

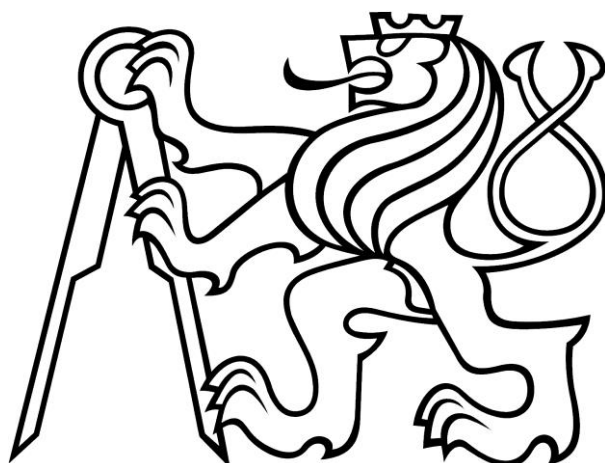
Bytový dům Malvazinky

---

# Statický výpočet

---

Bakalářská práce (veřejná verze)



Vypracoval: David Strobl

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Hana Hanzlová, CSc.

**Letní semestr 2016**

## Abstrakt:

Tématem této práce je statický návrh bytového domu Malvazinky v Praze. Cílem práce je předběžný návrh nosných prvků objektu, podrobný návrh trámů vzniklé z dané dispozice a výkresy tvaru a výztuže jednoho daného trámu. Prvky jsou posuzovány jak na mezní stav únosnosti, tak i na mezní stav použitelnosti. K tomuto účelu byl vytvořen výpočetní program, který je také součástí této práce.

## Abstract:

The theme of this work is the static design of residential house Malvazinky in Prague. The aim of this work is preliminary structural design, detailed design beams arising from the disposition and shape drawing and reinforcement of one of the beam. The elements are evaluated as to the ultimate limit states as well as to limit states. For this purpose it was developed computer program, which is also part of this work.

## Klíčová slova/Key words:

železobetonová konstrukce	reinforced concrete structure
předběžný statický návrh	preliminary structural design
výkres tvaru a výztuže	shape and reinforcement drawing
mezní stav použitelnosti	serviceability limit state

## Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Hany Hanzlové, CSc., a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

I declare that I worked out the presented thesis independently under the tutelage of Ing. Hana Hanzlová, CSc. and I quoted all used sources of information in accord with Methodical instructions about ethical principles for writing academic thesis.

V Praze (in Prague), 21.5.2016

.....

David Strobl

## OBSAH (ZKRÁCENÉ VERZE)

1.	Podklady od architekta.....	1
2.	Hlavní nosný systém.....	2
3.	Předběžný návrh.....	6
3.3.	Předběžný návrh stropní konstrukce .....	6
3.3.1.	Empirický návrh .....	6
3.3.2.	Výpočet dle kritéria ohybové štíhlosti.....	6
3.4.	Zatížení .....	7
3.4.1.	Stropní deska běžného podlaží (desky 2 – 5) .....	7
3.5.	Předběžný návrh sloupů.....	8
3.7.	Koncepční návrh schodiště.....	9
3.8.	Uložení balkónů.....	9
4.	Hledání vhodného modelu .....	9
4.1.	Trám P2.....	9
4.1.1.	Prostorový model .....	9
4.1.2.	Rovinný model.....	11
4.1.3.	Zjednodušený rovinný model .....	11
4.1.5.	Model vhodný pro dimenzování (trám P2) .....	11
5.	Statický výpočet.....	12
5.1.	Mezní stav únosnosti (MSÚ).....	12
5.2.	Mezní stav použitelnosti (MSP).....	12
5.3.	Program na výpočet MSP .....	13
5.3.1.	Teoretická část k výpočtu MSP .....	13
5.4.	Návrh trámu P2 .....	13
5.5.	Návrh trámu P1 (potlačená šířka).....	14
5.7.	Návrh trámu P1 (optimální).....	14
6.	Parametrická studie průhybu silně vyztuženého nosníku.....	14

7. Závěr .....	15
8. Použité zdroje .....	16
9. Přílohy .....	17

# TOTO JE ZKRÁCENÁ VERZE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## 1. Podklady od architekta

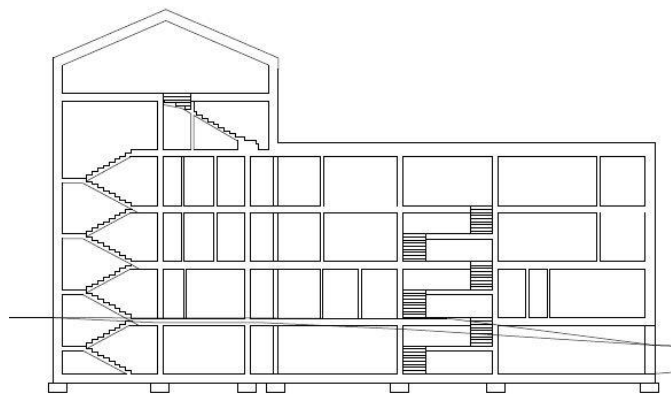
Architektonický návrh na bytový dům Malvazinky provedla Bc. Kateřina Součková v rámci výuky v předmětu Atelier architektonické tvorby 1 na fakultě stavební oboru Architektura a stavitelství. Tato budova by měla být postavena v Praze v části Malvazinky mezi ulicemi Na Pláni a K Vodojemu na parcele č. 1594/7 dle katastrální mapy.



**Obr.1.1. Vizualizace (SV-pohled)**



**Obr.1.3. Vizualizace (S-pohled)**

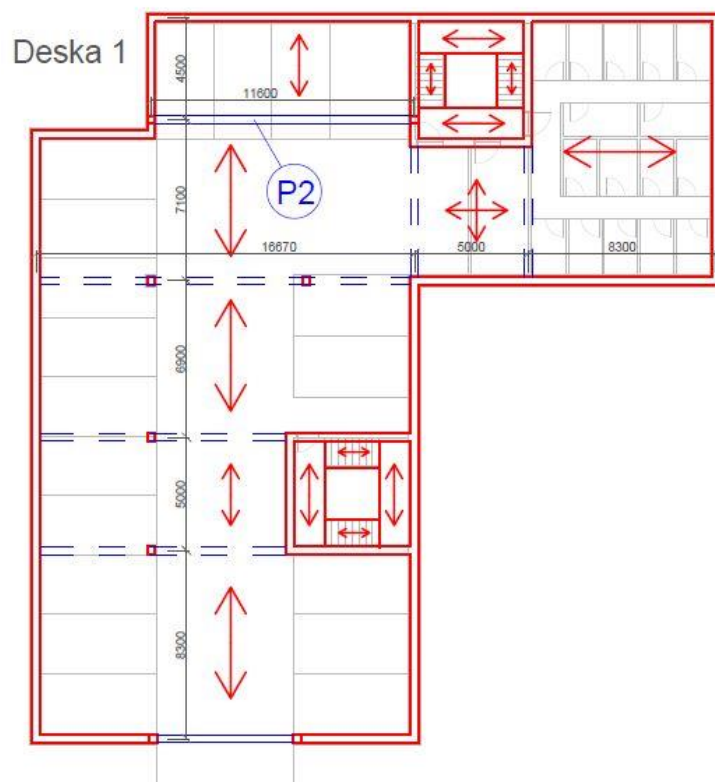


**Obr.1.2. Řez všemi podlažimi**

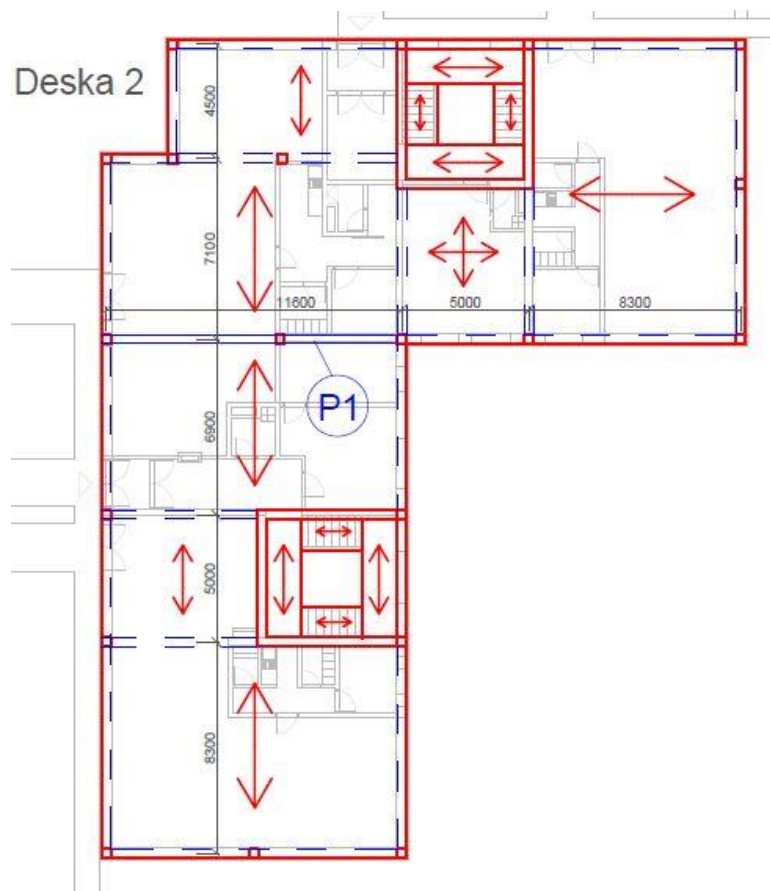
Bytový dům je navržen jako šesti podlažní, z nichž je jedno podlaží suterénní (1.PP) většího půdorysu, další čtyři nadzemní podlaží (1.NP, 2.NP, 3.NP, 4.NP) jsou menšího půdorysu a nejvyšší dvě podlaží (5.NP, 6.NP) jsou nejmenších půdorysných rozměrů. V 1. podzemním podlaží (1.PP) je umístěno 19 parkovacích míst a prostor pro sklepy. V 1. nadzemním podlaží (1.NP) je prostor pro obchody a jiné služby. Jsou zde také speciální vchody z ulice a velká prosklená okna (výlohy). Další dvě podlaží (2.NP a 3.NP) jsou půdorysně totožná a je zde umístěno 6 bytových jednotek v každém patře. Nad 3. nadzemním podlažím je z části umístěna plochá střecha a z části pokračuje obytná část domu třemi mezonetovými byty přes podlaží 5 a 6. (5.NP a 6.NP). Nad 6. nadzemním podlažím je sedlová železobetonová střecha. Celým objektem prochází též dvě schodiště, které tvoří jádro budovy. Maximální rozměry budovy jsou 32,5 m a 30,5 m.

## 2. Hlavní nosný systém

Nosný systém je navržen jako železobetonová monolitická lokálně podepřená deska, která je na určitých místech vhodně vylehčena. Svislou nosnou konstrukci tvoří monolitické železobetonové sloupy a stěny ztužujícího jádra, které zároveň tvoří podpory pro nosné prvky schodiště. Deska je v pruzích spojujících sloupy nevylehčena, takže tvoří skryté průvlaky, mezi které je stropní konstrukce pnutá. V budově jsou dále umístěny dva trámy větších rozměrů (P1 a P2), které jsou dále posouzeny podrobněji. Sedlová střecha je tvořena šikmými trámy, mezi kterými je pnutá železobetonová deska.

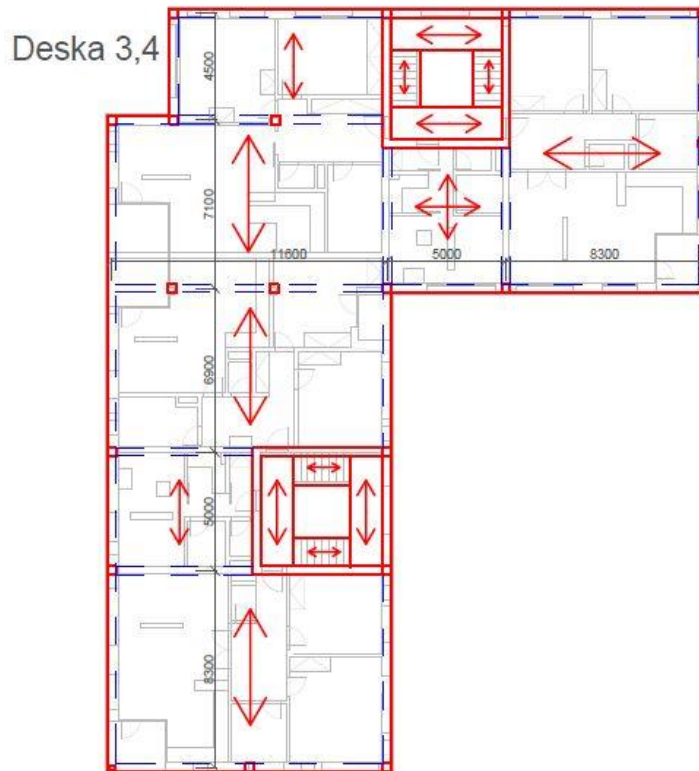


Obr. 2.1. Nosný systém: deska 1

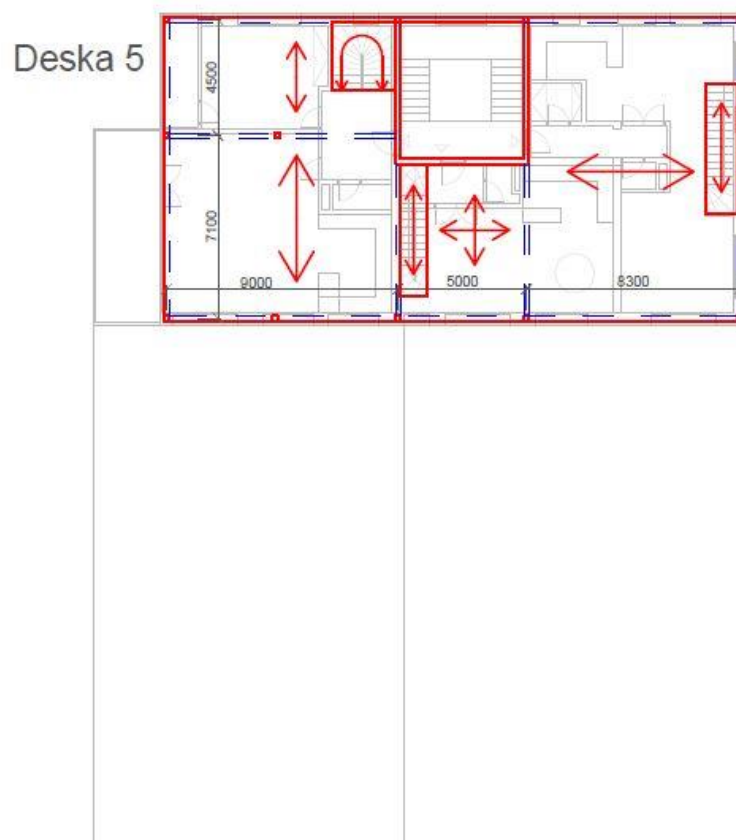


Obr. 2.2. Nosný systém: deska 2

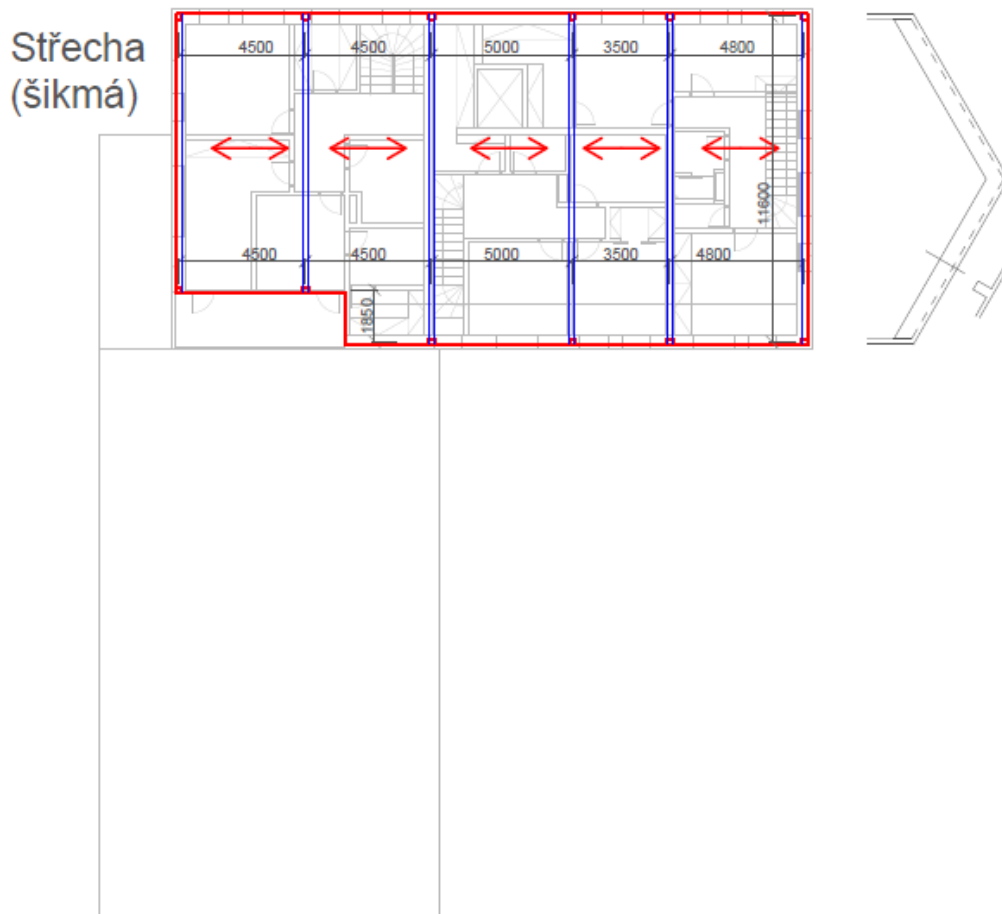




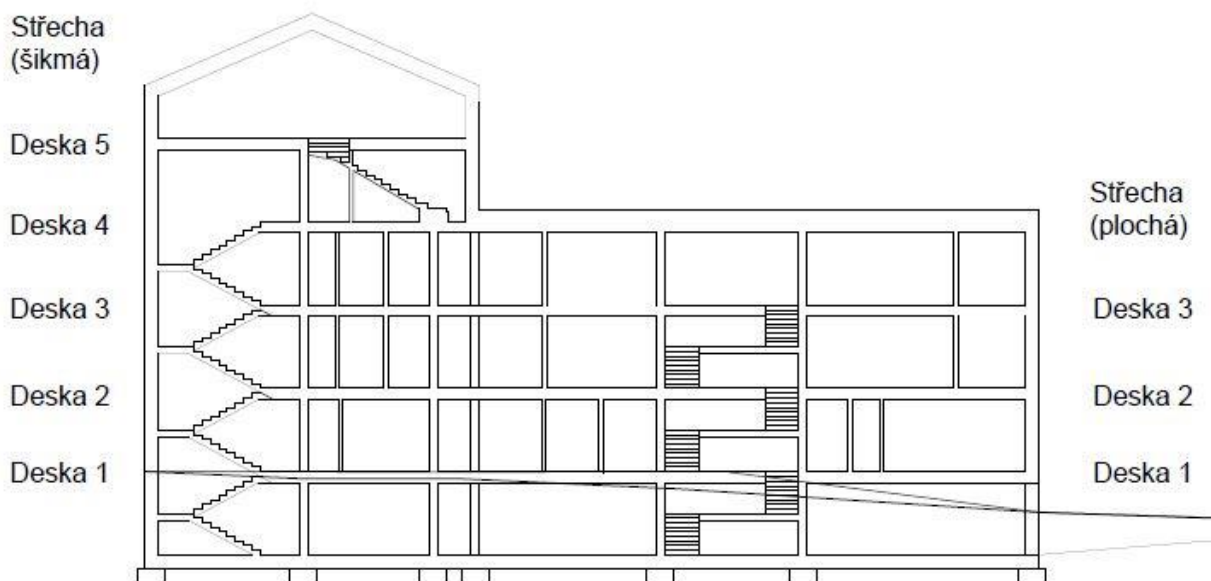
Obr. 2.3. Nosný systém: deska 3,4



Obr. 2.4. Nosný systém: deska 5



Obr. 2.5. Nosný systém: střecha (šikmá)



Obr. 2.6. Řez budovou

### 3. Předběžný návrh

#### 3.3. Předběžný návrh stropní konstrukce

##### 3.3.1. Empirický návrh

$$h_d \geq \frac{L_{max}}{33} = \frac{8300}{33} = 251 \text{ mm} + 10\% = 276 \text{ mm}$$

##### 3.3.2. Výpočet dle kritéria ohybové štíhlosti

$\chi_{c1} = 1,0$  (pro obdélníkový průřez)

$$\chi_{c2} = \frac{7}{L_{max}} = \frac{7}{8,3} = 0,84 \text{ (rozpětí větší jak 7 m)}$$

$\chi_{c3} = 1,3$  (odhad napětí tahové výztuže)

$\lambda_{d,tab} = 24,6$  (pro lokálně podepřenou desku,  $\rho = 0,5\%$ )

$$\lambda_d = \chi_{c1} \cdot \chi_{c2} \cdot \chi_{c3} \cdot \lambda_{d,tab} = 1,0 \cdot 0,84 \cdot 1,3 \cdot 24,6 = 26,86$$

$$\lambda = \frac{L_{max}}{d} \geq \lambda_d$$

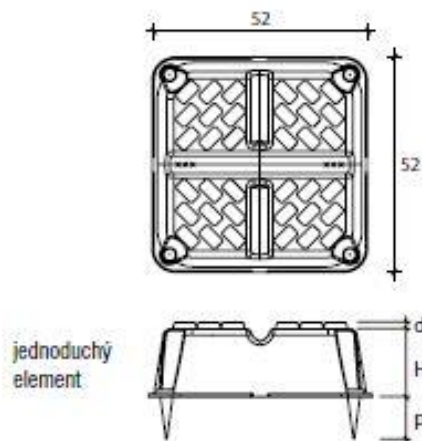
$$d \geq \frac{L_{max}}{\lambda_d} = \frac{8300}{26,86} = 309 \text{ (zaokrouhleno)}$$

tloušťka desky:

$$h_d = d + 0,5 \cdot \emptyset + c = 309 + 0,5 \cdot 16 + 30 = 346 \text{ mm}$$

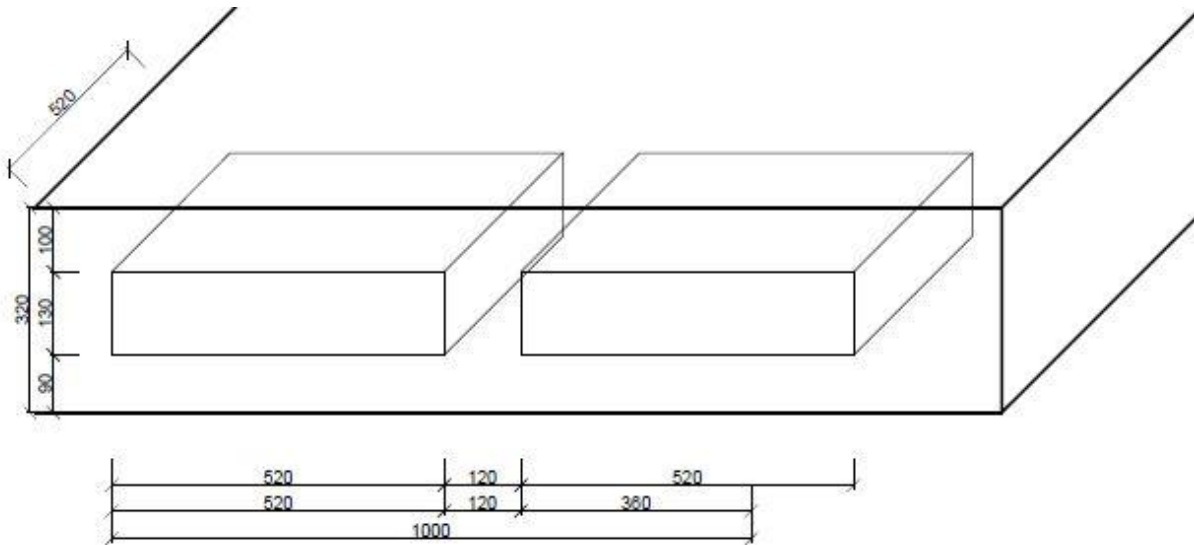
##### Návrh tloušťky desky: 320 mm (vylehčená U-BOOT systémem)

U-BOOT systém je ztracené bednění z recyklovaného polypropylénu, který se vkládá do bednění a slouží k vylehčení stropních a základových desek. V tomto případě je zvolena nejmenší nabízená možnost vylehčení s rozměry 520 x 520 mm a výškou 130 mm. Díky tomuto vylehčení je docílena menší hmotnost desky tam, kde je to žádoucí, naopak pruhy bez vylehčení budou fungovat jako průvlaky mezi sloupy a to vše za konstantní tloušťky desky.



Typ	UB	13
Půdorys	[mm]	520 x 520
Výška H	[mm]	130
Výška nožičky p	[mm]	90
Výška výstupku d	[mm]	8
Hmotnost kusu	[kg]	1,125

Obr. 3.1. Ztracené bednění U-BOOT systému



Obr. 3.2. Vylehčená stropní deska

### 3.4. Zatížení

Při výpočtu návrhových zatížení uvažují hodnoty dílčích součinitelů  $\gamma$  pro stálé působící nepříznivě  $\gamma = 1,35$  a pro proměnné zatížení hodnotou  $\gamma = 1,50$ .

#### 3.4.1. Stropní deska běžného podlaží (desky 2 – 5)

V těchto podlažích se nachází jednotlivé bytové jednotky, proto pro užité zatížení byla uvažována kategorie A čili plochy pro domácí a obytné činnosti.

STROPNÍ DESKA (desky 2 - 5)			charakteristické [KN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma$ [-]	návrhová [KN/m <sup>2</sup> ]
<b>Stálé</b>					
konstrukce podlahy	linoeum+lepidlo	0,0025*20=	0,05	1,35	0,07
	cementový potěr	0,035*23=	0,81	1,35	1,09
	izolace		0,05	1,35	0,07
omítka		0,015*20=	0,30	1,35	0,41
		Celkem	1,21		1,63
vlastní tíha desky			5,90	1,35	7,97
<b>Proměnné</b>					
užitné kategorie A			1,50	1,50	2,25
<b>Celkem</b>			<b>8,61</b>		<b>11,85</b>

vlastní tíha	5	1,35	6,75
<b>Proměnné</b>			
užitné kategorie H	0,75	1,50	1,13
<b>Celkem</b>	<b>7,40</b>		<b>10,10</b>

### 3.5. Předběžný návrh sloupů

Návrh bude proveden pro nejvíce zatížený vnitřní sloup S1 a sloup S2. Navržené rozměry sloupu S1 jsou uvažovány pro 1.PP a 1.NP. Sloupy S2 jsou umístěny ve všech dalších podlažích objektu. Na rohových balkónech jsou uvažovány sloupy z tenkostěnných ocelových profilů co nejméně zasahující do výhledu. Zatěžovací plochy v jednotlivých patrech jsou znázorněny na obr. 3.3-3.7. Výška sloupů odpovídá světlé výšce čili 2,68 m.

SLOUP S1			charakteristické	$\gamma$	návrhová
			[KN]	[-]	[KN]
<b>Stálé</b>					
vlastní tíha	0,35	0,35	8,21	1,35	11,08
<b>zatížení v patě sloupu:</b>					[KN]
stropní deska (deska 1)	17,10*6,6*5,8				654,59
stropní deska (deska 2)	11,85*6,6*5,8				453,62
stropní deska (deska 3)	11,85*6,6*4,54				355,07
stropní deska (deska 4)	11,85*3,15*4,54				169,47
stropní deska (deska 5)	11,85*3,15*4,54				169,47
střecha šikmá	10,10*4,98*3,65				183,59
střecha plochá	14,39*3,45*4,54				225,39
sloupy	6*11,08				66,48
příčky	1,37*(2*6,6*5,8+6,6*4,54+2*3,15*4,54)				185,12
plášť	9,52*2*4,54				86,44
<b>celkem</b>					<b>2549,24</b>

$$N_{Rd} = 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot \sigma_s \geq N_{Ed}$$

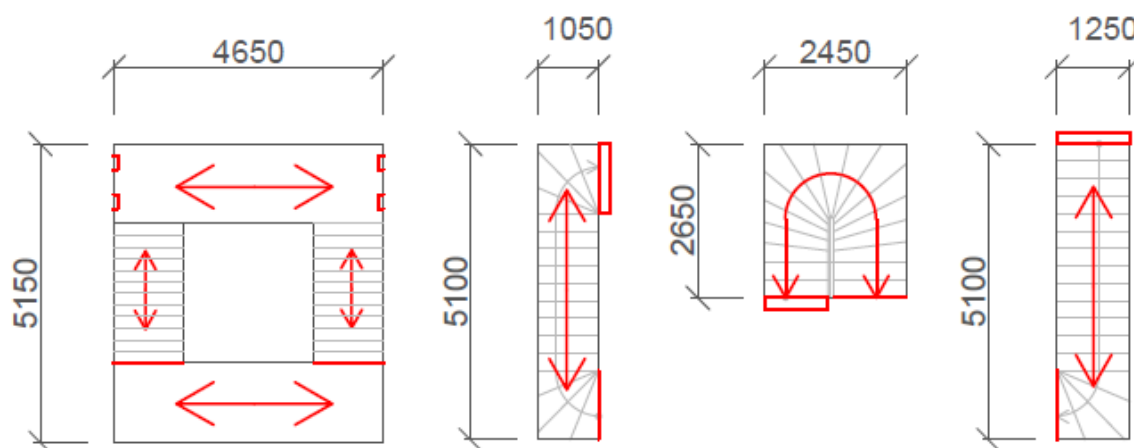
$$A_s = A_c \cdot \rho$$

$$\sigma_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{N_{Ed} - 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd}}{A_c \cdot \sigma_s} = \frac{2549240 - 0,8 \cdot 350 \cdot 350 \cdot 20}{350 \cdot 350 \cdot 400} = 0,012 \text{ (min. stupeň vyztužení)}$$

### 3.7. Koncepční návrh schodiště

V objektu se nachází dvě identická dvouramenná schodiště a tři menší schodiště v mezonetových bytech. Všechna schodiště jsou navržena jako monolitická překonávající konstrukční výšku 3 metry. U dvouramenných schodišť bude akustická neprozvučnost zajištěna zabetonováním mezipodesty do akustických prvků HALFEN HBB-O (boxy) a uložení schodišťových ramen na hlavní podestu přes prvek HALFEN HTT(vylamovací lišty). U třech menších schodišť bude kročejová izolace řešena uložení dolního líce ramene na prvek HALFEN HTF-B(pružná deska) a horní líc zabetonován přes prvek HALFEN HTT(vylamovací lišta) do stropní desky.



Obr. 3.8. Schéma schodišť

### 3.8. Uložení balkónů

V objektu se nachází celkem 8 balkónů různých půdorysných rozměrů.

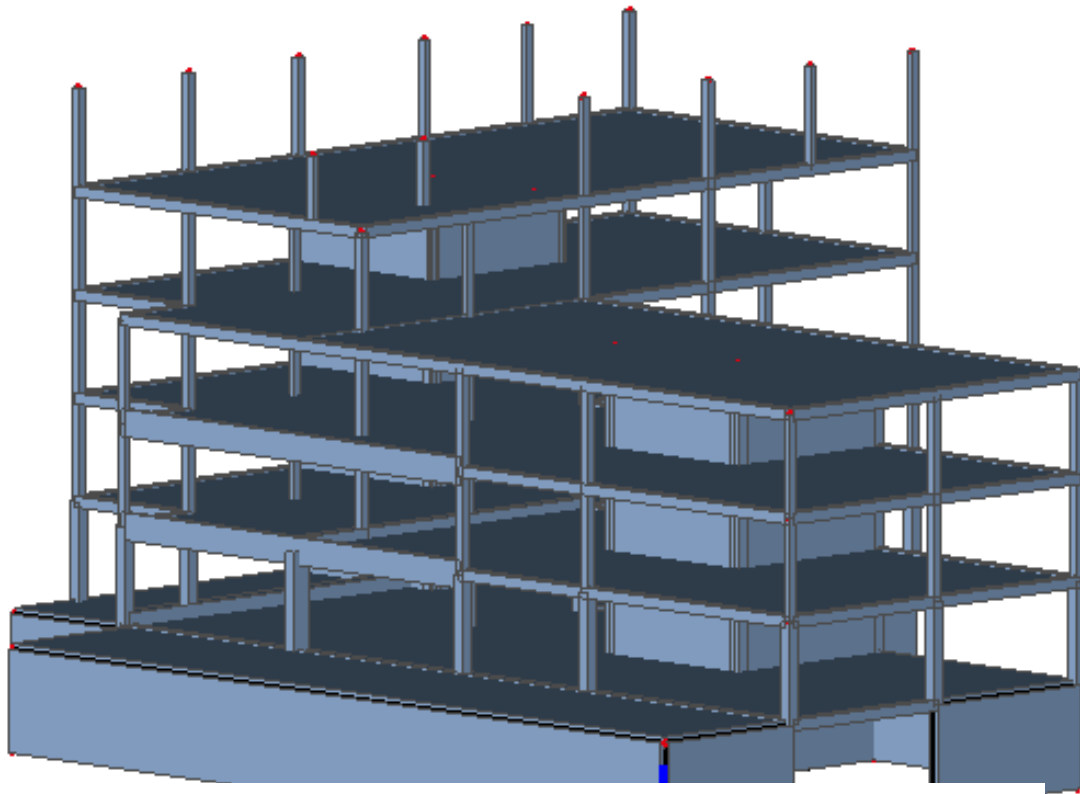
Ve 2.NP a 3.NP jsou umístěny rohové balkóny, na kterých jsou vzhledem k náročnosti vykonzolování umístěné sloupy. Tyto sloupy jsou navrženy jako ocelové tenkostěnné profily co možná nejmenších rozměrů. Pro zamezení vzniku tepelných mostů jsou mezi stropní deskou a deskou balkónů navrženy ISO nosníky. Deska balkónů je navržena rozdílné tloušťky než deska stropní a jejich rozdíl bude vyrovnávat tloušťku podlah.

## 4. Hledání vhodného modelu

### 4.1. Trám P2

#### 4.1.1. Prostorový model

Pro zjištění odpovídajících vnitřních sil trámů P1 a P2 byl vytvořen prostorový model. Desky byly modelovány o tloušťce 320 mm, sloupy v 1.PP a 1.NP o rozměrem 350/350 mm a sloupy v dalších podlaží (2.NP- 5.NP) o rozměrech 250/250 mm.

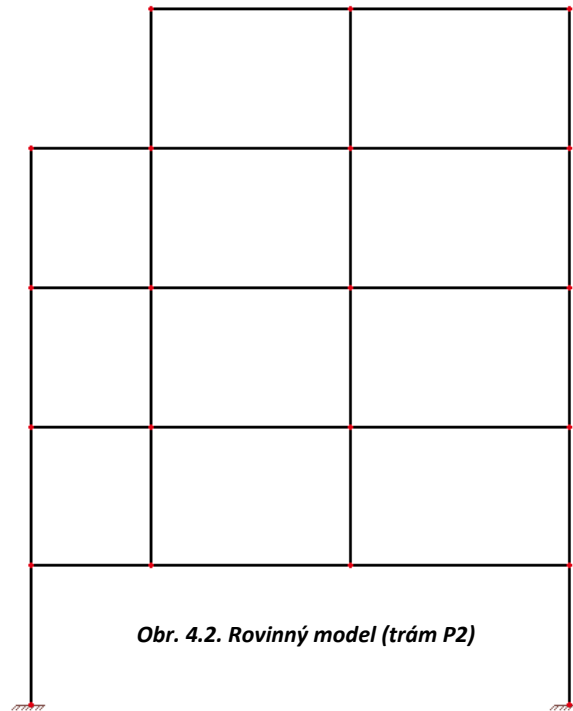


*Obr. 4.0. Prostorový model*

Cílem této kapitoly je ověřit výstupy z prostorového modelu. Pro srovnání byly vytvořeny i rovinné modely. Pro ověření věrohodnosti jednotlivých modelů byly porovnávány hodnoty návrhových ohybových momentů na vybraných nepříznivě namáhaných nosnících objektu a ostatní odpovídající vnitřní síly jsou uvedeny v dalších kapitolách.

#### 4.1.2. Rovinný model

Pro kontrolu byl ve stejném softwaru vymodelován rovinný model. Zatížení z plochy desek bylo na nosníky přerozděleno podle obecně platných zásad roznášení.



#### 4.1.3. Zjednodušený rovinný model

Rovinný model podle Obr. 4.2. by dával použitelné výsledky v případě, že by konstrukce působila jako tuhý celek. To ale neodpovídá reálnému způsobu provádění konstrukce. S ohledem na respektování postupu realizace objektu byl vytvořen další rovinný model konstrukce. Ten vznikl rozdělením rovinného modelu spodní rámu s trámem P2 a zbytkem rámu. Reakce z horní stavby byly do spodního rámu vloženy přes vnější zatížení. Tento model vystihuje maximální ohybové namáhání konstrukce.

#### 4.1.5. Model vhodný pro dimenzování (trám P2)

Vhodný model na dimenzování trámu P2 vznikl přidáním kloubů k hornímu líci rámu. Model se touto změnou přestal „vynášet“ přes horní patra rámu a více odpovídá realitě. Není však dokonalý a zřejmě nepovede k ekonomickým návrhům, nicméně pro účel dimenzovat průřez s více vrstvami výztuže je ideální.



## 5. Statický výpočet

### 5.1. Mezní stav únosnosti (MSÚ)

Pro posouzení mezního stavu únosnosti bylo třeba vypočítat návrhové hodnoty zatížení a z nich získat odpovídající vnitřní síly.

Typ zatížení	Dílčí souč. zatížení $\gamma$
Stálá	1,35
Proměnná	1,50

Kombinace zatížení následně odpovídá rovnici:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} Q_{k,i}$$

### 5.2. Mezní stav použitelnosti (MSP)

Mezi mezní stavy použitelnosti patří:

- mezní stav omezení napětí
- mezní stav vzniku a šířky trhlin
- mezní stav přetvoření

V této práci bude posuzováno omezení tlakového napětí v betonu, omezení napětí ve výztuži, vznik a šířka trhlin a výpočet průhybu. Při výpočtu mezních stavů použitelnosti se v této práci uplatňují následující kombinace zatížení:

- **charakteristická:** používá se převážně pro nevratné mezní stavy použitelnosti

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

- **kvazistálá:** používá se pro kontrolu mezních stavů použitelnosti týkajících se důsledků dlouhodobých účinků a vzhledu konstrukce

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

### 5.3. Program na výpočet MSP

Pro účely této práce byl vytvořen program na výpočet mezního stavu použitelnosti. Program byl vytvořen v softwaru Microsoft Office Excel 2010 a je též součástí této práce.

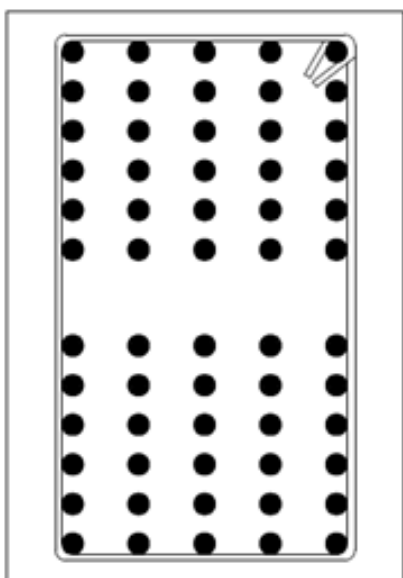
Program je vytvořen tak, že se postupně zadávají vstupní parametry, buď výběrem z rolovacího seznamu (např. druhy betonu) nebo zadáváte hodnoty číselně. Vstupní údaje se zapisují do modře zvýrazněných políček a do žlutých políček se zadávají závislé hodnoty. Tedy hodnoty, které je nutné odečíst z tabulky či z grafu.

#### 5.3.1. Teoretická část k výpočtu MSP

U železobetonových prvků, ve kterých vzniká tahová oblast, je velice důležité stanovit, zda v prvky vznikají trhliny či nikoliv. Trhliny nevznikají, dokud není překročen moment na mezi vzniku trhlin  $M_{cr}$ . Po vzniku prvních trhlin, dochází při poměrně malému nárůstu zatížení k rozvoji trhlin tzv. zvyšování počtu trhlin a rozevírání již stávajících.

### 5.4. Návrh trámu P2

Pomocí vytvořeného programu a softwarem na posouzení obdélníkového průřezu v mezním stavu únosnosti byl trám iteračním postupem navržen a posouzen. Byla nutná změna velikosti průřezu trámu a také je zde uvažován kvalitnější beton, než se předpokládalo v předběžném návrhu.



		VYZTUŽENÍ PRŮŘEZU	počet prutů	Ø [mm]
HORNÍ VYZTUŽ	1.řada		8	28
	2.řada		8	25
	3.řada		6	18
	4.řada		0	0
	5.řada		0	0
	6.řada		0	0
DOLNÍ VYZTUŽ	6.řada		0	0
	5.řada		0	0
	4.řada		6	20
	3.řada		8	25
	2.řada		8	28
	1.řada		8	28

## 5.5. Návrh trámu P1 (potlačená šířka)

Pomocí iteračního postupu byl i trám P1 navržen a posouzen na mezní stav únosnosti a použitelnosti. Trám byl navržen co možná nejužší s šířkou 350mm, výškou 850mm, nominální krycí vrstva se uvažuje 40 mm s třmínky profilu 12mm. Beton je zde uvažován C35/45, betonářská výztuž standardní B500 B a je zde uvažováno odbednění po 28 dnech.

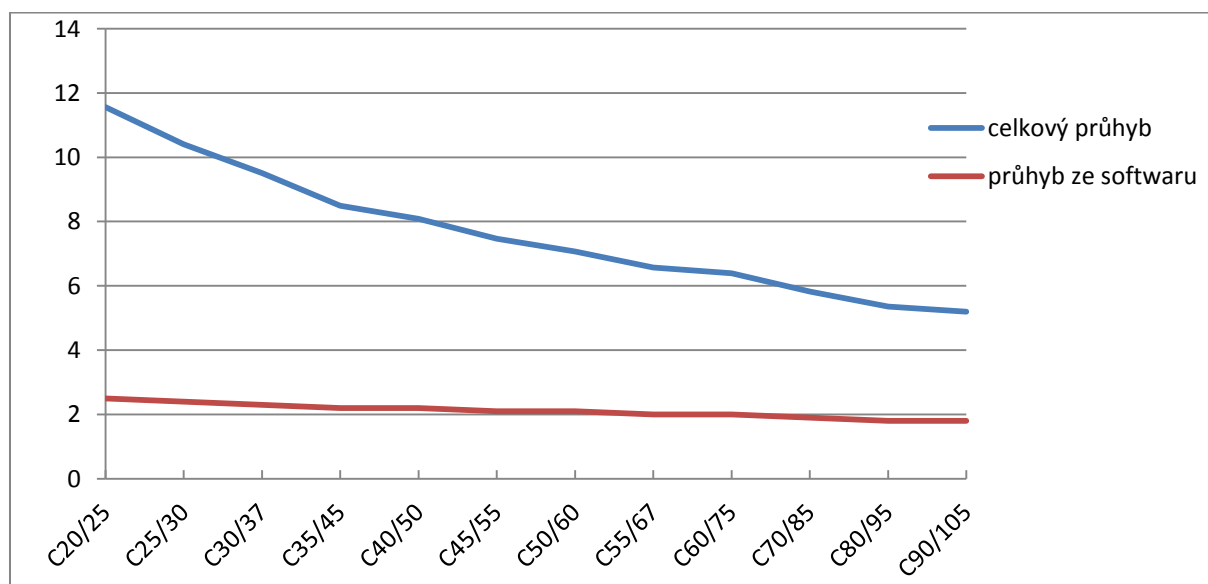
## 5.7. Návrh trámu P1 (optimální)

Je vidět, že největší vliv na únosnost trámu má jeho výška. Pro konkrétní stavbu by si zřejmě investor či architekt určil maximální či minimální rozměry trámu. Pro tuto práci byl zvolen trám se středními rozměry co do výšky tak i šířky. Tento trám je navržen podrobněji a objeví se i ve výkresu tvaru a výztuže.

## 6. Parametrická studie průhybu silně vyztuženého nosníku

V následující kapitole jsou porovnávány průhyby při změně určitých parametrů.

Graf ukazuje závislost průhybu na třídě betonu. Je zde vidět, že s horší třídou betonu je celkový průhyb oproti průhybu ze softwaru mnohonásobně větší než u lepších tříd. Samozřejmě také celkový průhyb se s lepší kvalitou betonu zmenšuje.



Graf 1.1. Závislost průhybu na třídě betonu (pro jednoduchý rám s prvky 0,7x0,4 m)

## 7. Závěr

V této kapitole jsou shrnuty poznatky získané při tvorbě této práce.

Volba výpočetního modelu je základním kritériem pro správný návrh konstrukce. Neplatí zde, že ze složitějšího modelu dostávám přesnější výsledky, spíše naopak někdy jednodušší model vede ke správným výsledkům.

Při návrhu velkých průřezů nemusí být rozhodující kritérium mezní stav únosnosti, často je to právě naopak. U obou trámů byl prvek na mezní stav únosnosti využit cca z 60%, zatímco pro mezní stav použitelnosti byl prvek navržen hraničním způsobem.

## 8. Použité zdroje

### NORMY:

- ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: ÚNMZ, 2004
- ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: ÚNMZ, 2004
- ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ÚNMZ, 2006
- ČSN EN 206 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha: ÚNMZ, 2014
- ČSN 73 1201 – Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb. Praha: ÚNMZ, 2010

### PODKLAD PRO PRÁCI:

- Součková Kateřina, architektonický návrh v předmětu Atelier architektonické tvorby 1 na bakalářském oboru Architektura a stavitelství

### LITERATURA:

- Hanzlová Hana, Šmejkal Jiří. Betonové a zděné konstrukce 1 : základy navrhování betonových konstrukcí. Vydáno Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2013
- HALFEN Prvky tlumení kročejového hluku, [online] 2012. [citace 2016.4.10]. Dostupné na <http://www.halfen.com/cz/2082/produkty/vyztuze/hbb-htf-htt-prvky-tlumeni-krocejoveho-hluku/uvod/>
- ZETR stavební prvky, železobetonové vylehčené desky, [katalog] 2011
- WIENERBERGER zdivo, [online] 2016. [citace 2016.4.10]. Dostupné na <http://wienerberger.cz/produkty>

### SOFTWARE:

- Nemetschek SCIA Engineer 15.3
- AutoCAD 2015
- Microsoft Office 2010 – Excel, Word
- Posouzení ŽB prvku namáhaného N+M dle ČSN EN 1992-1-1, Bc. Michal Kubalík, Diplomová práce - Kongresové centrum Harmony, Špindlerův mlýn, ČVUT v Praze, FSV, leden 2011
- Vlastní software: Posouzení na mezní stav použitelnosti obdélníkového průřezu s více vrstvami výztuže

## 9. Přílohy

- PROGRAM NA POSOUZENÍ OBDÉLNÍKOVÉHO PRŮŘEZU S VÍCE VRSTVAMI VÝZTUŽE NA MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI
- SCHÉMATICKÝ VÝKRES TVARU DESKY 2 (1.NP)
- VÝKRES VÝZTUŽE TRÁMU P1