výšky a půdorysných rozměrů je spočítána tuhost bodové podpory.

Výhodou druhého modelu je, že na něm můžeme pozorovat nejen rozdílné stlačení sloupů a obvodového zdiva, ale také jev nadzvedávání rohů desky vlivem krouticích momentů.

Na konstrukci desky byl opět použit beton C30/37, stejný materiál byl zadán i pro výpočet tuhosti podpor simulujících sloupy. Na obvodovou stěnu byl použit materiál typu zdivo, ve kterém byl s přihlédnutím na dotvarování zdiva snižen modul pružnosti.



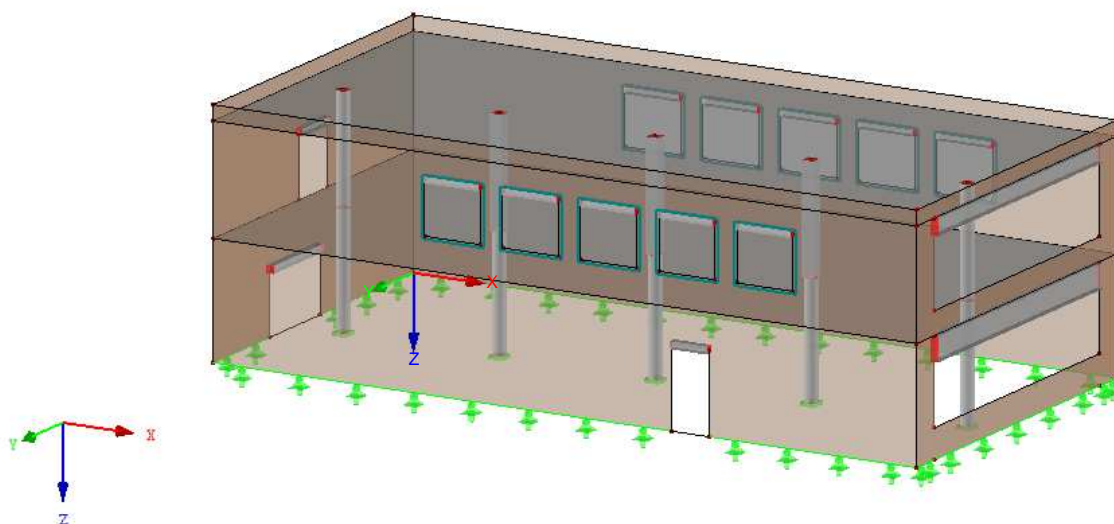
**• Model 3**

Model číslo tři by měl nejvíce odpovídat skutečnému provedení. Je sestaven z 1D a 2D prvků jako prostorový. Pomocí 1D prvků jsou namodelovány sloupy a také nadokenní překlady. Z 2D prvků (desky a stěny) je pak modelován obvodový plášť a samotná stropní konstrukce. V případě 3D modelu bylo modelováno i horní podlaží včetně zatížení, které simulovalo odpovídající přetížení okrajů desky. Na rozdíl od modelu 2, kde je přetížení zavedeno průměrnou tíhou obvodového zdiva, je tak toto přetížení ve 3D modelu věrně reprezentováno.

Materiál pro betonové prvky (překlady, sloupy, stropní desky) je stejně jako v předchozích modelech použit beton C30/37. Na stěny je použito stejného materiálu jako v modelu 2, tedy zdivo se sníženým modulem pružnosti, s tím rozdílem, že navíc je v tomto materiálu vyloučeno tahové napětí. Vzhledem k vyloučení tahových napětí ve zdivu bylo zapotřebí vytvořit již zmíněné nadokenní překlady, bez kterých by byl model nestabilní.

Aby byl prostorový model kompletní, je navíc doplněno zatížení stropní desky nad 2NP (vlastní konstrukce střechy, atika,...).

Mezi největší výhody prostorového modelu patří nejen odpovídající přetížení horním podlažím, ale především ono působení zdiva s vyloučeným tahovým napětím.



### 3. ZATÍŽENÍ, ZATĚŽOVACÍ STAVY A KOMBINACE

#### 3.1. Zatížení a zatěžovací stavy

Zatížení i zatěžovací stavy jsou podrobně rozebrány v příloze P3. Statický výpočet, proto jsou zde uvedeny jenom zásadní poznatky.

- **Model 1**

V základním modelu nemělo žádný význam zavádět přitížení okrajů desky způsobené vlivem horního podlaží, neboť by tyto síly byly přímo zachyceny kloubovou liniovou podporou bez žádného vlivu na stropní desku.

- **Model 2**

Pro druhý model, který byl modelován jako deska na pružných podporách s vyloučenou tahovou reakcí, bylo již nutné zavést přitížení okrajů desky od horního podlaží. To bylo modelováno zprůměrovanou hodnotou zatížení na linii.

- **Model 3**

Prostorový model už obsahoval vše podstatné, aby výsledky byly co možná nejuvěrohodnější a nejvíce odpovídaly skutečnosti.

#### 3.2. Kombinace

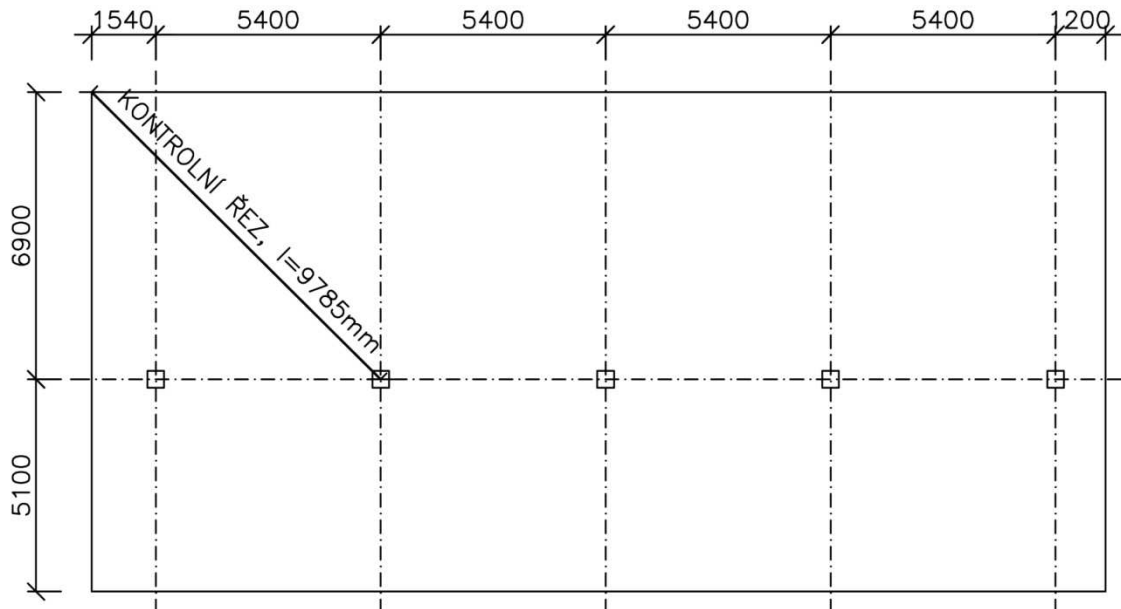
Z důvodu nelinearity modelu 2 a 3 bylo nutné přistoupit ke kombinacím zatížení namísto obvyklejší lineární superpozice výsledků jednotlivých zatěžovacích stavů.

Aby bylo možné pozorovat všechny zmíněné jevy po celé délce řezu, byla zvolena návrhová kombinace zatížení vlastní tíhy, ostatního stálého a plného proměnného zatížení.

Podrobnější informace ke kombinacím zatížení jsou uvedeny v příloze P3.2. Statický výpočet – model 3, kap. 3. Kombinace a vnitřní síly, str. 13.

## 4. VYHODNOCENÍ

Všechny výsledky byly posuzovány na šikmém svislém řezu od rohu stropní desky k druhému prostřednímu sloupu (poloha na řezu 0,0 m v grafu odpovídá rohu desky, naopak poloha 9,785 m odpovídá ose sloupu).



Jak již bylo zmíněno, posuzovány byly nejen ohybové a krouticí momenty, ale také pružné deformace stropní desky. Výsledky byly exportovány ze softwaru Dlubal RFEM do programu Microsoft EXCEL, kde byly uspořádány a graficky zpracovány.

Vyhodnocení výsledků bylo rozděleno do 4 částí, avšak hodnoty v jednotlivých částech jsou vzájemně provázány.

Tato kapitola se věnuje pouze grafickému porovnávání výsledků. Kompletní průběhy porovnávaných veličin jsou uvedeny v příloze P3.1. Statický výpočet – srovnávací modely, kap. 3. Kombinace a vnitřní síly, str. 5.



#### 4.1. Ohybové momenty $m_x$

Ohybové momenty  $m_x$  jsou momenty v podélné ose desky.

- **Poloha na řezu 0 m**

Tato poloha odpovídá rohu desky uloženému na obvodovém zdivu. Z níže uvedeného grafu je zřejmé, že hodnoty v krajním bodě desky jsou velmi blízké nule a jsou u všech třech modelů téměř shodné.

- **Poloha na řezu 0 – 1 m**

Mezi body 0 a 1 je již možné pozorovat větší odchylky. Zejména čára v grafu odpovídající ohybovým momentům  $m_x$  na modelu 2 se výrazně odchyluje od čar modelů 2 a 3. Tato odchylka je pravděpodobně způsobena efektem částečného vetknutí u modelu 3 a zamezením zvedání rohu u modelu 1 díky pevné kloubové podpoře přenášející tahové reakce.

- **Poloha na řezu 6 m**

Kolem bodu 6 se nachází kladné maximum ohybového momentu  $m_x$ . Hodnoty na modelech 1 a 2 jsou téměř shodné a od momentu na modelu 3 se liší jen o několik jednotek kNm. Rozdíl je na stranu bezpečnou (oproti nejrealističtějšímu modelu 3) a v procentuálním vyjádření činí asi 9 %.

- **Poloha na řezu za 9 m**

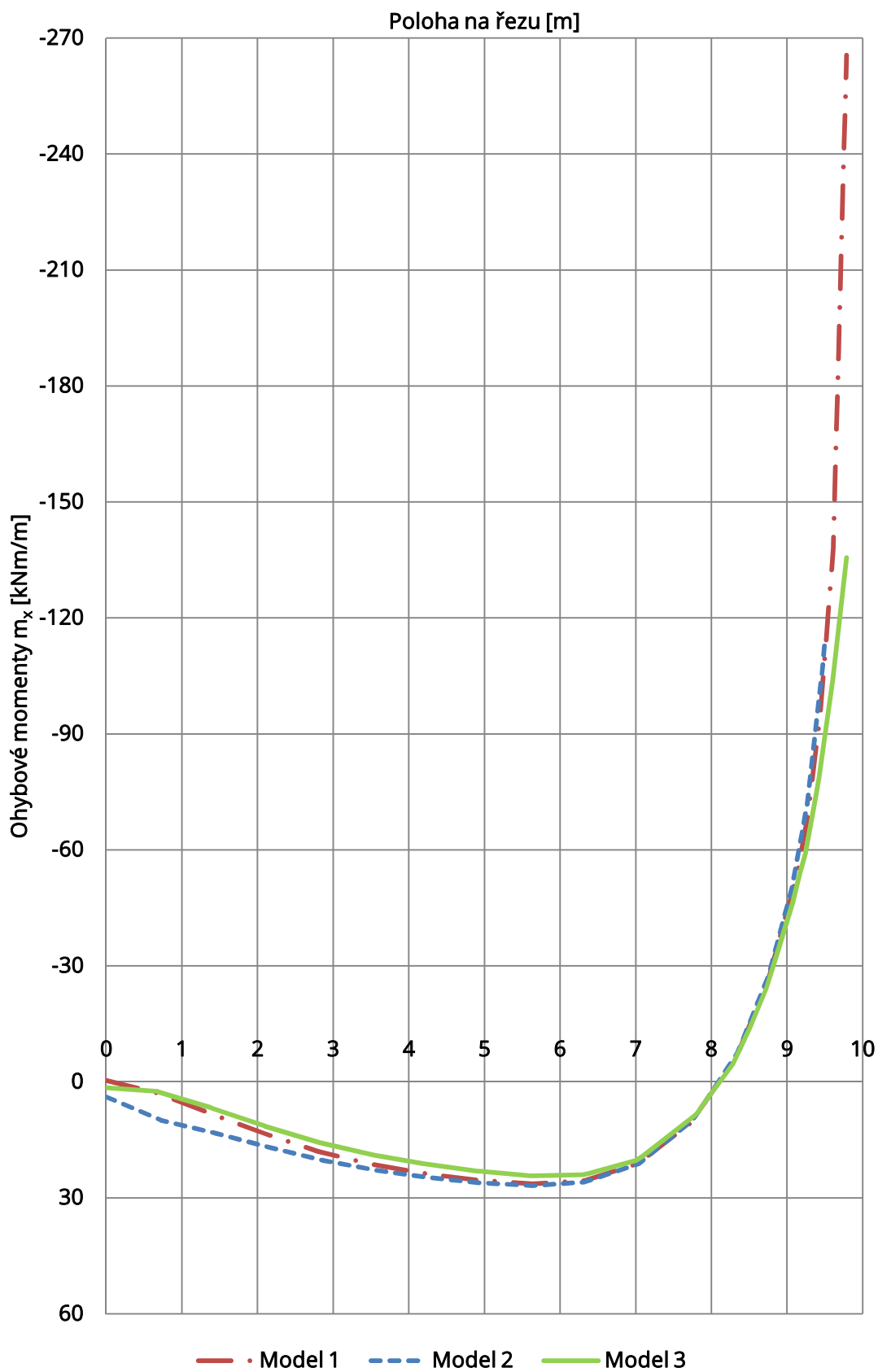
Osa podporového sloupu se nachází v řezu ve vzdálenosti 9,785 m. V tomto bodě se nachází maximum pro model 1 a je výrazně výše než je tomu u modelu 2 a 3. Kdybychom zahušťovali síť konečných prvků k bodu podepření tak, že by se délka prvku blížila k nule, velikost nadpodporového momentu by konvergovala k nekonečnu. Z tohoto důvodu by bylo nejspíše výhodnější hodnoty za hranou sloupu neuvažovat. Koneckonců u druhého modelu tyto hodnoty nejsou vůbec definovány. U modelu číslo 3 je situace okolo nadpodporových momentů podobná, avšak jejich velikost je podstatně rozumnější.

Z maximálních nadpodporových momentů není žádoucí dělat nějaké závěry, neboť se jedná o silně lokální extrém.

Dimenzování se provádí na průměrnou hodnotu momentu na ploše v rozumné vzdálenosti kolem sloupu, a proto jsou tyto hodnoty spíše orientační.



### Ohybové momenty $m_x$ [kNm/m]





## 4.2. Ohybové momenty $m_y$

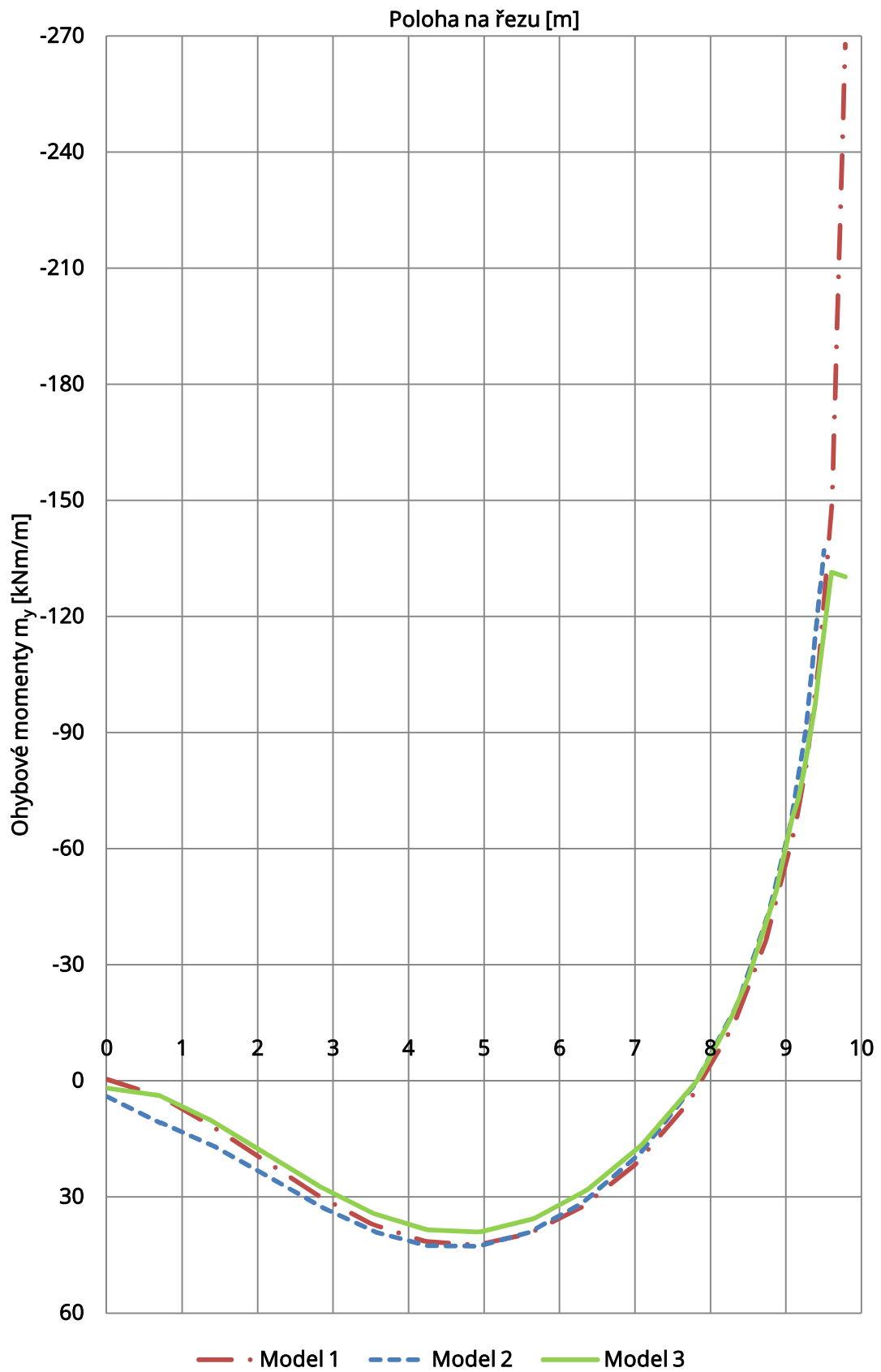
Ohybové momenty  $m_y$  jsou momenty v příčné ose desky. Průběhem se liší od podélných ohybových momentů  $m_x$  jen nepatrně, a proto lze hodnocení z předchozí kapitoly analogicky převzít.

Jediný významnější rozdíl je v poloze a hodnotě kladného maxima, které se posunulo více do středu řezu (nyní kolem bodu 5) a jehož hodnota je větší. Rozdíl víceméně shodných hodnot u 2D modelů a hodnot vypočítaných na 3D modelu, je stejně jako v předchozím případě v řádu několika málo kNm a v procentuálním vyjádření se opět jedná zhruba o 9 %.

Větší hodnota ohybového momentu  $m_y$  než  $m_x$  znamená, že deska přenáší více zatížení v příčném směru, a proto bude výztuž v příčném směru umístěna blíže k povrchu, čímž dojde ke zvětšení účinné výšky průřezu v tomto směru.



### Ohybové momenty $m_y$ [kNm/m]



### 4.3. Krouticí momenty $m_{xy}$

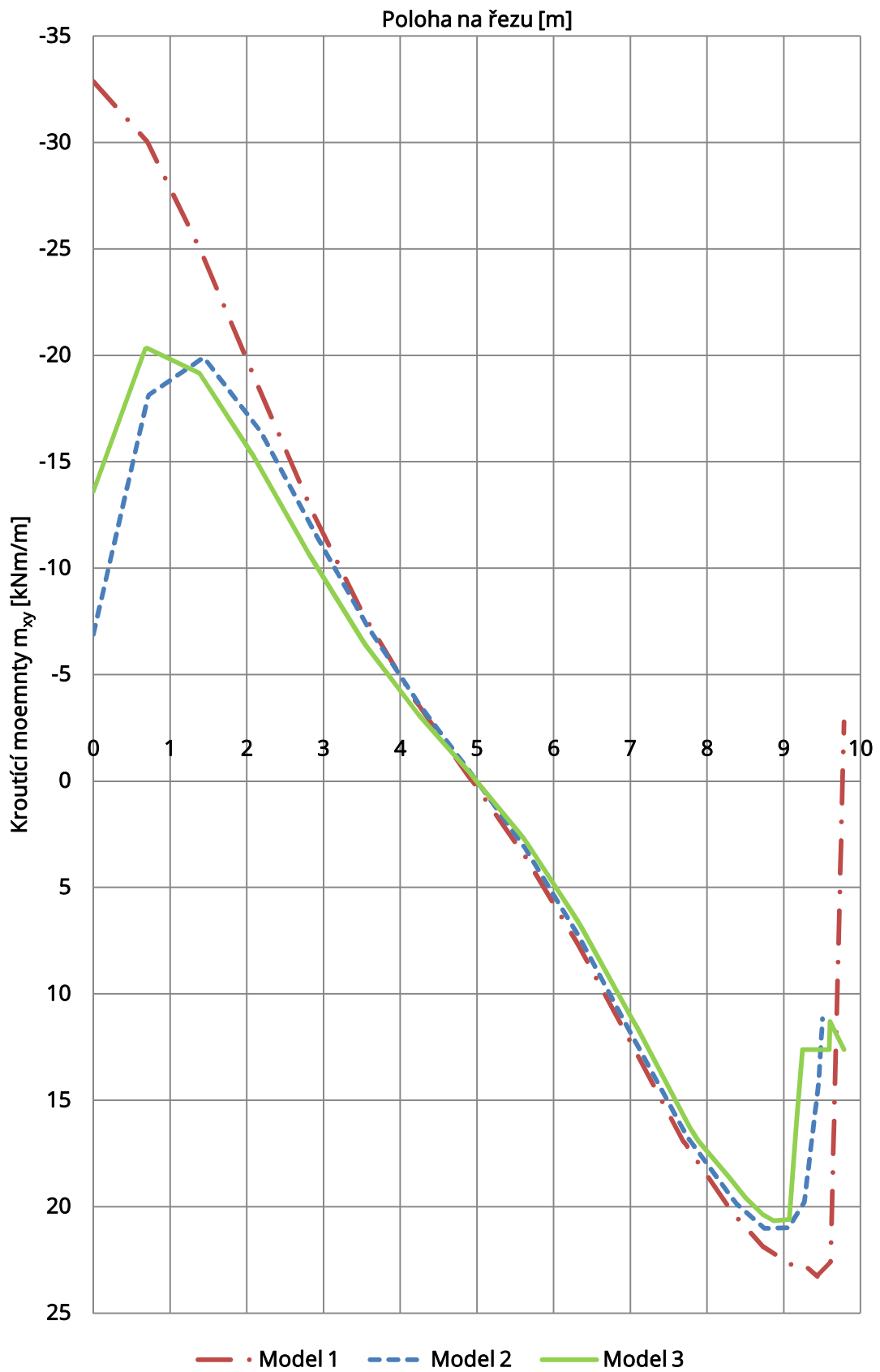
Kdyby nebylo zamezeno nadzvedávání rohů stropní desky, byly by krouticí momenty v rozích nulové. Ale čím více je zamezeno zvedání rohu desky, ať už vlivem tíhy horních podlaží nebo vlivem uložení (ztužující věnce místo prostého uložení), tím větší jsou i krouticí momenty v rozích desky. Přesně tento jev sleduje křivka grafu odpovídající průběhu na modelu 1. Prosté liniové kloubové podepření okrajů desky zamezí zvedání rohu poměrně velkou tahovou reakcí, což má za příčinu onen velký nárůst krouticích momentů.

Z křivek pro modely 2 a 3 je jasné, že uvolnění tahové reakce, respektive vyloučení tahového napětí ve zdivu, významně sníží tyto krouticí momenty. Za zmínku stojí rozdíl na začátku řezu, který je způsoben rozdílným přitížením okrajů desky. Proto konzervativní hodnota přitížení od horního podlaží v modelu 2 vede k poněkud podhodnoceným krouticím momentům oproti více realističtějšímu modelu 3.

Rozdílné hodnoty na konci řezu (u sloupové podpory) jsou opět způsobeny tím, že na modelu 1 je podpora brána jako bod, zatímco v modelech 2 a 3 je sloupová podpora brána jako podporující plocha.



Krouticí momenty  $m_{xy}$  [kNm/m]



#### 4.4. Pružná deformace Uz

Jedná se o průběh deformací přímo získaný z programu Dlubal RFEM. Tento průhyb je počítán softwarem pomocí deskové tuhosti, tudíž v něm není zahrnuto, zda dojde nebo nedojde k potrhání průřezu, ani zde není zohledněno množství použité výztuže. Z tohoto důvodu se jedná spíše o hodnoty orientační, které nám poslouží pro zjednodušené posouzení.

Vzhledem k tomu, že u modelu 2 a 3 dojde ke stlačení podpor, respektive zdíva, vlivem zatížení, bylo nutné toto stlačení odečíst, aby bylo možné porovnávat deformace s modelem 1. Toho bylo docíleno proložením roviny bodem konce řezu a kolmými průměty tohoto bodu do obvodového zdíva. Tím vznikla srovnávací rovina, která umožnila adekvátní srovnání deformací.

- **Poloha na řezu 0 m**

Pružná deformace u modelu 1 v tomto bodě řezu je rovna nule, což je očekávaná hodnota způsobena uložením desky v tomto modelu.

U modelu 2 a 3 již došlo k nadzvednutí rohu desky o několik desetin milimetru. Opět je zde viditelný rozdíl mezi těmito dvěma modely, který je způsobený již několikrát zmíněným rozdílným přetížením.

- **Poloha na řezu 0 – 1 m**

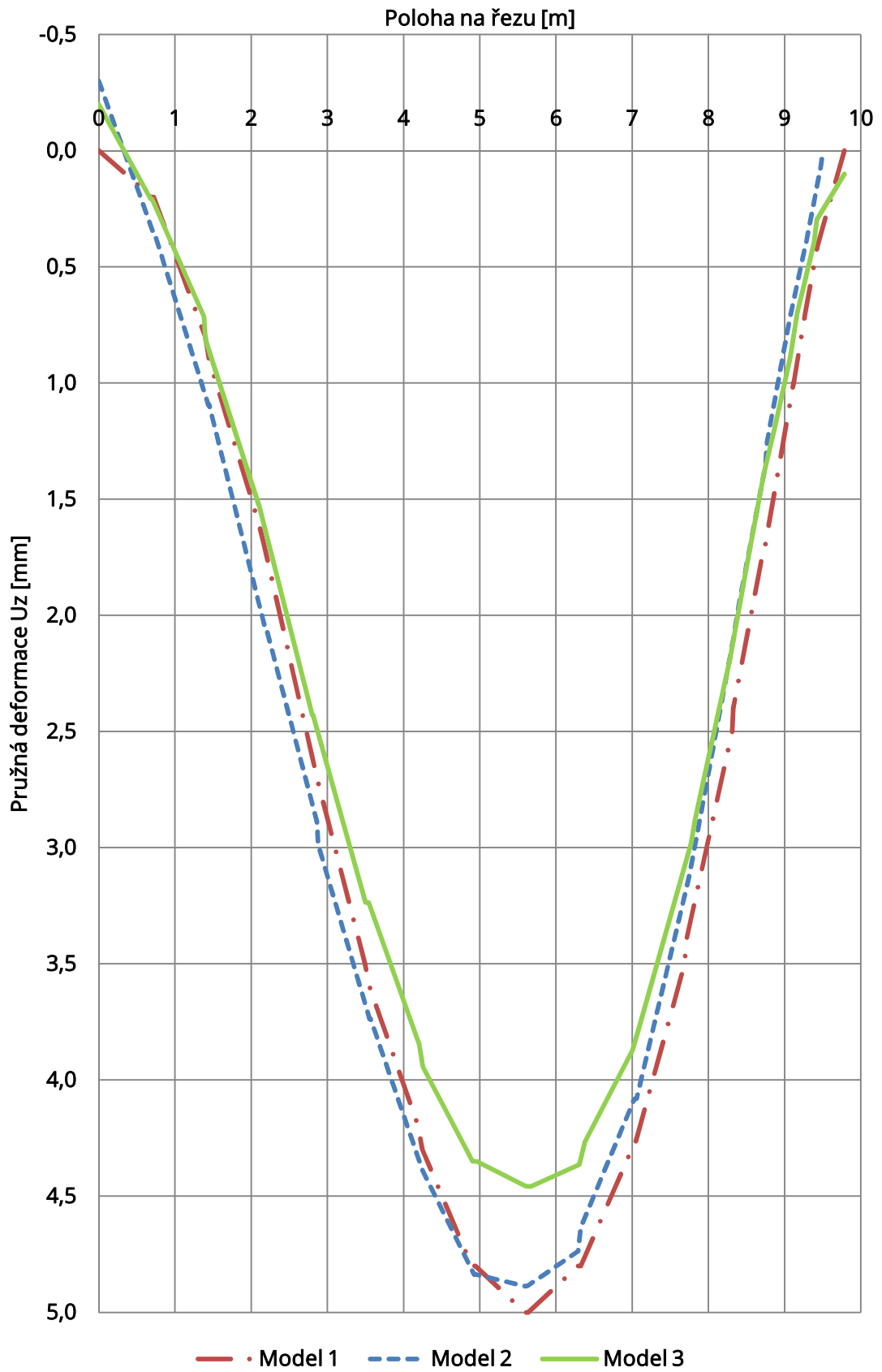
V této oblasti je dobře patrný rozdíl mezi průběhem u modelu 2 a průběhy u modelů 1 a 3. Je zřejmé, že křivka odpovídající modelu 3 se přimyká ke křivce modelu 1, což je způsobeno částečným vetknutím u třetího modelu díky přetížení od horního podlaží. Tento jev je podobný působení kloubového podepření rohu desky.

- **Poloha na řezu 5 – 6 m**

Maximální deformace v těchto bodech odpovídá průběhu ohybových momentů  $m_x$  a  $m_y$ . Přičemž i procentuální rozdíl mezi hodnotami na modelu 3 a hodnotami na modelech 1 a 2 je podobný a činí kolem 10 %.



### Pružná deformace Uz [mm]







#### 4.5. Závěr vyhodnocení

Z výše uvedených skutečností vyplývá, že použití prostorového modelu je výhodnější nejen z hlediska přesnosti, tím pádem i bezpečnosti, ale především ekonomie stavby. Z hlediska obtížnosti modelování složitějších konstrukcí, již v dnešní době není o tolik náročnější sestavovat kompletní 3D model, než sestavování modelů pouhých částí konstrukce. Nehledě na výše zmíněné výhody.

Mezi nevýhody by mohlo patřit větší množství vstupních údajů, jako jsou okrajové podmínky, vlastnosti materiálů, tvary prvků a styčniců, atd. S tím ovšem souvisí i větší množství výstupních dat, která mohou být užitečná.

Na základě těchto informací byl vybrán model 3, z kterého byla použita data pro návrh, dimenzování a posouzení prvků v příloze P3.2. Statický výpočet – model 3.

## 5. POSTUP STATICKÉHO VÝPOČTU

Na základě výstupů z modelu 3 byly dimenzovány a posouzeny následující prvky.

### 5.1. Deska

Na začátku statického řešení byl proveden odhad průměru betonářské výztuže, následný výpočet krytí výztuže a účinné výšky průřezu v obou směrech.

Dalším krokem bylo posouzení únosnosti základní sítě výztuže určené pomocí minimálního stupně vyztužení a následné dimenzování oblastí s nutným lokálním dovyztužením. Vše bylo provedeno pro výztuž u obou povrchů desky v obou směrech. Z důvodu redistribuce ohybových momentů z míst nad podporou do polí, byla ponechána rezerva únosnosti v poli zhruba 15 %.

Následně byl proveden návrh a posouzení smykové výztuže proti protlačení sloupů a výztuže proti řetězovému zřícení.

Na závěr bylo nutné posoudit desku na MSP průhyb. To bylo provedeno přepočtem pružné deformace  $u_z$  ze softwaru Dlubal RFEM. Nejprve byl posouzen vznik trhlin z časté kombinace zatížení, poté byla určena tuhost potrhaného i nepotrhaného průřezu a z těchto tuhostí se pomocí rozdělovacího součinitele určila výsledná krátkodobá a dlouhodobá tuhost průřezu. Celkový průhyb byl přepočítán z pružné deformace od kvazistálého zatížení pomocí poměru deskové tuhosti a výsledné tuhosti průřezu v obou směrech.

### 5.2. Sloup

Materiál, vliv prostředí i krytí je stejné jako u desky, proto byly tyto hodnoty převzaty. Opět byla určena minimální plocha výztuže a účinná výška průřezu.

Přestože sloup vyhověl na posouzení štíhlosti a nebylo nutné uvažovat účinky II. řádu, byly tyto účinky zavedeny. Následně byl sestaven interakční diagram pomocí charakteristických bodů v předpokládané oblasti využití, pomocí kterého byly posouzeny návrhové kombinace zatížení.

Jelikož se jedná o sloup čtvercového průřezu, který je symetricky vyztužený, nebylo nutné posuzovat sloup v obou směrech.



### 5.3. Překlad

S ohledem na tvar a polohu překladu byl překlad modelován jako nesymetrické žebro stropní desky a s tímto ohledem byl také navržen a posouzen. Účinná šířka průřezu byla převzata z výpočetního softwaru.

Nejprve byl proveden návrh dolní výztuže. Ten byl vytvořen pomocí vzorce pro početně nutnou výztuž, do kterého byl vložen maximální ohybový moment z kombinací zatížení. Součástí návrhu dolní výztuže bylo ověření předpokladu, že tlačená oblast zůstává v desce. Předpoklad byl bezpečně splněn.

Přestože se jedná o překlad uložený jako prostý nosník, projevil se zde vliv dispozičního uspořádání vnitřní řady sloupů, které vyvolalo nezanedbatelné ohybové momenty i u horního povrchu prvku. Na tyto momenty byla dimenzována výztuž obdobným způsobem jako u výztuže dolní.

Dále bylo provedeno posouzení prvku na smyk a následně navržena smyková výztuž. Posouvající síly neměly klasický průběh jako na prostém nosníku, ale opět vlivem vnitřní řady sloupů vznikly velké posouvající síly i uprostřed rozpětí překladu. Ty byly zachyceny zahuštěním sítě třmínků.

### 5.4. Ostatní

Na závěr statického řešení byl ještě proveden výpočet kotevních a stykovacích délek výztuže pro všechny průměry prutů v konstrukci.

## 6. ZÁVĚR

Z globálního hlediska se mohou zdát výsledky ze třech různých modelů velmi podobné, přesto je zapotřebí se soustředit na lokální oblasti, kde se mohou vyskytovat podstatné rozdíly. Proto bychom měli klást velký důraz na to, jak modelujeme okrajové podmínky a jaké jsou na reálné konstrukci. Při prostém uložení desky na zdivu hrálo podstatnou roli vyloučení tahové pevnosti zdiva u prostorového modelu. Stejně tak je důležité zohlednit ztužující věnce, což by vedlo k odlišnému modelování oproti prostému uložení. Všechny tyto skutečnosti ovšem zdaleka neplatí jen pro deskové konstrukce, ale je nutné je zohlednit při všech typech inženýrských úloh. Moderní výpočetní programy nám zajisté usnadňují práci, ale měli bychom s nimi pracovat se zvýšenou opatrností.

Z porovnání výsledků na třech modelech byl vybrán model 3, na základě něhož byl proveden návrh a posouzení stropní desky na MSÚ a MSP. Dalšími prvky posuzovanými podle MSÚ jsou překlad a sloup. Této části je věnována celá příloha P3.2. Statický výpočet – model 3.

Součástí stejné přílohy je porovnání hodnot z 3D modelu s ručním výpočtem pomocí metody náhradních rámců. Slovo ruční výpočet nelze brát zcela doslovně, neboť vnitřní síly na náhradním rámu byly spočítány pomocí softwaru. Porovnání ukázalo, že metoda náhradních rámců nadhodnocuje působení ve sloupových polích a naopak podhodnocuje působení mezisloupových polí. Tyto výsledky lze považovat za uspokojivé.

Dále byla vypracována výkresová dokumentace, která je součástí přílohy P2. Výkresy tvaru a výztuže.



## 7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991: Zatížení konstrukcí (část 1-1, 1-3 až 1-7)

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla  
a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1996-1-1: Navrhování zděných konstrukcí. Obecná pravidla pro  
vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce

ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb

<http://www.schoeck-wittek.cz>

## 8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

|               |  |
|---------------|--|
| $A_c$         | průřezová plocha betonu                      |
| $A_s$         | průřezová plocha výztuže                     |
| $b$           | šířka průřezu                                |
| $d$           | účinná výška průřezu                         |
| $E_{c,eff}$   | efektivní modul pružnosti betonu             |
| $E_{cm}$      | sečnový modul pružnosti betonu               |
| $E_s$         | modul pružnosti výztuže                      |
| $f_{cd}$      | návrhová pevnost betonu v tlaku              |
| $f_{ck}$      | charakteristická pevnost betonu v tlaku      |
| $f_{ctm}$     | pevnost betonu v tahu                        |
| $f_{yd}$      | návrhová mez kluzu výztuže                   |
| $f_{yk}$      | charakteristická mez kluzu výztuže           |
| $G_k$         | charakteristická hodnota stálého zatížení    |
| $h$           | výška průřezu                                |
| $I$           | moment setrvačnosti průřezu                  |
| KZ            | kombinace zatížení                           |
| M             | ohybový moment                               |
| MSP           | mezní stav použitelnosti                     |
| MSÚ           | mezní stav únosnosti                         |
| $m_x, m_y$    | měrné ohybové momenty                        |
| $m_{xy}$      | měrný krouticí moment                        |
| N             | normálová síla                               |
| n.o.          | neutrálná osa                                |
| $Q_k$         | charakteristická hodnota proměnného zatížení |
| V             | posouvající síla                             |
| x             | poloha neutrálné osy                         |
| z             | rameno vnitřních sil                         |
| ZS            | zatěžovací stav                              |
| $\gamma$      | součinitel materiálu                         |
| $\gamma_g$    | součinitel stálého zatížení                  |
| $\gamma_q$    | součinitel proměnného zatížení               |
| $\varepsilon$ | poměrné přetvoření                           |
| $\xi$         | rozdělovací součinitel                       |
| $\rho$        | stupeň vyztužení                             |
| $\varphi$     | průměr                                       |
| $\phi$        | součinitel dotvarování                       |



## 9. SEZNAM PŘÍLOH

### P1. Použité podklady

P1.1. Půdorys 1NP

P1.2. Půdorys 2NP

P1.3. Půdorys 3NP

P1.4. Řezy

### P2. Výkresy tvaru a výztuže

P2.1. Výkres tvaru

P2.2. Překlad

P2.3. Dolní výztuž nad 1NP

P2.4. Horní výztuž nad 1NP

P2.5. Výztuž smyková a proti řetězovému zřícení

P2.6. Sloup

P2.7. Specifikace čerstvého betonu

### P3. Statický výpočet

P3.1. Statický výpočet – srovnávací modely

P3.2. Statický výpočet – model 3