

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Diplomová práce

Návrh podepřední překonzolované části administrativní budovy DOCK  
in Two

Structural design of support of overhanging part of office building  
DOCK in Two

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Martin Tipka, Ph.D.

**Bc. Luboš Havlík**

Praha 2022

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Havlík** Jméno: **Luboš** Osobní číslo: **468450**  
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra betonových a zděných konstrukcí**  
Studijní program: **Stavební inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce pozemních staveb**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Návrh podepření překonzolované části administrativní budovy DOCK in Two**

Název diplomové práce anglicky:

**Structural design of support of overhanging part of office building DOCK in Two**

Pokyny pro vypracování:

Technologie provádění šikmých železobetonových sloupů.  
Problematika napojení exteriérových železobetonových sloupů.  
Variantní konstrukční návrh podepření průčelí objektu DOCK in Two.  
Výkresy výtzuže řešených prvků

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 1990, ČSN EN 1991, ČSN EN 1992  
Procházka, Šmejkal: Modelování a vyztužování železobetonových konstrukcí. ČVUT 2020  
Procházka, Šmejkal: Betonové vícepodlažní a halové konstrukce. ČVUT 2018  
Archiv časopisu Beton TKS  
Další vhodná samostatně vyhledaná literatura

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Martin Típka, Ph.D. katedra betonových a zděných konstrukcí FSV**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

\_\_\_\_\_

Datum zadání diplomové práce: **19.09.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **09.01.2023**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Ing. Martin Típka, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_ Podpis studenta

# SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Luboš Havlík

Název diplomové práce: Návrh podepření překonzolované části administrativní budovy DOCK in Two

Základní část: BZK podíl: 100 %

Formulace úkolů:

Technologie provádění šikmých železobetonových sloupů.

Problematika napojení exteriérových železobetonových sloupů.

Variantsní konstrukční návrh podepření průčelí objektu DOCK in Two.

Výkresy výtzuže řešených prvků

Podpis vedoucího DP: ..... Datum: .....

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

3. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

4. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1. stranou zadání již ve 2. týdnu semestru)

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou prací na téma „Návrh podepření překonzolované části administrativní budovy DOCK in Two“ vypracoval samostatně, za odborného vedení vedoucího práce Ing. Martina Típky, Ph.D., a že jsem uvedl všechny použité zdroje v seznamu použité literatury v souladu s metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne .....

.....

Luboš Havlík

## Poděkování

Rád bych, v první řadě chtěl poděkovat mému vedoucímu práce Ing. Martinu Típkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, připomínky a poznatky, věnovaný čas a pomoc při vypracování této diplomové práce. Poděkování patří rovněž panu Radkovi Žežulkovi a společnosti CRESTYL GROUP, která budovu provozuje, za poskytnutí informací ohledně objektu. V neposlední řadě děkuji své rodině za jejich podporu a pomoc během celého mého studia.

# Abstrakt

Předmětem této diplomové práce je návrh podepření překonzolované části administrativní budovy DOCK in Two ve Smrčinově ulici v Praze.

V první části je teoreticky zpracována problematika výpočetních metod pro účinky druhého řádu, které jsou následně používány ve výpočtech. Dále jsou popsány možnosti provádění a s nimi související úskalí napojení exteriérových sloupů na železobetonovou desku.

V druhé části je zpracován návrh podpor a spolupůsobících konstrukcí předsazené části výše zmíněného objektu. Jsou vypracovány dvě geometricky odlišné varianty podepření, které jsou na závěr porovnány. Pro obě varianty jsou zpracovány návrhy vyztužení, kompletní posudky a výkresy vyztuže hlavních nosných prvků. Návrh vychází z prostorového výpočetního numerického modelu budovy. K první variantě je navíc proveden paralelní výpočet nejvíce namáhaného prvku pomocí ručních zjednodušených metod, jehož výsledky jsou porovnány s numerickým řešením.

## Klíčová slova

- Železobeton
- Šikmé sloupy
- Štíhlost
- Účinky druhého řádu
- Výpočetní metody
- Vyztužení

# Abstract

The point of this diplomatic work is a proposal of support of a reconsoleed administration building DOCK in Two in Smrčinova street in Prag.

The first part is about the issue of calculation methods for second-order effects which are subsequently used in calculations. Furthermore the execution possibilities and related difficulties of connecting the exterior columns to the reinforced concrete slab are described.

In the second part there is a proposal of the design of the supports and interacting structures of the projecting part of the above mentioned object. Two geometrically different support variants are developed which are compared at the end. For both variants there are proposals of reinforcement, complete assessments and drawings of the reinforcement of the main supporting elements. The proposal is based on a spatial computational numerical model of the building. In addition to the first variant a parallel calculation of the most stressed element is performed using manual simplified methods the results of which are compared with the numerical solution.

## Key words

- Reinforced concrete
- Leaning columns
- Slenderness
- Second order effects
- Calculation methods
- Reinforcement

# Obsah

Úvod .....	10
1. Překonzolované konstrukce .....	11
2. Podepření a namáhání konstrukcí.....	12
2.1. Zavěšené konstrukce.....	12
2.2. Podepřené konstrukce .....	12
2.2.1. Namáhání sloupů .....	13
2.2.2. Štíhlé prvky .....	15
3. Technologie provádění šikmých železobetonových sloupů .....	21
3.1. Monolitické sloupy .....	21
3.2. Prefabrikované sloupy.....	24
4. Problematika napojení exteriérových sloupů .....	26
4.1. Obalení tepelnou izolací.....	26
4.2. ISO-nosník .....	27
4.3. Porovnání možností.....	28
5. Konstrukční návrh podepření překonzolované části budovy DOCK in Two.....	30
5.1. Popis objektu.....	32
5.1.1. Spodní stavba .....	35
5.1.2. Horní stavba .....	35
5.1.3. Schodiště .....	35
5.2. Varianta A.....	36
5.3. Varianta B.....	37
5.3.1. Svislé konstrukce .....	38
5.3.2. Vodorovné konstrukce .....	39
5.3.3. Vyhodnocení výpočetních metod .....	40
5.4. Varianta C.....	42
5.4.1. Svislé konstrukce .....	43



5.4.2.	Vodorovné konstrukce .....	44
5.4.3.	Shrnutí .....	45
6.	Založení .....	46
7.	Závěr .....	47
8.	Literatura .....	48
8.1.	Technické normy .....	48
8.2.	Odborné publikace .....	48
8.3.	Webové stránky + odborné články online .....	49
9.	Použitý software .....	50

## Seznam příloh, výkresů

### Příloha 1 – Statický výpočet

- 01 – Výkres tvaru vybraného podlaží; 1:100
- 02 - Varianta B – výkres tvaru sloupořadí; 1:50
- 03 - Varianta B – výkres výztuže sloupořadí; 1:50, 1:20
- 04 - Varianta C – výkres tvaru sloupořadí; 1:50
- 05 - Varianta C – výkres výztuže sloupořadí; 1:50, 1:20

## Úvod

Beton potažmo železobeton je architekty poměrně vyhledávaný materiál. Lze z něj vytvářet konstrukce rozmanitých tvarů o různých velikostech. S vývojem společnosti se postupně zdokonalovala technologie provádění, povrchové úpravy a zpracovatelnosti směsi. Postupem času rovněž došlo k optimalizaci průřezů s mnohem lepším využitím spolupůsobení obou materiálů.

Sloupy se stěnami představují dva základní typy svislých nosných konstrukcí. V současnosti jsou sloupové prvky hojně využívány ve výstavbě nejen halových objektů, ale i u občanských staveb. Hlavní výhodou sloupového systému je uvolněná dispozice, která lze následně přizpůsobit provozu a dle uživatele prostoru. V závislosti na geometrii rozlišujeme sloupy masivní, štíhlé a velmi štíhlé. Na základě tohoto dělení se následně volí vhodný výpočetní postup. Sloupy lze kombinovat s bezprůvlakovými stropními deskami, případně je doplnit o hlavice, které brání protlačení desky. Výhodou průvlakové varianty je získání dostatečného prostoru pro jednodušší technické rozvody po objektu.

Cílem této práce je návrh podpor překonzolované části budovy ve vícero variantním provedení. Diplomovou práci lze rozdělit do dvou hlavních částí. V první části jsou popsány metody výpočtu štíhlých sloupů se započítáním účinků druhého řádu, možnosti technického řešení betonových konstrukcí a problematika napojení exteriérových sloupů. Dále jsou zde uvedeny příklady staveb jejichž součástí je vyložení části budovy a stručně popsáno vynesení této části budovy.

Ve druhé části je zpracován návrh reálné železobetonové stavby, jejíž součástí jsou překonzolovaná horní patra. Pro tuto stavbu jsou předběžně navrženy rozměry základních nosných konstrukcí. Hlavním cílem diplomové práce je návrh podpor průchodu. Součástí výpočtu je také podrobné řešení a návrh výztuže šikmých a „Y“ sloupů a konstrukcí s nimi nezbytně souvisejícími. Pro návrh byl vytvořen prostorový model budovy ve výpočetním softwaru Dlubal. Práce je doplněna o výkresovou dokumentaci vybraných prvků.

## 1. Překonzolované konstrukce

Základní charakteristikou překonzolových konstrukcí je jejich délka vyložení vůči uložené konstrukci. Tyto konzoly můžeme dělit dle jejich vyložení na malé neboli krátké, střední a poté konstrukce s velkým překonzolováním. Dále také záleží na způsobu zatížení, namáhání a technickém provedení.

Mezi krátké konzoly řadíme například různé římsy, krakorce nebo konzolky na sloupech pro uložení průvlaku, střešního nosníku či jeřábové dráhy (*Obr. 1*). Tyto konstrukce již nepotřebují žádné přidavné podepření a vystačí si pouze technickým řešením provedení v návaznosti napojení na okolní nosné konstrukce.

Středně dlouhé konzoly jsou takové, u nichž je na zvážení, zdali se „unesou samy“, či je nutné podepřít. Můžeme mezi ně lze zařadit vyložení balkonů nebo vyšších pater (*Obr. 2*) a další. Možných způsobů podepření je vícero.

Konstrukce s velkým vyložением jejichž hlavním rysem je vzdálenost koncové hrany od budovy je nutné stabilizovat podepřením. Toto podepření lze realizovat několika způsoby v návaznosti na stavebně – technické, architektonické a funkční požadavky. Takto podepřených překonzolovaných částí a jejich řešení si můžeme povšimnout kupříkladu na budovách, u kterých vzniká v úrovni prvního nadzemního podlaží volný prostor a další patra jsou přes prostor vyložena.



*Obr. 1: ŽB sloupy s konzolkami pro jeřábové dráhy [15]*



*Obr. 2: Vyložení vyšších pater [16]*

## 2. Podepření a namáhání konstrukcí

### 2.1. Zavěšené konstrukce

Jedná se o konstrukce, u nichž je ohybově tuhá nosníková konstrukce zavěšená táhly na tlačené konstrukci. Hlavním nosným prvkem jsou táhla, která obvykle bývají ocelová a vynášejí ostatní konstrukce. Výhodou ocelových táhel je jejich možnost předpětí. Tím lze dosáhnout snížení deformací, zvýšení tuhosti konstrukce, snížení průhybu lan a možného nadvýšení konstrukce. Tento způsob podepření je charakteristický převážně pro dopravní stavitelství, kde se převážně využívá na mostní konstrukce. Uplatnění tohoto systému lze spatřit i u pozemních staveb, například u velkorozponových hal či sportovních stadionů.



Obr. 3: Zavěšená konstrukce – Trimaran (Praha) [18]

Příkladem zavěšené překonzolované konstrukce je budova Trimaran v Praze na Pankráci (Obr. 3). Nosná konstrukce sestává z patrového železobetonového skeletu, na jehož hlavní středové části je zavěšena čtyřpodlažní překonzolovaná prostřednictvím ocelové superkonstrukce. Ocelová konstrukce staticky působí jako prostě podepřený nosník s převislými konci. Zavěšení betonových konstrukcí je řešeno pomocí kombinace ocelových trubek a předpínaných ocelových táhel, které řeší problematiku dilatace ocelové a železobetonové konstrukce při změnách tvaru konstrukce vlivem teploty a zatížení [18].

### 2.2. Podepřené konstrukce

Podepřené konstrukce jsou z jedné či více stran kotveny k budově a druhá část je zajištěna pomocí sloupů, vzpěr, případně stěnou. Podpěry jsou převážně namáhány tlakovou silou, na kterou je nutné

### Podepření a namáhání konstrukcí

tyto prvky dostatečně dimenzovat. U příliš subtilních konstrukcí je rozhodující vzpěr, kde může docházet ke stabilitnímu selhání před samotnou ztrátou únosnosti průřezu. Z tohoto pohledu dělíme konstrukce na masivní, štíhlé a velmi štíhlé konstrukce. K podepření se obvykle využívají železobetonové nebo ocelové konstrukce, jejichž hlavní výhodou je možnost použití subtilnějších průřezů, rovněž lze využít konstrukce dřevěné nebo zděné.



Obr. 4: Podepření pomocí sloupů [17]

Příkladem podepřené konstrukce je stavba administrativní budovy Main Point Karlín (Obr. 4). Jedná se o železobetonový skelet, ve kterém jsou stropní desky obousměrně pnuté mezi jednotlivými sloupy. V místech, kde to dispozice dovoluje, je okraj desky vyztužen železobetonovým trámem. Unikátní statické řešení přinášejí šikmé sloupy podpírající vyšší patra přesahující přes líc prvního až druhého nadzemního podlaží, kterými je elegantně vyřešen přechod do podzemních garáží [17].

#### 2.2.1. Namáhání sloupů

Sloupy řadíme mezi tlačené konstrukce, které jsou namáhané normálovou silou  $N_d$  (dostředný tlak) nebo kombinací normálové síly  $N_d$  a ohybového momentu  $M_d$  (mimostředný tlak), kdy je při výpočtu zohledněna excentricita  $e_d$ . Téměř vždy nějaká excentricita vzniká, a tak čistě dostředný tlak lze uvažovat pouze v teoretické rovině.

##### 2.2.1.1. Dostředný tlak

Předpokládá se, že tlakové napětí je rovnoměrně rozloženo po celém průřezu a na mezi porušení nesmí překročit zmenšenou výpočtovou pevnost v tlaku  $0,8 R_{bd}$  ( $R_{bd}$  = výpočtová pevnost betonu v tlaku) [26]. Beton je plně využit v tlaku, výztuž je tlačena. Průřez uvažujeme se symetrickou

## Podepření a namáhání konstrukcí

rovnoměrně rozloženou výztuží. Ve skutečnosti neexistuje čistý dostředný tlak, vždy je nějaká excentricita.

2.2.1.2. *Mimostředný tlak*

Mimostředně tlačené průřezy jsou namáhány normálovou silou, která působí na rameni výstřednosti. Rozeznáváme excentricitu základní  $e_f$ , která představuje skutečnou polohu normálové síly  $N_d$  vzhledem k těžišti průřezu a excentricitu náhodnou zadanou imperfekcemi. Základní excentricita je dána vztahem:

$$e_f = \frac{N_d}{M_d}$$

Excentricitu náhodnou  $e_a$ , zavádíme s ohledem na pravděpodobné nepřesnosti v rozměrech a tvaru tlačného prvku, které mohou nastat při jeho výrobě, nebo také může dojít k odlišnosti v působišti tlakové síly. Náhodnou excentricitu určíme jako větší z hodnot  $e_{a,1}$  a  $e_{a,2}$ , vypočteny ze vztahů:

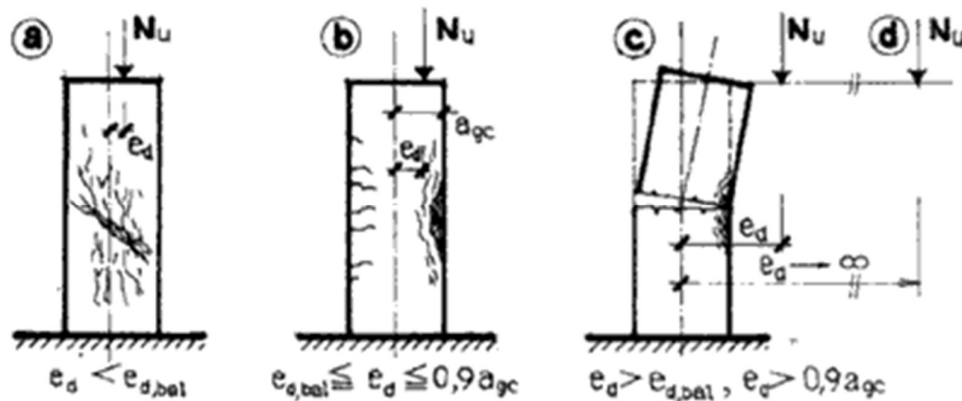
$$e_{a1} \geq \frac{l_{eff}}{400} \quad e_{a2} \geq \frac{b_d + 450}{60} \quad l_{eff} \quad \text{délka tlačného prvku}$$

$$b_d \quad \text{nejmenší šířka tlačného průřezu}$$

[26]

Náhodná výstřednost působí ve stejném směru jako výstřednost základní. Zavádíme ji vždy, i když je  $e_f=0$ . Konečnou výstřednost určíme sečtením obou excentricit [18].

U tlačných konstrukcí rovněž zohledňujeme vliv vzpěru, při kterém dochází jen u velmi vysokých štíhlých prvků k vybočení dřívě, nežli se průřez začne drtit tedy dosáhne své pevnosti v tlaku. Proto zavádíme součinitel  $\eta$ , jež je roven nebo menší než jedna. Velikost součinitele  $\eta$  je závislá na velikosti kritické síly  $N_{cr}$ . Čím větší síla je, tím rychleji a snadněji dojde ke stabilitnímu selhání. Štíhlost také závisí na způsobu uchycení konců prvků.



Obr. 5: Mimostředný tlak – malá a velká výstřednost [19]

### Podepření a namáhání konstrukcí

---

#### a) velmi malá excentricita

Beton v tahu nepůsobí a dochází k poruše rozdrčením betonu tlačené části. Napětí v tlačené části je rovnoměrně rozděleno po průřezu. Do výpočtu zavádíme pouze výstřednost náhodnou.

#### b) malá výstřednost

Při malé výstřednosti vznikají sice tahové trhliny na straně vzdálenější od centra tlakové síly, avšak jsou přípustné. Napětí v tlačené části průřezu je rozděleno rovnoměrně. Ke kolapsu prvku dojde rozdrčením betonu v tlačené části. V tažené části průřezu případně vznikající tahové trhliny zachytí výztuž.

#### c) velká výstřednost

Tahové trhliny jsou již nepřípustné. Prvek je porušen v části, kde se objevují tahové trhliny. Dojde ke zlomení v trhlíně kolmé k ose. [19]

### 2.2.2. Štíhlé prvky

V dnešní době, kdy je dbán důraz na co nejvyšší hospodárnost, spotřebu hmot a estetický vjem dochází u mnoha staveb k návrhu subtilnějších prvků. Pro bezpečný návrh těchto konstrukčních prvků je důležité, co nejpřesněji zohlednit geometrický tvar, vlastnosti materiálu, statický systém a zatížení. U statického systému je zapotřebí zohlednit vliv účinků prvního a druhého řádu.

Účinky prvního řádu jsou účinky zatížení stanovené na nedeformované konstrukci, avšak zahrnující geometrické imperfekce. Účinky druhého řádu představují přídavné účinky zatížení vyvolané deformacemi konstrukce [1].

Štíhlé konstrukce jsou geometricky, i fyzikálně nelineární. Geometrická nelinearita zohledňuje účinek vnějších sil na excentricky zatíženém tlačném železobetonovém prutu. Fyzikální nelinearita popisuje reálné materiálové chování prvku. Jedná se zejména o vliv dotvarování betonu a oslabení průřezu vznikem trhlin [9].

#### 2.2.2.1. Štíhlost

Štíhlost představuje základní parametr pro určení chování nejen osamělých tlačných prvků. Její hodnota je definována jako poměr účinné délky prvku a poloměru setrvačnosti betonového průřezu. Pomocí štíhlosti určujeme postup návrhu a náchylnost tlačného prvku ke ztrátě únosnosti vlivem ztráty stability [11].

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

$l_0$

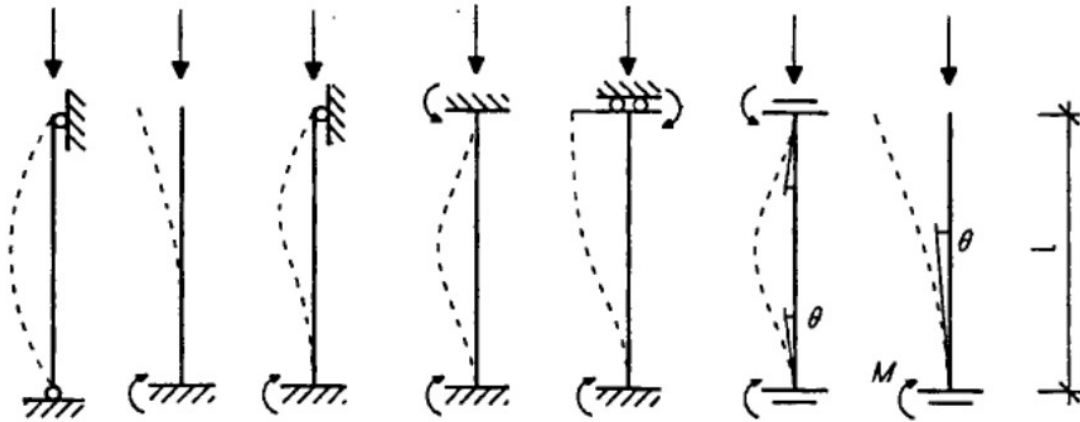
účinná délka prutu

$i$

poloměr setrvačnosti

Účinná délka

Účinnou neboli vzpěrnou délku definujeme jako vzdálenost mezi koncovými body dostředně zatíženého prvku. Správné určení vzpěrné délky prutu, který je součástí konstrukce a zároveň vystihuje jeho působení je poměrně složité. Avšak základní příklady definující hodnotu vzpěrné délky jsou známy (Obr. 6). Pro reálné železobetonové konstrukce se hodnota  $l_0=l/2$  pro dokonalé vetknutí téměř neuvažuje [9].



a)  $l_0 = l$  b)  $l_0 = 2l$  c)  $l_0 = 0,7l$  d)  $l_0 = l/2$  e)  $l_0 = l$  f)  $l/2 < l_0 < l$  g)  $l_0 > 2l$

Obr. 6: Příklady různých způsobů vybočení a odpovídajících vzpěrných délek osamělých prvků [14]

2.2.2.2. Kritérium štíhlosti

Na základě štíhlosti rozdělujeme tlačené železobetonové prvky do tří primárních skupin, a to prvky masivní, štíhlé a velmi štíhlé. Z tohoto rozdělení vyplývá způsob posouzení mezního stavu únosnosti i způsob možného porušení. Klasifikace jednotlivých skupin je dána vztahem dle normy ČSN EN 1992-1-1 na základě hodnoty štíhlosti  $\lambda$  v porovnání se štíhlosti limitní  $\lambda_{lim}$ .

$$\lambda_{lim} = \frac{20 A B C}{\sqrt{n}} \leq 75$$

$A = 1/(1 + 0,2\varphi_{ef})$	vliv dotvarování betonu
$B = \sqrt{1 + 2\omega}$	vliv vyztužení podélnou výztuží,
$C = 1,7 - r_m$	vliv rozložení ohyb. momentů,
$\varphi_{ef}$	účinný součinitel dotvarování,
$\omega = A_s f_{yd} / (A_c f_{cd})$	mechanický stupeň vyztužení,
$A_s$	průřezová plocha podélné výztuže,
$A_c$	plocha betonového průřezu,
$n = N_{Ed} / (A_c f_{cd})$	poměrná normálová síla,
$r_m = M_{01} / M_{02}$	poměr momentů,



Největší vliv na hodnotu limitní štíhlosti má součinitel C. Při prvotním stanovení lze uvažovat doporučené hodnoty součinitelů A a B a pozornost věnovat součiniteli C, jehož podstatně ovlivňuje znaménko momentů. V případě, že momenty  $M_{01}$  a  $M_{02}$  vyvozují tah na stejné straně, lze uvažovat  $r_m$  kladné, to znamená  $C \leq 1,7$ , jinak záporný ( $C > 1,7$ ). Stanovení součinitele C nelze provést jen pro extrémní hodnoty ohybových momentů (dle obálky ohyb. momentů), ale nutné provést pro každou návrhovou situaci samostatně [9].

### Masivní prvky

U masivních prvků lze zanedbat příčný ohyb, projevují se pouze malým zvýšením excentricity v důsledku působícího zatížení. K porušení dochází dosažením mezního přetvoření jednoho z materiálů (beton nebo ocel) v nejvíce namáhaném průřezu. Dle kritéria štíhlosti  $\lambda \leq \lambda_{lim} \Rightarrow$  **masivní tlačný prvek** [9].

### Štíhlé prvky

U těchto prvků je zapotřebí uvažovat účinek druhého řádu, tzn. přihlížet k rovnováze na přetvořené konstrukci. K porušení opět dochází dosažením mezního přetvoření jednoho z materiálů v kritickém průřezu. Ovšem se zvyšující štíhlostí rostou příčné deformace, což zapříčiní přidavné výstřednosti osových sil. Dle kritéria štíhlosti  $\lambda \geq \lambda_{lim} \Rightarrow$  **štíhlý tlačný prvek** [9].

### Velmi štíhlé prvky

Tyto prvky se svým chováním a způsobem porušení značně odlišují od výše zmiňovaných masivních a štíhlých. Účinkem svislé síly dochází k deformaci a výraznému vzrůstu ohybových momentů až do dosažení určité hodnoty normálové síly  $N_{cr}$ . V tomto případě je kolaps způsoben vybočením, to znamená náhlým bočním posunutím prvku mezi jeho konci s následným nadměrným namáháním oceli a betonu na ohyb, kdy nelze dosáhnout rovnováhy vnějších a vnitřních sil. Kritérium štíhlosti pro velmi štíhlé prvky norma nedefinuje, avšak pohybuje se v rozmezí zhruba  $\lambda \geq 140-150$  [12].

Je obecně známo, že prut velké štíhlosti se zhroutí pod menším tlakovým zatížením než „podsaditý“ prut se stejnými rozměry průřezu [12].

## Podepření a namáhání konstrukcí



Obr. 7: Masivní/štíhlý sloup

Pro stanovení ohybových momentů u štíhlých sloupů norma uznává tři základní metody výpočtu:

- Nelineární analýza
- Metoda jmenovité tuhosti
- Metoda jmenovité křivosti

### Nelineární analýza

Nelineární analýza je metoda zahrnující fyzikální i geometrickou nelinearitu konstrukce. Lze využít jak v MSÚ, tak v MSP, za předpokladu splnění podmínek rovnováhy a kompatibility přetvoření v určitém počtu průřezů prvku. Základem této metody je použití vhodných pracovních diagramů materiálů. Norma pro navrhování betonových konstrukcí (ČSN EN 1992-1-1) připouští zjednodušení v podobě řešení prvku pouze v kritickém průřezu. U konstrukcí převážně staticky zatížených lze většinou zanedbat účinky předešlých zatížení a lze předpokládat monotónní růst intenzity zatížení. Přetvoření je stanoveno pomocí dvojité integrace křivosti prvku, která je mezi průřezy proměnná ( $u = \iint M/EI dx^2$ ). Do výpočtu je nutné zahrnout vliv dotvarování betonu, který je dán pomocí účinného součinitele dotvarování  $\varphi_e$ . [1]

### Metoda jmenovité tuhosti

Metoda jmenovité tuhosti může být použita pro osamělé prvky a celé konstrukce. Jmenovité ohybové tuhosti zohledňují účinky trhlin, materiálových nelinearit a dotvarování. Nutno uvážit spolupůsobení mezi konstrukcí a podložím. Při výpočtu ohybových momentů jsou zohledněny i tuhosti připojených prvků (desky, trámy atd.)

Jmenovitá tuhost štíhlých prvků je dána vztahem:

## Podepření a namáhání konstrukcí

$$EI = K_c E_{cd} I_c + K_s E_s I_s$$

$E_{cd}$	návrhová hodnota modulu pružnosti betonu, $E_{cd} = E_{cm} / \gamma_{cE}$ ,
$\gamma_{cE}$	je součinitel spolehlivosti dle ČSN EN 1992-1-1 je $\gamma_{cE} = 1,2$ ,
$I_c$	moment setrvačnosti bet. průřezu vztažený k jeho těžiškové ose,
$E_s$	návrhová hodnota modulu pružnosti výztuže,
$I_s$	moment setrvačnosti výztuže vztažený k těžišti betonového průřezu,
$K_c$	opravný součinitel zohledňující účinky trhlin, dotvarování betonu,
$K_s$	opravný součinitel zohledňující příspěvek výztuže

Při splnění předpokládaného stupně vyztužení  $\rho \geq 0,002$  platí:  $K_s = 1$ ,  $K_c = \frac{k_1 k_2}{1 + \varphi_{ef}}$

$P$	je geometrický stupeň vyztužení,
$\varphi_{ef}$	účinný součinitel dotvarování
$k_1$	součinitel závisející na charakteristické pevnosti betonu $k_1 = \sqrt{\frac{f_{ck}}{20}}$
$k_2$	součinitel závisející na normálové síle a štíhlosti, $k_2 = \frac{\lambda}{170} * \frac{ N_{Ed} }{A_c f_{cd}} \leq 0,2$
$\lambda$	ohybová štíhlost
$A_c$	průřezová plocha betonového průřezu,
$f_{ck}$	charakteristická pevnost betonu v tlaku,
$f_{cd}$	návrhová pevnost betonu v tlaku,

Pokud stupeň vyztužení  $\rho \geq 0,01$  zjednodušeně platí:  $K_s = 0$ ,  $K_c = \frac{0,3}{1 + 0,5\varphi_{ef}}$

Z těchto vztahů vyplývá, že použitá výztuž v prvku je proměnná veličina, jedná se tedy o iterační výpočet. [13]

Výsledný ohybový moment včetně zahrnutí účinků druhého řádu se určí jako zvětšený moment prvního řádu dle vztahu:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} \left[ 1 + \frac{\beta}{N_B / N_{Ed} - 1} \right]$$

$M_{0Ed}$	ohybový moment prvního řádu včetně vlivu imperfekcí,
$N_{Ed}$	návrhová hodnota normálové síly,
$N_B$	vzpěrné břemeno stanovené pomocí jmenovité tuhosti,
$\beta$	součinitel závislý na rozdělení momentů prvního a druhého řádu,

Metoda jmenovité křivosti

Uplatnění metody jmenovité křivosti nalezne především pro osamělé prvky s konstantní normálovou silou a se známou účinnou délkou. Výpočet ohybového momentu druhého řádu vychází z analýzy náhradního nehmotného prutu. Jmenovitý moment druhého řádu se vypočítá pomocí průhybu, který se stanoví na základě účinné délky a odhadnuté maximální křivosti. Návrhový moment je dán vztahem:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2$$

$M_{0Ed}$  ohybový moment prvního řádu včetně vlivu imperfekcí,

$M_2$  jmenovitý moment druhého řádu,

$$M_2 = N_{Ed}e_2$$

$N_{Ed}$  normálová návrhová síla,

$e_2$  excentricita náhradního prutu,

$$e_2 = \frac{1}{r} l_0^2 / c$$

Výpočet excentricity  $e_2$  je dán průběhem křivosti a její maximální hodnoty. Pro prvky s konstantním symetrickým průřezem se určí dle vztahu:

$$\frac{1}{r} = K_r K_\varphi \frac{1}{r_0}$$

$K_r$  opravný součinitel závislý na normálové síle,

$K_\varphi$  součinitel zohledňující dotvarování,

$$1/r_0 = \varepsilon_{yd} / (0,45d)$$

$d$  účinná výška

Rozhodující návrhový moment štíhlých sloupů se pak určí pomocí vztahů:

$$M_{Ed,rozh} = \max (M_{02}; M_{0Ed} + M_2; M_{01} + 01M_{02}) \quad [13]$$

### 3. Technologie provádění šikmých železobetonových sloupů

Dle technologie provádění obecně dělíme železobetonové konstrukce na monolitické, tedy zhotovované přímo na stavbě, prefabrikované, jež jsou na stavbu dováženy jako hotové výrobky a prefa-monolitické.

Prefa-monolitická technologie kombinuje monolitickou s prefabrikovanou výstavbou. Zpravidla části konstrukce, které se násobně opakují, se nechají vyrobit ve výrobnách a posléze dovést na stavbu, a naopak atypické části objektu se vybetonují monolitickou formou přímo na stavbě. Vzniká tak poměrně ekonomicky efektivní systém. Hojně je tento způsob využíván pro zhotovení železobetonových stropů, kdy prefabrikovaná část stropu v sobě zahrnuje nosnou funkci, deska má spodní nosnou výztuž, a současně funkci ztraceného bednění. Zároveň prefabrikovaná deska spolupůsobí s monolitickou částí jako spřažená konstrukce. Spřažení mezi prefabrikovanou a monolitickou částí je obvykle zajištěno pomocí prostorové příhradové výztuže vyčnívající z prefa-desky a zdrsňeným horním povrchem desky. Tyto desky se vyrábějí přímo na zakázku technologií výroby na dlouhých drahách, takže umožňují i zastropení atypických a členitých stropů. Tloušťka desky se pohybuje okolo 50–70 mm, maximální šířky 2700 mm a délky 8200 mm, omezeno požadavky na přepravu. Desky mohou mít hladká čela nebo čela s vyčnívající výztuží. Manipulace s deskami se provádí jeřábem či autem s rukou. Desky se ukládají do maltového lože a do zatvrdnutí monolitické části se podepírají ližinami a stojkami. Minimální hloubka uložení při ukládání na zdivo je 40 mm, při ukládání na ocelové nebo železobetonové konstrukce 20 mm. Výsledná tloušťka spřaženého stropu závisí na rozponu a zatížení, bývá 150–250 mm. [28]

#### 3.1. Monolitické sloupy

Monolitická technologie preferuje vytvořit si konstrukci přímo na stavbě. Jedná se o starší způsob provádění betonových a železobetonových konstrukcí potažmo sloupů. Kdy se zhotoví bednění, které určuje tvar konstrukce. Podle výkresu se do bednění uloží výztuž a následně dojde k zalití betonovou směsí, takzvanému „zmonolitnění“ a zhutňování čerstvého betonu vibrací.

Bednění může být dřevěné například z prken nebo dřevotřískových desek, kdy lze dosáhnout potřebného architektonického dojmu, ovšem jedná se o poměrně pracnou truhlářskou práci. Dále jednorázové papírové bednění, je vyrobeno z papírových, spirálově vinutých trubic, které jsou uvnitř i na povrchu opatřeny ochrannou vrstvou pro zvýšení hladkosti povrchu a odolnosti proti vodě. V současné době je hojně využíváno bednění systémové, kdy výrobce dodává systém dílců pro konkrétní typ prvků, výhodou je násobné použití. Bednění musí být dostatečně tuhé, aby byla zajištěna vyhovující tolerance dokončených konstrukcí. Návrh podpěrné konstrukce musí brát v úvahu

přetvoření během a po betonáži, aby se zabránilo vzniku trhlin v konstrukci. Spáry či spoje mezi jednotlivými bednicími dílci musí být natolik těsné, aby vlivem netěsností nedošlo k vyplavení některých složek betonu, a aby nedošlo k porušení povrchu konstrukce. Části nosného bednění se nesmí odstranit dříve, než beton dosáhne dostatečné pevnosti, aby mohl vzdorovat namáhání, kterému je vystaven po odbednění (dimenzování na montážní stav).

Pro atypické konstrukce, jako jsou například sloupy do tvaru písmene „V“, při použití systémového bednění nastává poměrně složité místo pro realizaci ve styku sloupů, kdy systémové bednění je doplněno výdřevou. Betonáž je rozdělena do několika etap, dle náročnosti konstrukce. Obdobný problém nastává rovněž u samostatně stojících šikmých sloupů, kdy vzniká v patě „klín“, který je potřeba utěsnit, aby bylo zabráněno úniku betonové směsi. Dochází ke kombinaci systémového bednění s papírovým (Obr. 8) nebo opět „klín“ utěsněn nesystémovým bedněním (Obr. 9). Nakloněné sloupové bednění musí být důkladně podepřeno stojkami a rámy se závorou. Výztuž vložená do bednění musí přesahovat z důvodu stykování s výztuží navazujících konstrukcí (Obr. 10). [20]

Odbedňovaným nosných částí stavby, kterými bezpochyby sloupy jsou, je nutné věnovat zvýšenou pozornost. Bednění se v těchto případech může odstranit, až když beton konstrukce dosáhne stanovené kontrolní pevnosti pro příslušnou třídu betonu. Za běžných podmínek tuhnutí a tvrdnutí uvolňujeme bočnice sloupů po deseti dnech. Obvykle požadované pevnosti cca 70 % dosáhne beton již po třetím dnu. [27]

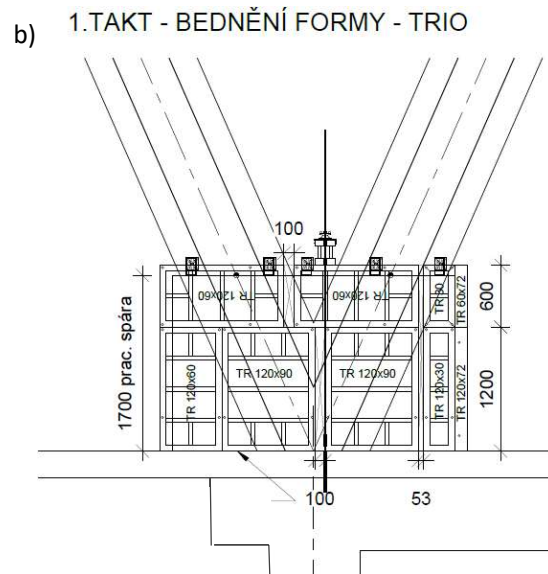
Výhodou monolitických systémů je určitá soběstačnost na stavbě a volnost k vytvoření prakticky jakéhokoliv tvaru. Nevýhodou je poté takzvaná technologická přestávka, během které beton tuhne a tvrdne. Špatné jsou rovněž vlivy počasí, jelikož mohou ovlivnit kvalitu materiálu. Obecně platí, že betonáž při mrazu nebo vysokých teplotách snižuje pevnost betonu.



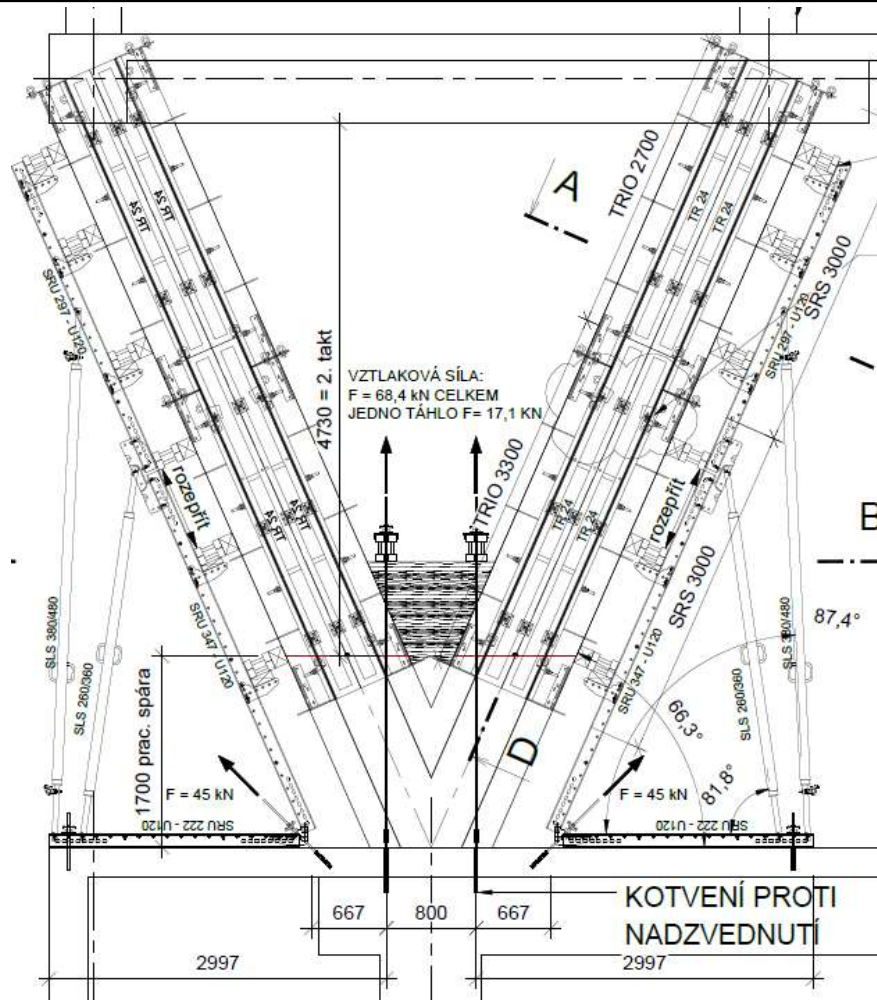
Obr. 8: Bednění šikmých sloupů [27]



Obr. 9: Pata šikmého sloupu [27]



Obr. 10: Bednění 1. traktu atypických sloupů – a) pohled na bednění s přesahující výztuží; b) výkres bednicích forem [27]



Obr. 11: Výkres bednicích dílců šikmých sloupů [27]

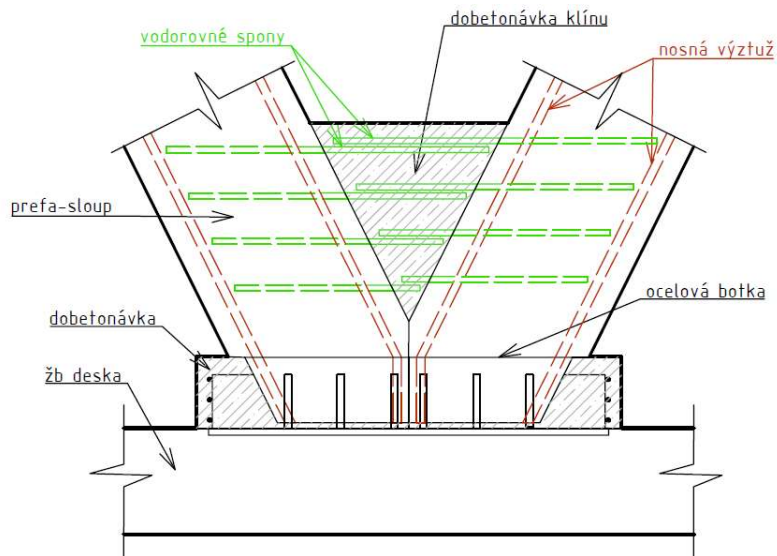
### 3.2. Prefabrikované sloupy

Prefabrikací sloupů dochází k přesunu prací ze stavby do výroben, což je značná výhoda oproti předešlé technologii. Není zde proces ovlivněn počasím, možnost realizace staveb v jakémkoliv ročním období, maximální urychlení výstavby omezením mokrych procesů přímo na staveništi, odchylky v pevnostech betonů ve výrobnách jsou značně nižší. Z výroben se následně hotové dílce vozí na stavbu, kde pomocí jeřábů dochází k jejich montáži. Nevýhody této technologie nese především v nutnosti velké mechanizace a nároků na dopravu. Ovšem jedná se o poměrně rychlou technologii výstavby.

Postup prací ve výrobě je obdobný tomu jako na staveništi. Vytvoří se forma, do níž se vloží výztuž, zde je potřeba myslet na montážní úchopy a případně ponechat vyčnívat výztužné pruty pro navázání s výztuží dalších konstrukcí. V posledním kroku dojde k zalití formy betonem a ztuhnutí.



Na stavbě se takto zhotovené prvky ukládají například do předem připravených kalichových patek, kdy po usazení dojde k zalití spoje betonovou směsí nebo jsou prvky nestykovány pomocí trnů. Pata sloupů může být opatřena z výroby ocelovou botkou, která se po spojení s protikusem v desce opatří betonovou zálivkou.



Obr. 12: Schéma napojení v patě prefabrikovaných sloupů



Obr. 13: Realizace prefabrikovaných sloupů pomocí ocelové botky

## 4. Problematika napojení exteriérových sloupů

Tato problematika je důležitá nejen z hlediska statického, ale rovněž z tepelně technického. Spoj je poměrně složité místo, které je častou příčinou stavebních poruch jako je například vznik plísní v důsledku kondenzace vodní páry. Záležitost tepelných mostů souvisí nejenom s aspektem energetickým a estetickým, ale především s otázkou zajištění hygienických požadavků. Stěny a sloupy způsobují téměř 40 % všech tepelných mostů a jsou zodpovědné za přibližně 10 % tepelných ztrát objektu [12]. Podrobně je vše popsáno v normě ČSN 73 0540 *TEPELNÁ OCHRANA BUDOV*, která stanovuje požadavky, jež konstrukce musí splňovat.

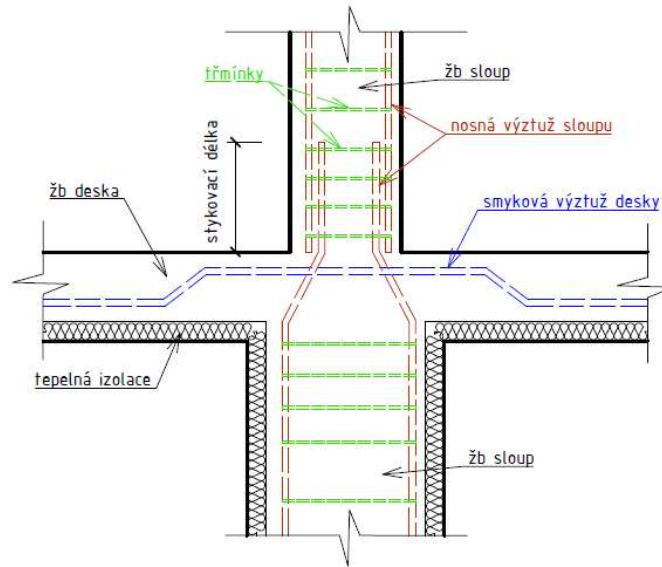
Typ bodové tepelné vazby	Bodový číselník prostupu tepla $\chi_{j,N}$ [W/K]	
	Průnik tyčové konstrukce (sloupy, nosníky, konzoly) vnější stěnou, podhledem nebo střechem	0,90

Obr. 14: Výňatek z normy ČSN 730540 bodového číselníku  $\chi$  prostupu tepla tepelných vazem mezi konstrukcemi [2]

Možností, jak tepelné mosty na sloupech řešit se nabízí několik a jsou popsány v následujících kapitolách.

### 4.1. Obalení tepelnou izolací

K zamezení vzniku tepelného mostu slouží přídatná tepelná izolace na železobetonovém sloupu a stropní desce. Výhodou je poměrně jednoduché řešení, zároveň má tepelná izolace úlohu ochrany betonu před působením nežádoucích vnějších vlivů. Samotný spoj mezi deskou a sloupem je řešen provázáním jednotlivých výztuží. Nevýhodou jsou poměrně velké náklady na izolační materiál, kterým je zapotřebí obložit značnou část konstrukcí. Konstrukce rovněž nabývá rozměrů, což z architektonického hlediska může být nežádoucí.



Obr. 15: Skica eliminace tepelného mostu pomocí tepelné izolace v napojení desky a sloupu

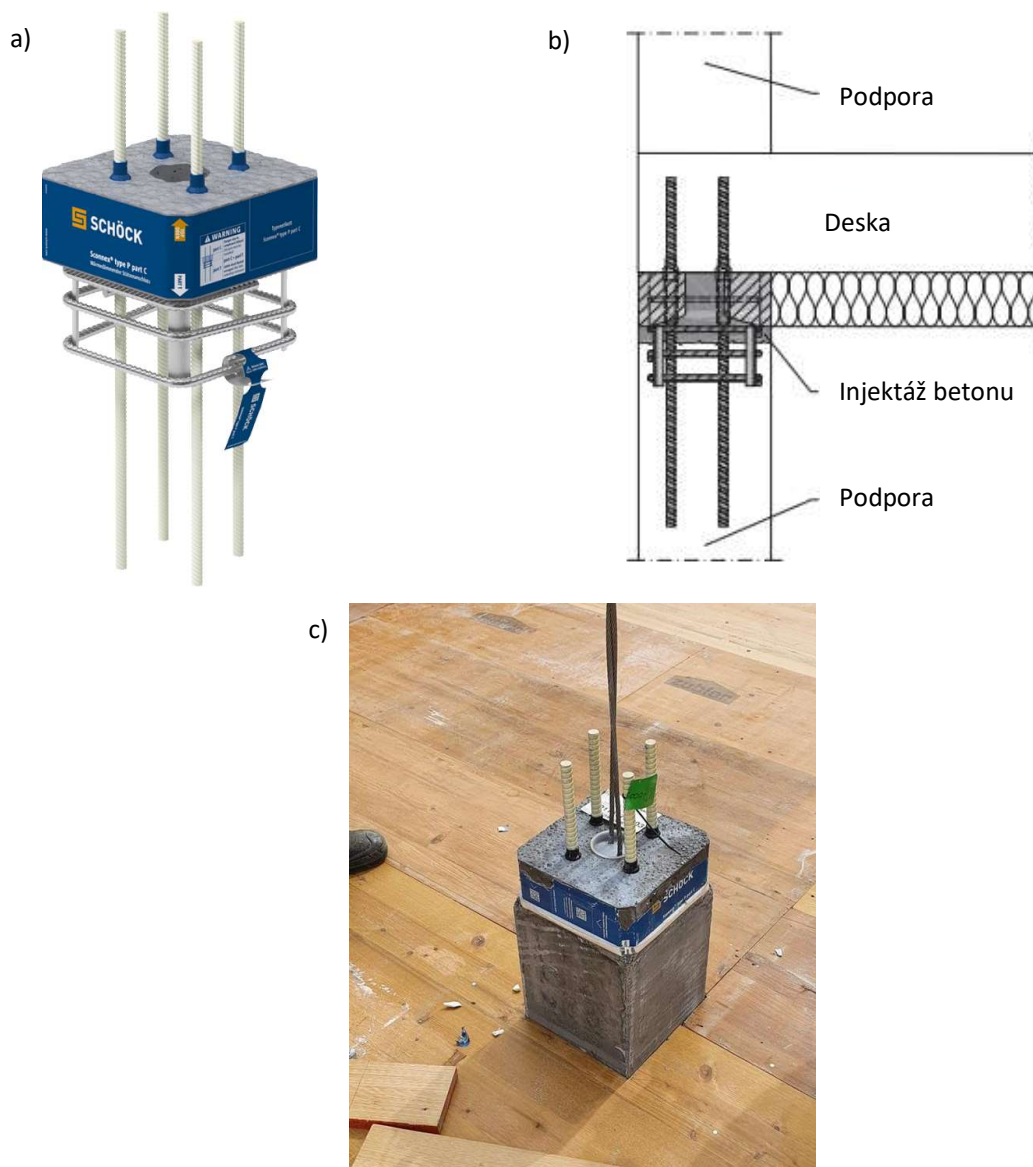
## 4.2. ISO-nosník

Inovativním řešením pro napojení svislých nosných konstrukcí bez tepelného mostu může být použití tlakových ISO-nosníků, například prvku Schöck Sconnex typ P od firmy Schöck-Wittek s.r.o. Jedná se o nosný tepelně-izolační prvek sloužící k termickému přerušení stavebních konstrukcí u materiálových přechodů beton-beton. Prvek zabraňuje vzniku tepelných mostů a předchází vzniku kondenzátu. Zároveň bezpečně plní statické požadavky na napojení. Skládá se z tepelně izolačního prvku a výztužného prvku, jež jsou oba nutné pro přenos zatížení. Tepelně izolační prvek má pevnou strukturu z lehčeného betonu, jehož speciální vlastnosti výrazně snižují tepelný tok a není tak nutné provádět tepelnou izolaci na sloupy. Účinně termicky přerušuje napojení mezi železobetonovou deskou a sloupem. Je schopen přenášet velmi vysoké tlakové síly dosahující až 1440 kN. Výhodou je rovněž skutečnost, že je prvek esteticky zabudován do konstrukce což nabízí architektonicky čistší řešení, kdy odpadá nutnost vyvádění tepelné izolace na navazující konstrukce. Vzniká kloubový styk. Jistou nevýhodou, ale je minimální únosnost prvku ve smyku [23].

Prvek je převážně odzkoušen a navrhován na svislých sloupech 250 x 250 mm, jiná verze zatím nevyráběna není. Použití pro větší sloupy je možné, jen musí být proveden ještě jeden vnitřní koš výztuže, aby pod ložiskem bylo zajištěno chování jako na odzkoušeném sloupu 250 x 250 mm. Rovněž pro napojení šikmých sloupů s železobetonovou stropní deskou, lze prvek Sconnex typu P využít, ovšem prozatím i přes deklaraci výrobce na tento typ spoje prvek není odzkoušen. Jelikož však přenáší pouze osovou sílu, je nutné, aby byl osazen v ose sloupu (ve sklonu). Navržení a použití tohoto typu

Problematika napojení exteriérových sloupů

izolačního nosníků slouží pro přerušení tepelného mostu v hlavě sloupu. U paty sloupu je jeho užití nevhodné, neboť by jej bylo možné například nárazem auta snadno vyrazit.



Obr. 16: Schöck Sconnex typ P–a) konstrukční uspořádání prvků; b) detail napojení; c) prvek zabudovaný v konstrukci [23]

### 4.3. Porovnání možností

Nejednodušší varianta je připojovaný svislý prvek nikterak neizolovat či nepoužívat speciální spojovací prvky. Z hlediska ekonomického to vychází nejlevněji, avšak nese to s sebou riziko tvorby tepelného mostu.

Obalení konstrukce tepelnou izolací vede ke zlepšení hodnoty bodového činitele a tím menší pravděpodobnosti tepelných ztrát spojem. Jedná se o poměrně pracnou variantu z hlediska provádění.

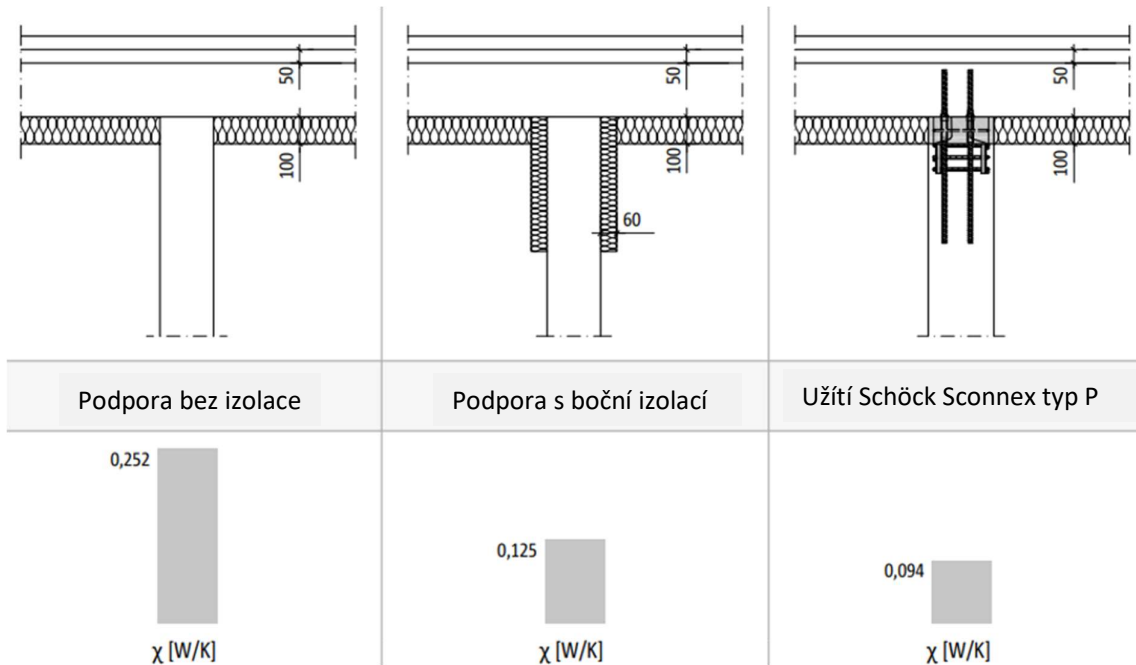
Problematika napojení exteriérových sloupů

Finanční náročnost se odvíjí od velikosti sloupu, kdy cena tepelné izolace z minerální vlny tloušťky například 60 mm se pohybuje okolo 700 Kč za 3 m<sup>2</sup>/bal [22].

Jako nejlepší možnost se jeví varianta za použití ISO-nosníku. Pracnost je oproti předchozí variantě výrazně nižší, ovšem tato varianta je značně ovlivněna velikostí připojovaného sloupu. Na českém trhu v současné době prvek není k dispozici, v Německu, kde je již normově povolen, je k dostání za 235 euro [11].

Pokud bychom zohledňovali pouze parametr bodového činitele prostupu tepla je jednoznačně nejvýhodnější použití výrobku firmy Schöck Sconnex typu P, jehož hodnota  $\chi = 0,094$  W/K je nejnižší (Obr. 17).

Ostatní hlediska již tak jednoznačná nejsou a je vždy nutné pečlivě uvážit zvolení té správné cesty na konkrétním případě u dané stavby.

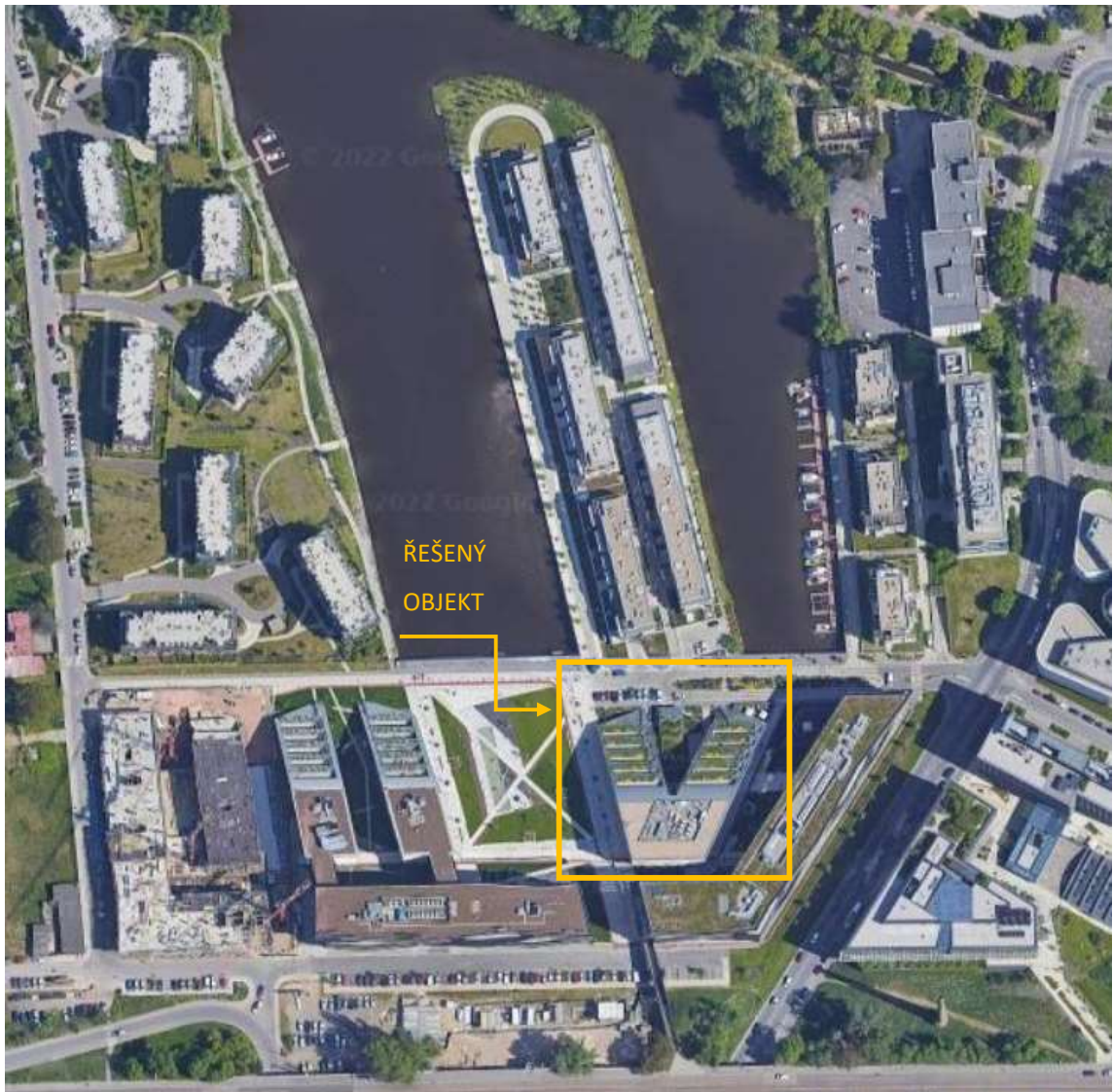


Obr. 17: Varianty řešení eliminace tepelných mostů v místě napojení exteriérových sloupů [21]

## 5. Konstrukční návrh podepření překonzolované části budovy DOCK in Two

Vybraný objekt byl postaven v roce 2017. Jedná se o administrativní budovu, která se nachází na rozhraní pražské Libně, Karlína a Holešovic v blízkosti řeky Vltavy. Stavba je navržena ve tvaru písmene „V“ s kaskádovitými terasami směřujícími směrem k vodní ploše. Fasáda v okolí teras je pokryta zelení, která dopomáhá začlenění budovy do okolní zástavby. Celkový koncept budov doku má při pohledu z ptačí perspektivy připomínat parník (*Obr. 18*).

Z jižní stany je budova podříznuta v rozsahu dvou podlaží. Vzniká tak poměrně velký prostor, kde jsou zbývající horní patra vynášena sloupy (*Obr. 20*). Předmětem diplomové práce je variantní návrh podepření této překonzolované části budovy.



Obr. 18: Horní pohled na oblast DOCKu [29]



Obr. 19: Administrativní budova DOCK in Two



Obr. 20: Řešená část budovy

Pro získání vnitřních sil působících na posuzované konstrukce byl vytvořen kompletní 3D model budovy. Pro tvorbu byl použit software od společnosti Dlubal Software, konkrétně program pro statické a dynamické výpočty RFEM 6.01. Tento program umožňuje modelování 2D a 3D konstrukcí z různých materiálů – dřevo, ocel, beton a dalších. Ke statickému výpočtu a posouzení lze použít různé přídatné moduly zabývající se posudkem spojů, prutů, dynamickou analýzou, stabilitní analýzou a podobně. V mém případě byl pro následné posouzení použit přídatný modul RF-CONCRETE – Posouzení železobetonových konstrukcí, dle platných norem a národních příloh.

Celkový koncept objektu a rozměry nosných konstrukcí (stropní desky, stěny, vnitřní sloupy), potřebné jako vstupní parametry pro tvorbu 3D modelu, kterými se podrobně práce nezabývá byly určeny dle předběžného statického výpočtu v průběhu studia v předmětu 133P04C.

## 5.1. Popis objektu

Nosný systém budovy je řešen jako železobetonový skelet, mající šest nadzemních podlaží a jedno podzemní sloužící jako garáže. Sloupy jsou opatřeny hlavicemi. Prostorová tuhost je zajištěna pomocí železobetonových jader ohraničující schodiště a výtahové šachty, kterým „dopomáhají“ parapetními nosníky na obvodu stropní desky.



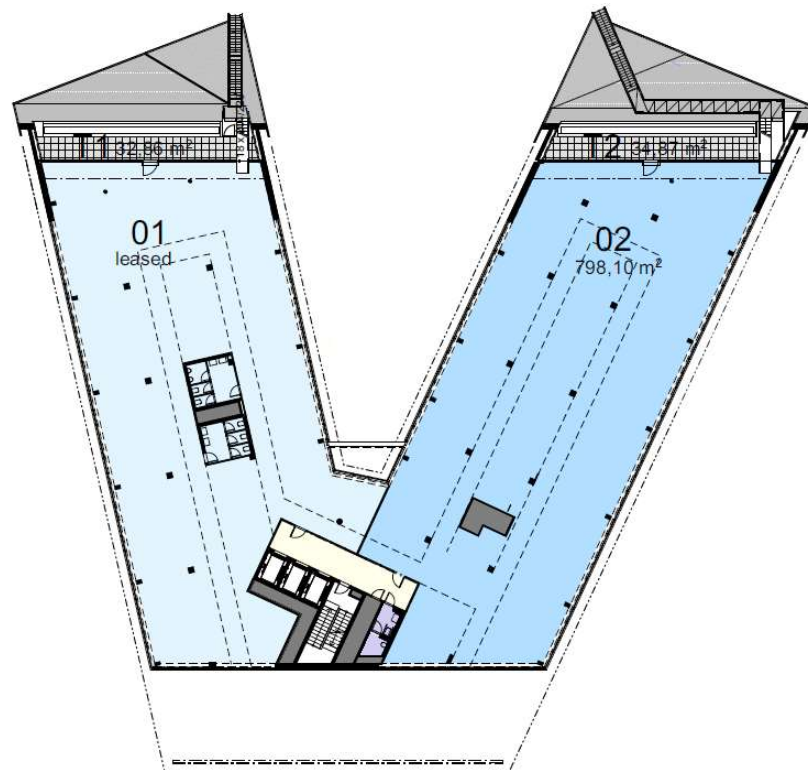
Obr. 21: Schéma 1.PP – studie [24]



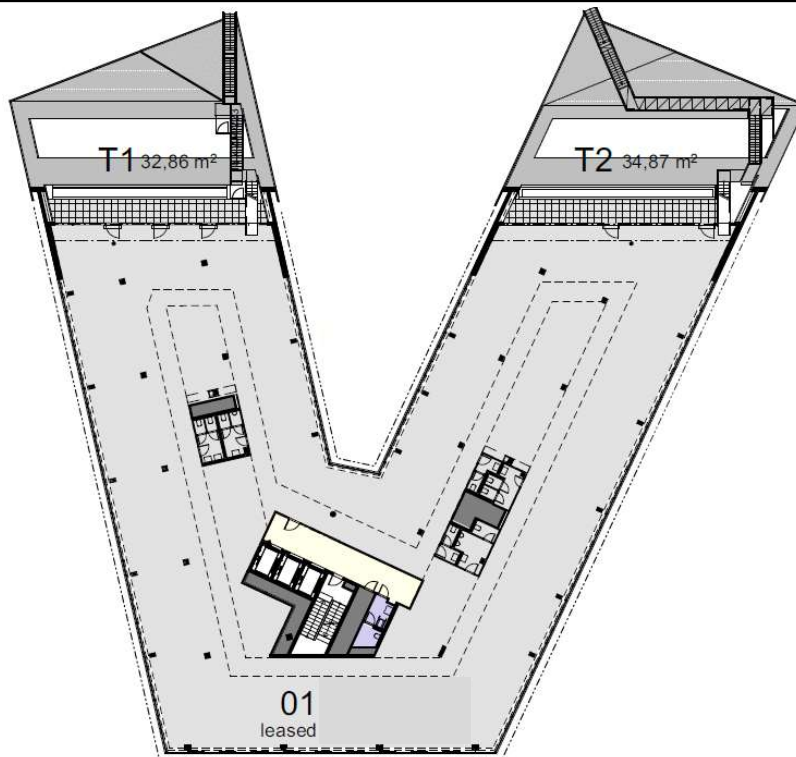
Konstrukční návrh podepření překonzolované části budovy DOCK in Two



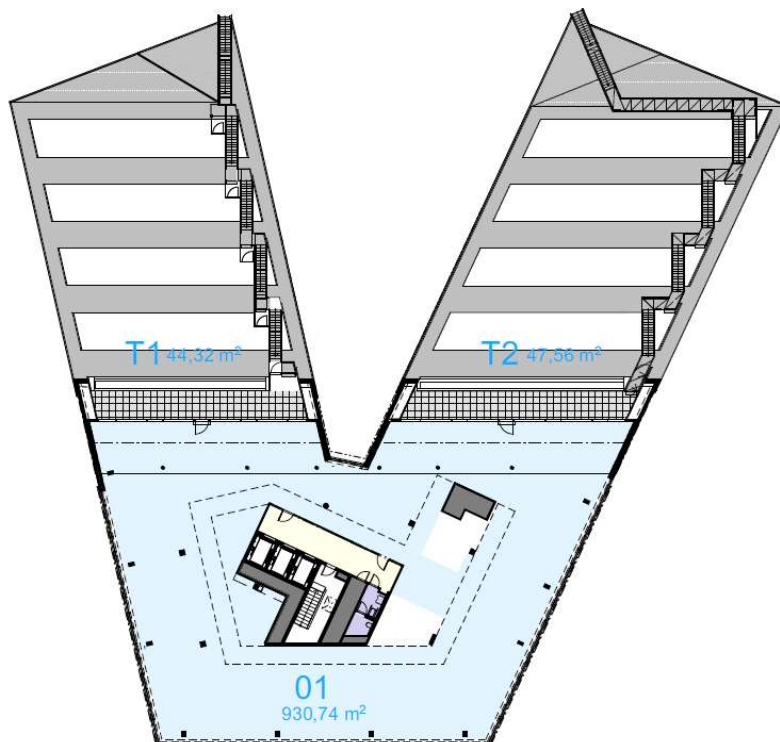
Obr. 22: Schéma 1.NP – studie [24]



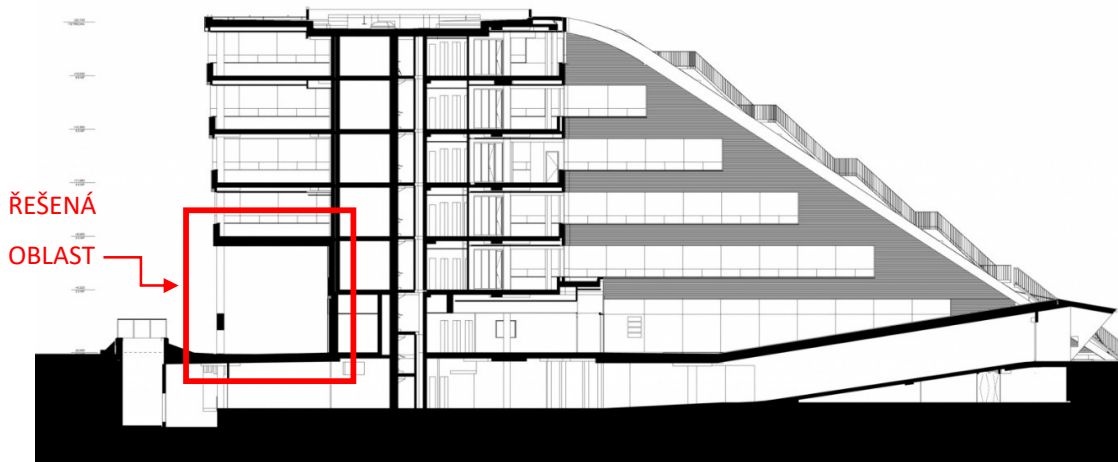
Obr. 23: Schéma 2.NP – studie [24]



Obr. 24: Schéma 3.NP („typizované podlaží“) – studie [24]



Obr. 25: Schéma 6.NP – studie [24]



Obr. 26: Schéma podélného řezu – studie [24]

### 5.1.1. Spodní stavba

Spodní stavbu ohraničují železobetonové suterénní stěny tloušťky 300 mm, na kterých jsou usazeny sloupy horní stavby. Uvnitř podlaží jsou rozmístěny nosné sloupy a stěny.

Vnitřní železobetonové stěny (včetně výtahových šachet) jsou tloušťky 250 mm, sloupy obdélníkové 700 x 500 mm.

Založení budovy je řešeno plošně pomocí desky tloušťky 350 mm v kombinaci s pilotami o průměru 600 mm, 900 mm a 1200 mm různé délky, v závislosti na velikostech tlakových sil.

### 5.1.2. Horní stavba

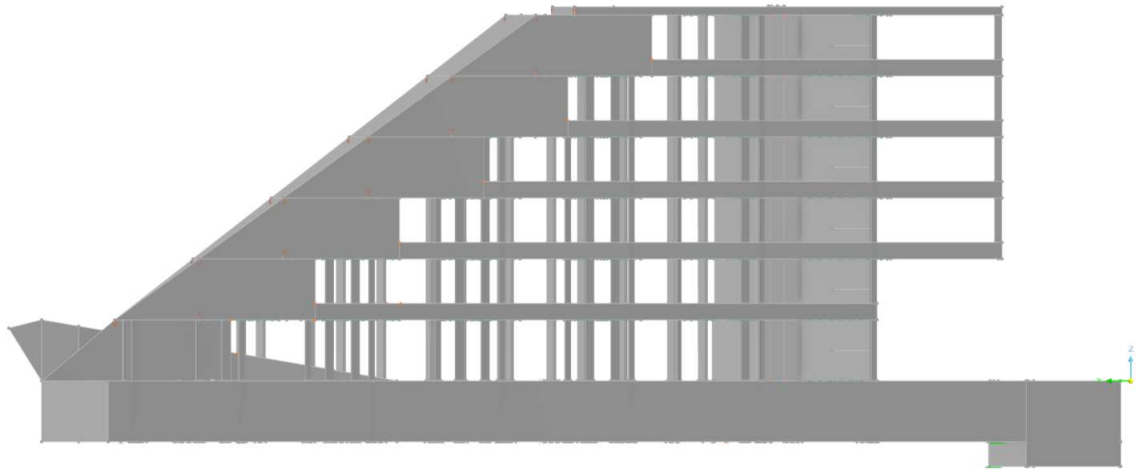
Horní stavbu tvoří železobetonový skelet s konstrukční výškou podlaží 3,7 m. Obvodové sloupy jsou navrženy obdélníkové 300 x 450 mm, sloupy ve středním traktu jsou čtvercové 450 x 450 mm, podpory konců teras zajišťují sloupy kruhové  $\varnothing$  200 mm. Ztužující stěny mají tloušťku 250 mm. Stropní desky tloušťky 200 mm oddělující jednotlivá podlaží jsou olemovány parapetním nosníkem o výšce 1 000 mm. V místech sloupů dochází k lokálnímu zesílení stropní desky obdélníkovými hlavicemi 1000 x 2000 x 150 mm.

### 5.1.3. Schodiště

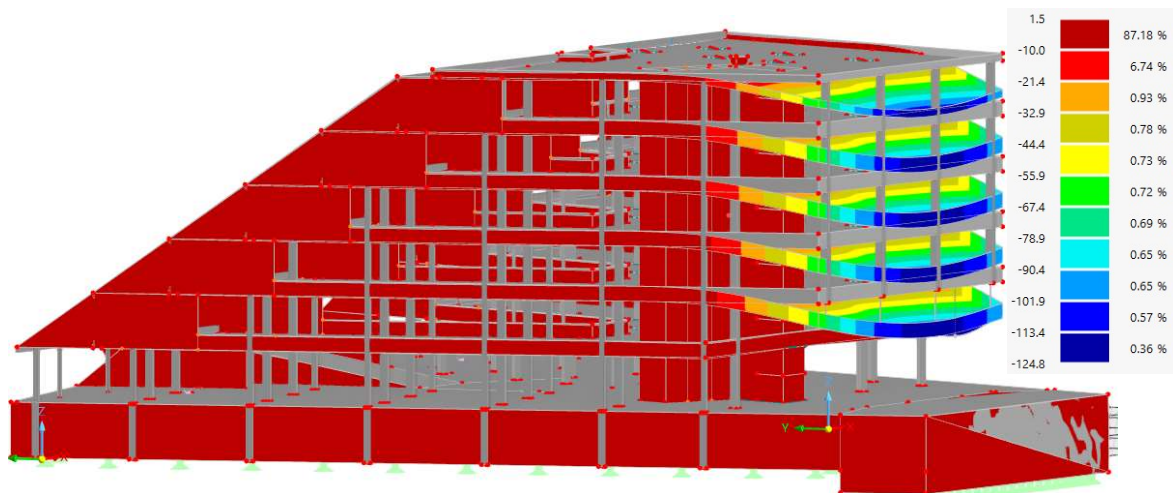
Vnitřní schodiště je řešeno jako „dvouramenný železobetonový prefabrikát“ uložený na akustické podložky v ozubech mezipodesty a hlavní podesty. Venkovní schodiště na severní fasádě jsou ocelová. Tvoří je ramena stoupající po fasádě a vodorovné lávky směřující k jednotlivým podlažím domu.

## 5.2. Varianta A

V tomto prvním variantní řešení bylo záměrně vynecháno jakékoliv podepření a mělo za úkol zhodnotit, zda jsou vůbec podpěry zapotřebí. Byl tak vytvořen volný prostor pod předsazenými horními patery (Obr. 27). Po provedení základního výpočtu bylo zjištěno, že globální deformace (pokles) těchto pater dosahuje téměř 125 mm (Obr. 28). Z čehož vyplívá, že budova vyžaduje podepření této části.



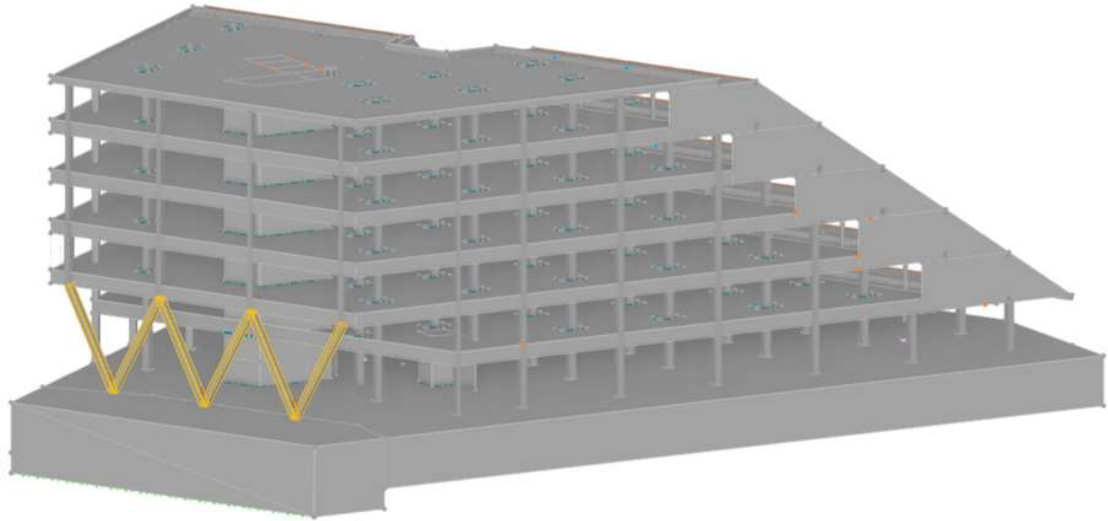
Obr. 27: Varianta A – 3D model



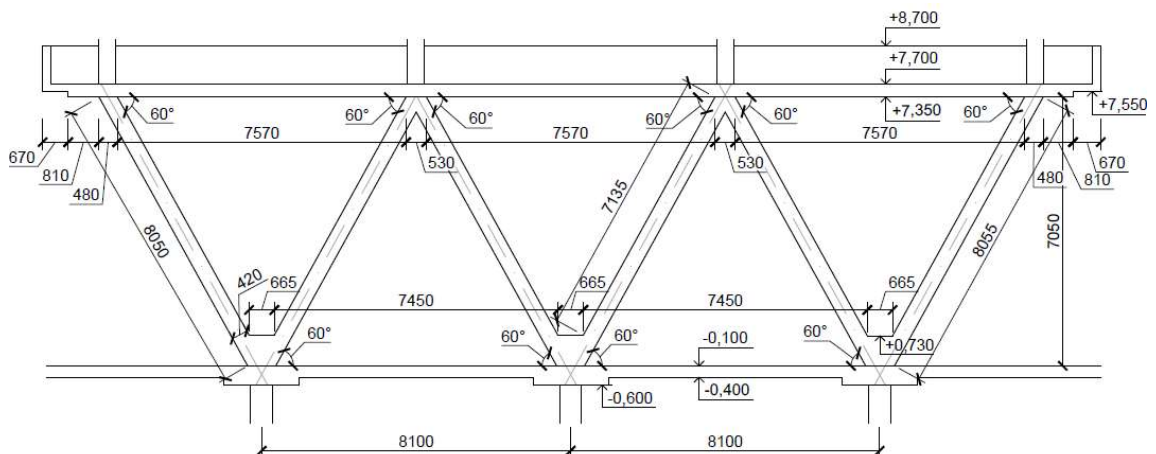
Obr. 28 Varianta A – globální deformace uz [mm]

### 5.3. Varianta B

Ve variantě B je prostor řešen podepřením pomocí šesti šikmých železobetonových sloupů, kde se v patě stýká vždy dvojice sloupů. Rozmístění sloupů je zvoleno tak, aby každý sloup horního patra byl vynášen sloupem šikmým, pomocí nichž je přenos zatížení do suterénních sloupů, potažmo pilot. Výpočty a výsledky pro variantu B jsou uvedeny v Příloze 1 – *Statický výpočet*.



Obr. 29: Varianta B – 3D model

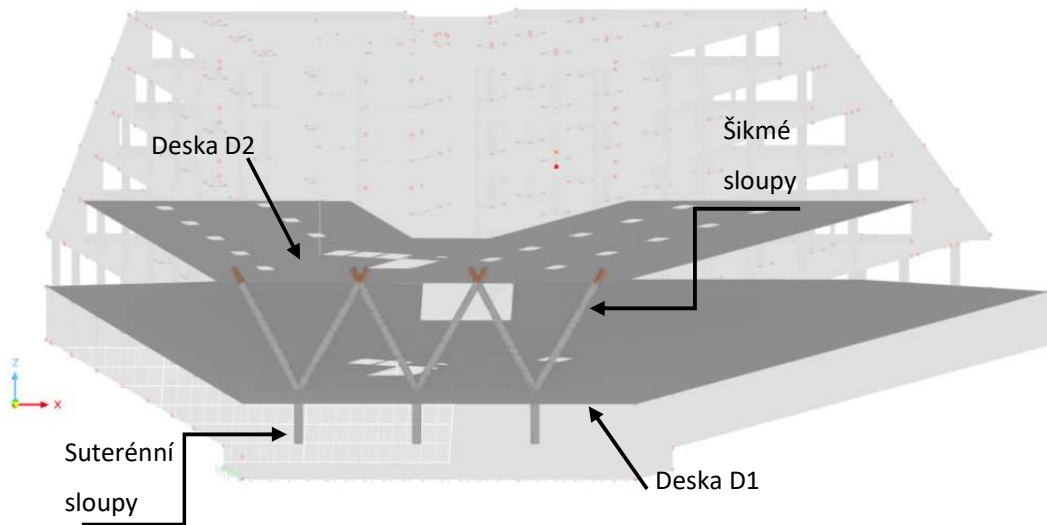


Obr. 30: Varianta B – pohled na sloupořadí

V této variantě B, jsou navrženy štíhlé sloupy, na kterých byly určeny účinky druhého řádu pomocí ručního výpočtu, a to metodou jmenovité křivosti a metodou jmenovité tuhosti. Vstupní parametry jako jsou vnitřní síly prvního řádu byly převzaty z 3D modelu. Rovněž byl proveden návrh výztuže pomocí výpočetního programu Dlubal RFEM 6.01, který tyto účinky zohledňuje.

Konstrukční návrh podepření překonzolované části budovy DOCK in Two

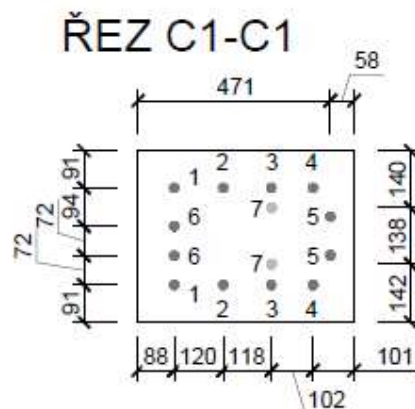
Byl proveden celkový návrh sloupů včetně vyztužení na veškeré účinky zatížení. Dále bylo provedeno ověření protlačení šikmých sloupů v hlavě skrze desku a návrh výztuže desek, kterých se tyto sloupy přímo dotýkají. Podrobný návrh a posudek byl proveden rovněž pro sloupy suterénní, které podpírají sloupy šikmé. Taktéž u těchto prvků posudek zahrnuje ověření protlačení s návrhem opatření, jež tomuto vlivu odolá.

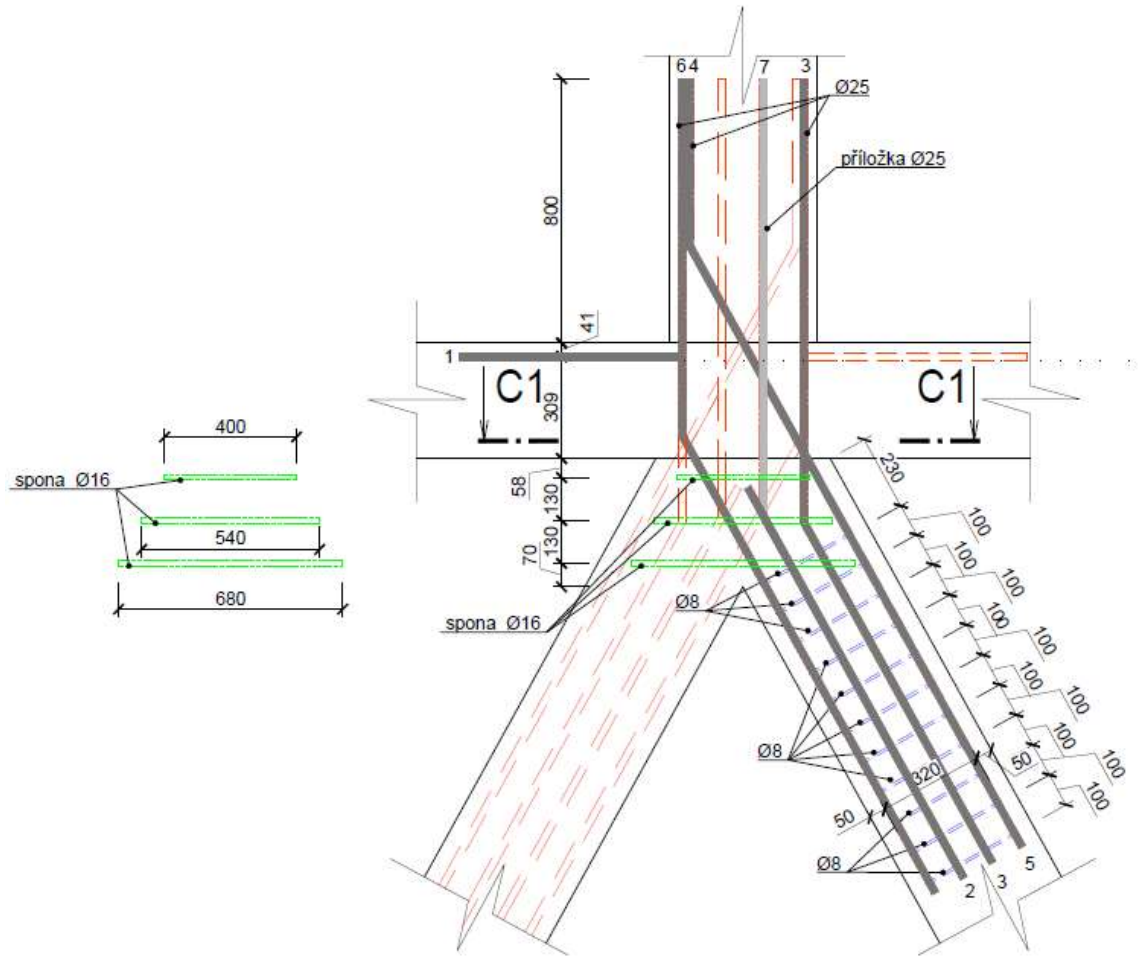


Obr. 31: Varianta B – řešené konstrukce

### 5.3.1. Svislé konstrukce

Exteriérové sloupy navrženy jako železobetonové monolitické o průřezu 420 x 420 mm pod úhlem 60°, délky 8500 mm. V suterénu jsou navrženy čtvercové sloupy 580 x 580 mm délky 3700 mm s viditelnou hlavicí.





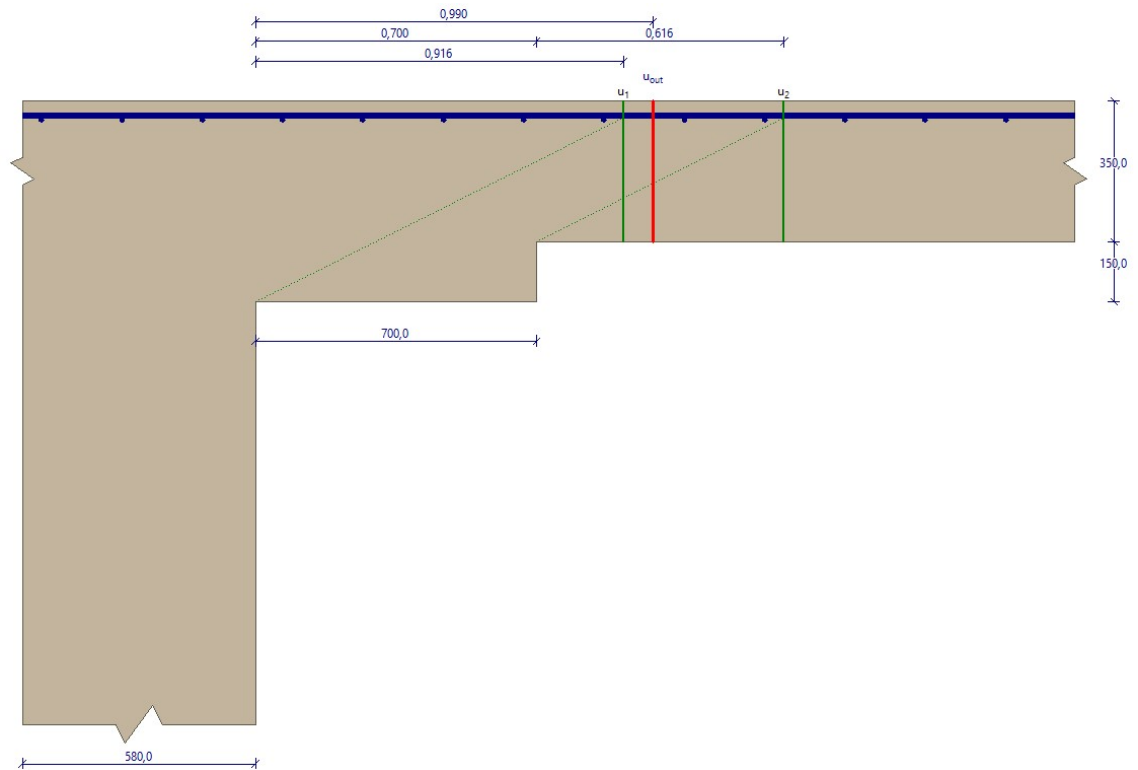
Obr. 32: Detail styku hlavy sloupů s deskou

### 5.3.2. Vodorovné konstrukce

V řešené části objektu je navržena deska D1 (strop 1.PP) tloušťky 300 mm, která je lokálně zvětšena nad suterénními sloupy čtvercovými hlavicemi o rozměrech 1980 x 1980 x 150 mm (Obr. 32). Tato hlavice bezpečně zabrání možnému protlačení sloupu deskou.

Deska D2 nad průchodem je tloušťky 200 mm, kdy je lokálně zvětšena v pruhu širokém 4500 mm od okraje na 350 mm, tato navařená úprava je nezbytná, jelikož samotná deska tloušťky 200 mm by protlaku neodolala viz Příloha 1 – Statický výpočet.

## Konstrukční návrh podepření překonzolované části budovy DOCK in Two



Obr. 33: Navrhovaná úprava proti protlaku suterénních sloupů

## 5.3.3. Vyhodnocení výpočetních metod

Rozdíly mezi velikostmi rozhodujících momentů jednotlivých výpočetních metod se započítáním vlivu druhého řádu nejsou až tak markantní, avšak metoda jmenovité tuhosti je téměř totožná s hodnotami získaným z výpočetního programu. Software Dlubal RFEM si pro posudek MSÚ zvolil odlišnou kombinaci zatěžovacích stavů, kde zohlednil rovněž kroutící moment  $M_T$  a smykové síly  $V_z$  a  $V_y$ , i když jsou návrhové momenty největší z výše uvedených metod, výsledné využití průřezu vychází nejnižší. Při ručním výpočtu bylo vycházeno pouze z obálky ohybových momentů.

V závislosti na štíhlosti a normálové síle, mohou být v některých případech koncové momenty větší než zvětšený ekvivalentní moment.

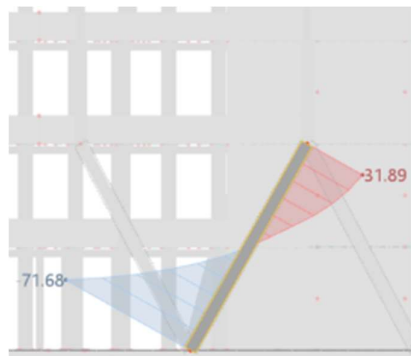


Konstrukční návrh podepření překonzolované části budovy DOCK in Two

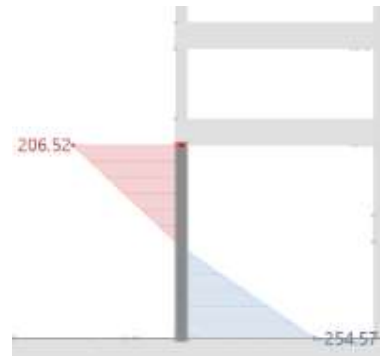
Vnitřní síly:

Pouze účinky prvního řádu

$M_y$  [kNm]



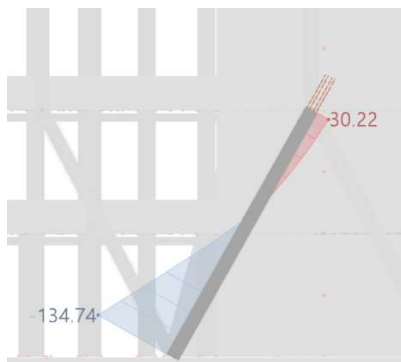
$M_z$  [kNm]



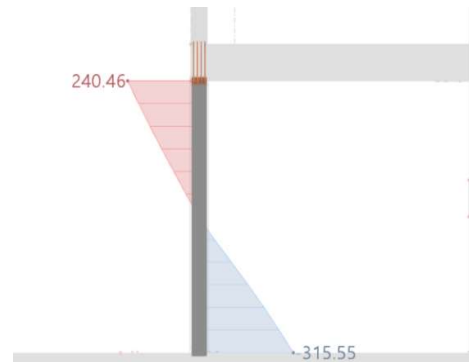
Obr. 34: Vnitřní síly ( $M_y$ ,  $M_z$ ) pouze účinky prvního řádu

Se započítáním účinku druhého řádu

$M_y$  [kNm]



$M_z$  [kNm]



Obr. 35: Vnitřní síly ( $M_y$ ,  $M_z$ ) s účinky druhého řádu

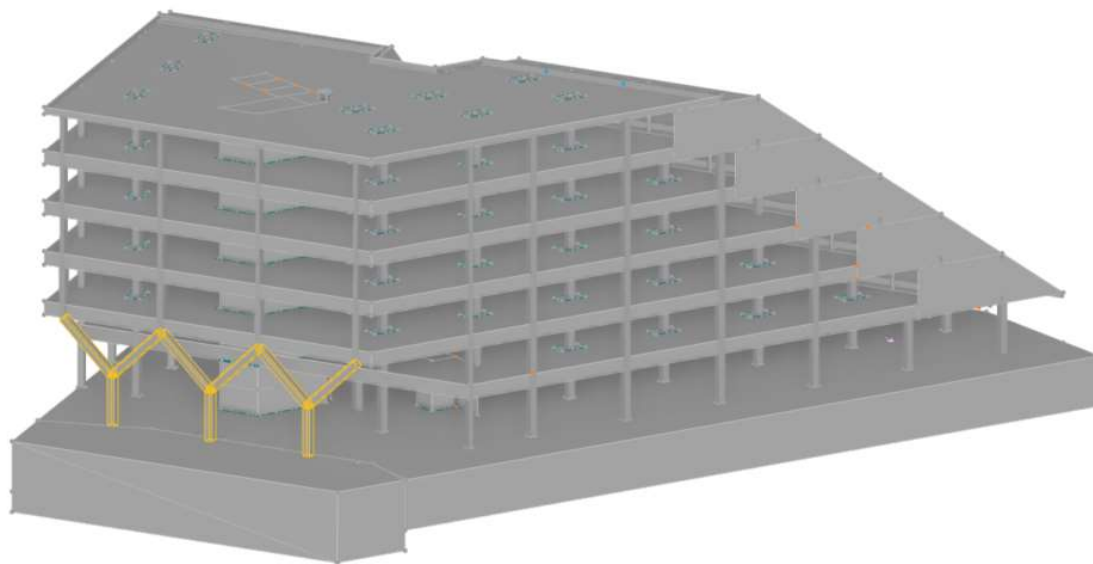
Z obrázků (Obr. 34, Obr. 35) je patrné srovnání vlivu jednotlivých řádů. Přírůstek momentu se započítáním vlivu druhého řádu je zhruba o 60 kNm větší, než pokud bychom uvažovali pouze vliv řádu prvního.

Ohybový moment		$M_{ed}$ [kNm]	Výztuž	Využití	
Ruční výpočet	Metoda jmenovité tuhosti	$M_y$	134,72	12 x Ø25	99,00 %
		$M_z$	307,00		
	Metoda jmenovité křivosti	$M_y$	123,52	12 x Ø25	95,20 %
		$M_z$	299,57		
Dlubal RFEM 6.01	Druhý rád Picardova metoda	$M_y$	134,74	12 x Ø25	83,0 %
		$M_z$	315,55		

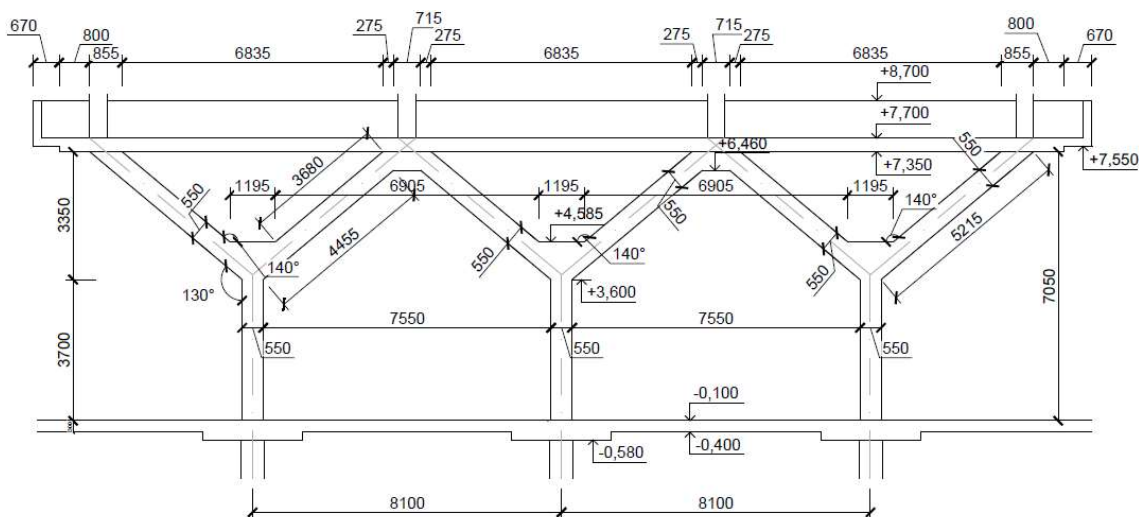
Tab. 1: Shrnutí návrhových momentů

## 5.4. Varianta C

V tomto variantním řešení je prostor podepřen pomocí tří železobetonových sloupů tvaru písmene Y, kde svislá část sloupu na výšku jednoho podlaží, tedy 3,7 m. Rozmístění sloupů je zvoleno tak, aby každý sloup horního patra byl vynášen šikmými rameny sloupů, pomocí nichž je zajištěn přenos zatížení do svislé části, suterénních sloupů a pilot. Výpočty a výsledky pro variantu C jsou rovněž uvedeny v *Příloze 1 – Statický výpočet*.



Obr. 36: Varianta C – 3D model

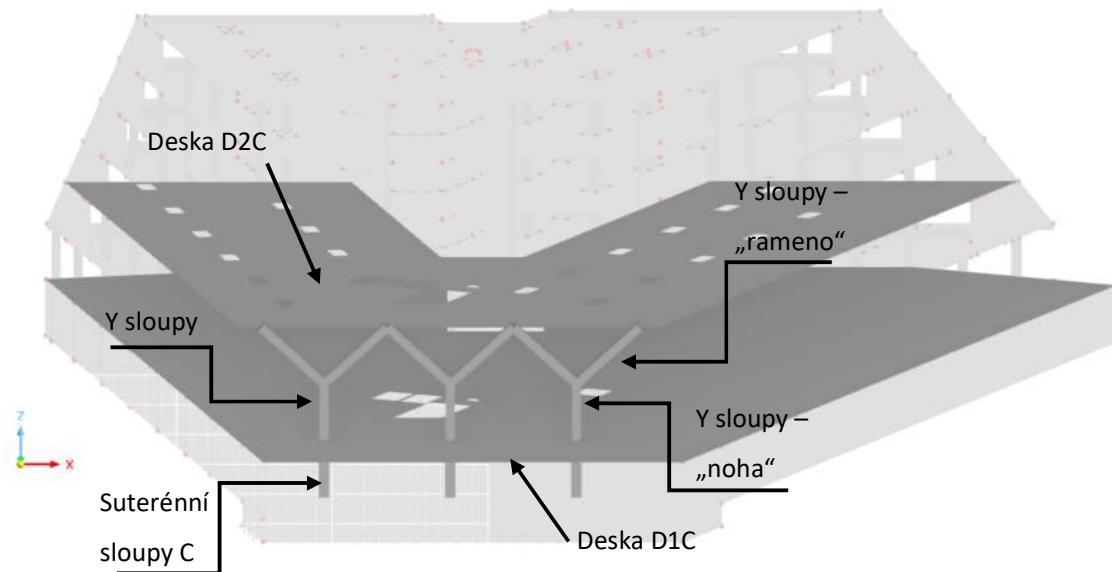


Obr. 37: Varianta C – pohled na sloupořadí

Byl proveden celkový návrh „Y“ sloupů včetně vyztužení na veškeré účinky zatížení. Sloupy byly posouzeny na protlak skrze desku a proveden návrh vyztuže desek, se kterými jsou sloupy v kontaktu. Podrobný návrh a posudek byl proveden rovněž pro sloupy suterénní, které podpírají horní navažené

Konstrukční návrh podepření překonzolované části budovy DOCK in Two

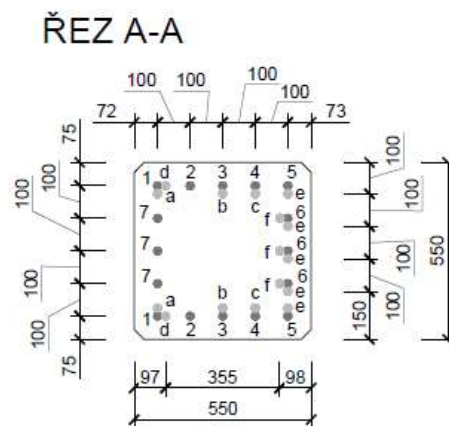
sloupořadí. Taktéž u těchto prvků posudek zahrnuje ověření protlačení s návrhem opatření, jež tomuto vlivu odolá.



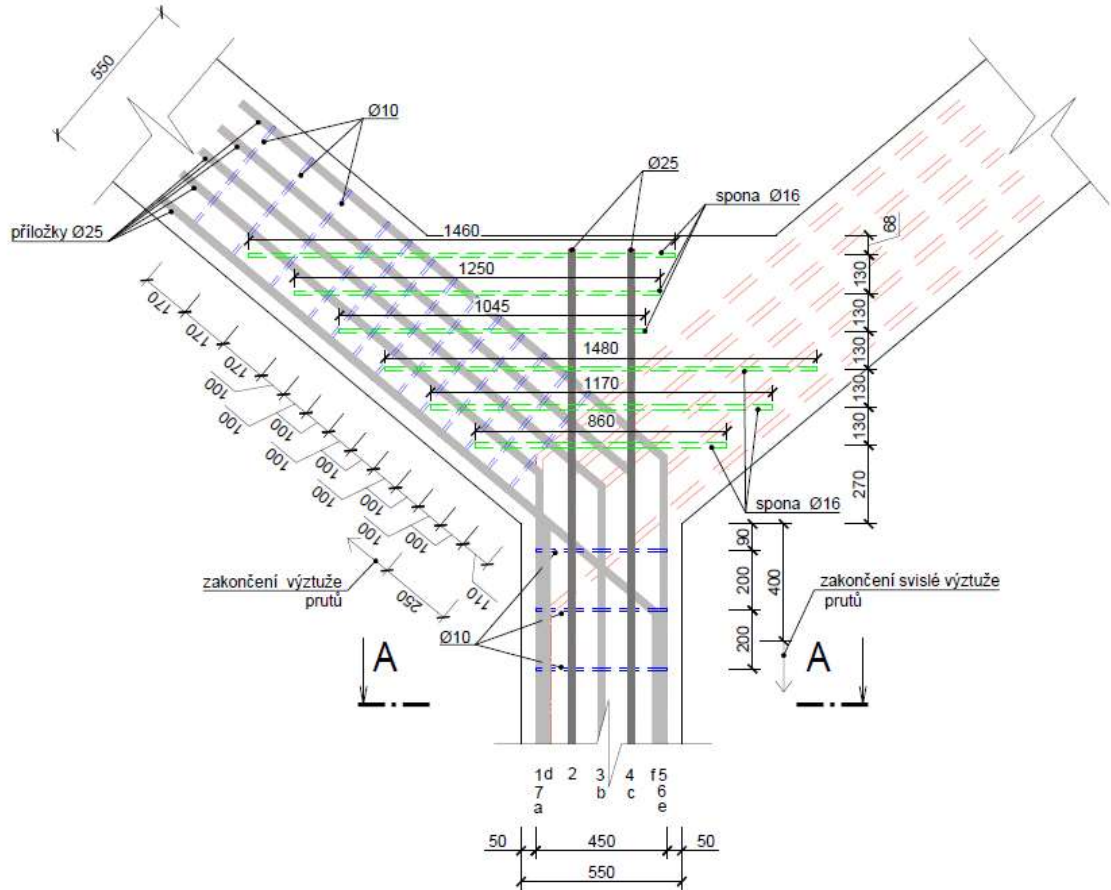
Obr. 38: Varianta B – řešené konstrukce

### 5.4.1. Svislé konstrukce

Exteriérové čtvercové sloupy jsou navrženy jako monolitické železobetonové, kde ze svislé části dlouhé 3700 mm vystupují jednotlivá ramena pod úhlem 40° délky 5485 mm. Tyto sloupy jsou jednotného průřezu rozměru 550 x 550 mm. Pod sloupy jsou v suterénu navrženy čtvercové sloupy 610 x 610 mm délky 3700 mm doplněny o viditelnou hlavici.



Konstrukční návrh podepření překonzolované části budovy DOCK in Two

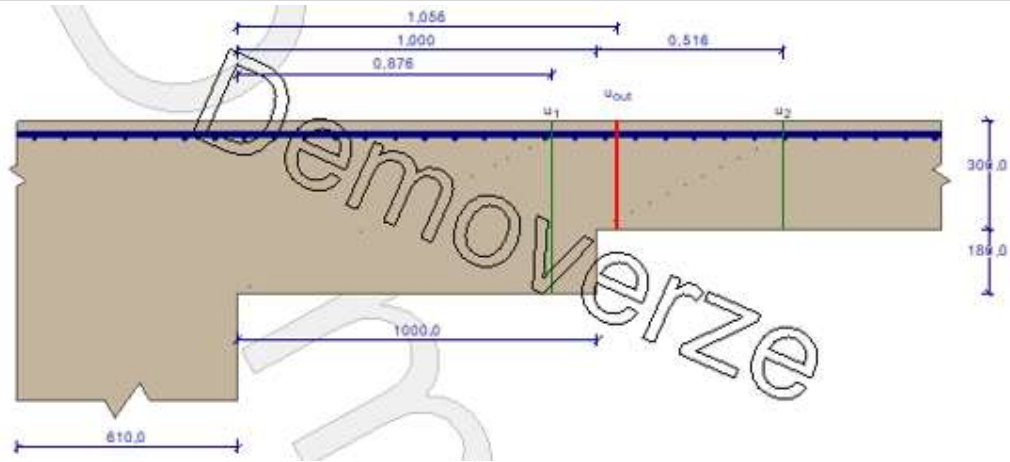


Obr. 39: Detail styku „rameno a nohy“ Y sloupu

#### 5.4.2. Vodorovné konstrukce

V řešené části objektu je navržena deska D1C (strop 1.PP) tloušťky 300 mm, která je lokálně zvětšena čtvercovými hlavicemi o rozměrech 2610 x 2610 x 180 mm.

Deska D2C nad průchodem je tloušťky 200, kdy je lokálně zvětšena v pruhu širokém 4500 mm od okraje na 350 mm.



Obr. 40: Navrhovaná hlavice suterénních sloupů

### 5.4.3. Shrnutí

Již téměř na počátku práce bylo patrné, že budova vyžaduje podepření v řešené části objektu. Nutnost podpor byla demonstrována na variantě A, kdy deformace vrchních pater dosahovala téměř 125 mm.

Ve variantě B bylo navrženo šest šikmých sloupů. Na těchto sloupech vycházejí o poznání nižší vnitřní síly, tím pádem i jednotlivé rozměry jsou objemově menší oproti variantě C.

Varianta C nabízí o něco více otevřený prostor průchodu ovšem za cenu užití masivnějších průřezu a nutnosti použití více výztuže větších profilů. Tato varianty vyžaduje o 100 mm větší průměr piloty pod sloupy, ovšem je o 1000 mm kratší.

Jako ekonomicky výhodnější a efektivnější se jeví varianta B, tedy podepření šesti šikmými sloupy na celou výšku podchodu. Dochází k lepšímu přerozdělení vnitřních sil a tím i úspory materiálu.

## 6. Založení

Objekt je založen na souvrství zeminy bylo převzato z IGP pro kolektor Hlávkův most v Praze. Z hlediska charakteristik zemin se jedná o předpokládanou skladbu v dané lokalitě, jedná se o Záhořanské břidlice. Hladina podzemní vody se nachází 7,82 m od původního terénu. Pro zjištění přesných parametrů zemin by bylo nutné provést vrt na místě stavby.

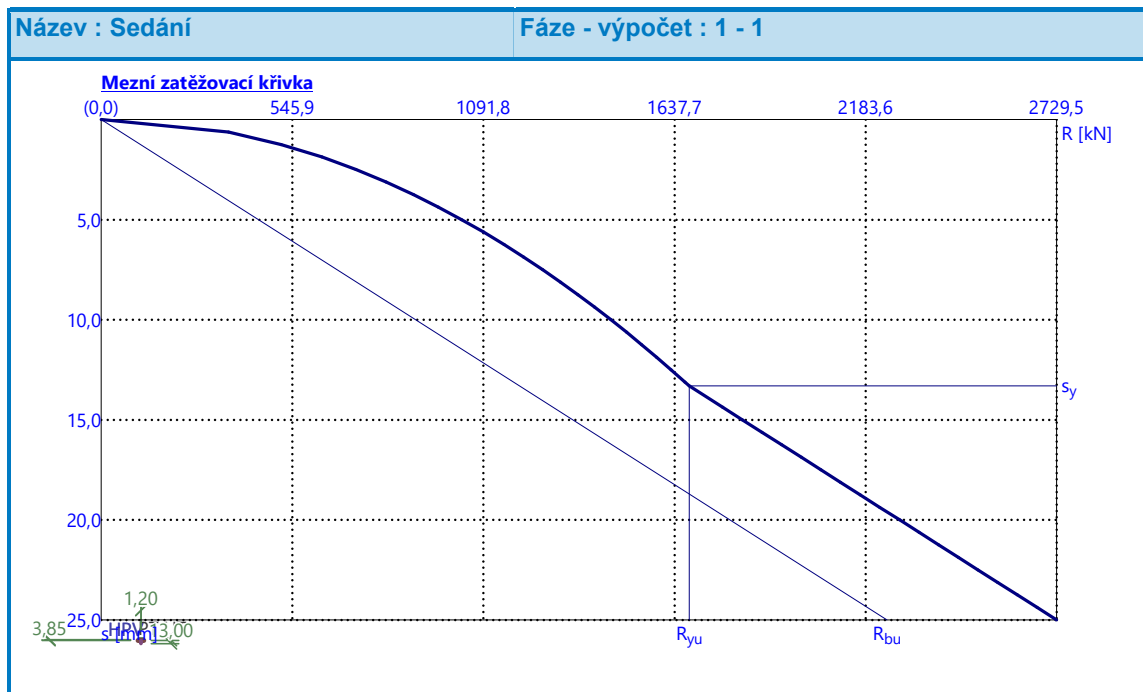
Hloubka [m]	Hornina
0,00 – 2,27	AN-navážka
2,27 – 8,67	FL-P-fluv. sedimenty Vltavy
8,67 – 9,56	W5-zcela zvětralé (ZHR)
9,56 -11,95	W4/W3-silně zvětralé břidlice (ZHR)
11,95-13,65	W2 – navětralé břidlice (ZHR)
13,65-24,50	W1 – zdravé břidlice (ZHR)

Tab. 2: Předpokládaný geologický profil

V obou variantách bylo vycházeno ze stejných základových poměrů. Piloty byly navrženy na limitní sedání 25 mm.

Ve variantě B byla navržena pilota průměru 1,2 m a délky 13 m, vyztužena 18 kusy profilu 32 mm a smykovou výztuží profilu 16 mm po vzdálenosti 300 mm.

Varianta C vyžaduje dle návrhu pilotu průměru 1,3 m délky 12 m, vyztužena 20 kusy profilu 32 mm a smykovou výztuží profilu 16 mm po vzdálenosti 300 mm.



Obr. 41: Ukázka mezní zatěžovací křivky (varianta B)

## 7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo provést na základě získaných poznatků návrh vhodného podepření překonzolované části administrativní budovy, včetně zpracování výkresové dokumentace vybraných prvků.

V rámci rešeršní části práce bylo popsáno působení železobetonových prvků namáhaných kombinací normálové síly a ohybových momentů včetně posouvajících sil. V práci byla shrnuta problematika železobetonových sloupů s ohledem na jejich štíhlost a odlišnosti v chování masivních, velmi štíhlých a štíhlých sloupů. Byly představeny jednotlivé metodiky návrhu pro stanovení účinků druhého řádu. Rovněž byly popsány možnosti provádění šikmých železobetonových sloupů a zhodnoceny možnosti řešení napojení exteriérových sloupů s ohledem na tepelně technické vlastnosti.

Druhá část se zabývá vlastním návrhem podpor vybrané části administrativního objektu DOCK in Two. Byly popsány tři konstrukční varianty podepření, doplněné schématickými obrázky. Pro řešení objekt byl vytvořen prostorový model budovy. Na variantě A byla demonstrována nutnost přímého podepření – konstrukce se sama "neunes", její návrh nebyl dále rozvíjen. U varianty B byl prostor pod vyložení doplněn o šestici šikmých sloupů uspořádaných do písmene „V“. Pro tuto variantu byl proveden jak ruční výpočet zjednodušenými metodami (metoda jmenovité tuhosti, metoda jmenovité křivosti), tak výpočet numerickým výpočetním programem. Varianta C představuje návrh trojice sloupů ve tvaru písmene "Y". Pro varianty B a C byl proveden podrobný návrh a posudek včetně vyztužení konstrukcí s nimiž sloupy interagují (deska, suterénní sloupy, piloty). V obou případech byla prokázána jejich realizovatelnost. Jako výhodnější se jeví varianta B, kde bylo dosaženo efektivnějšího rozložení vnitřních sil, a tím pádem i docílení menších průřezů jednotlivých sloupů. Varianta C naopak nabízí možnost volnějšího prostoru v oblasti průchodu, avšak za cenu mohutnější konstrukce. Zadáním práce bylo rovněž zhotovení výkresové dokumentace tvaru a vyztužení vybraných prvků.

Veškeré stanovené cíle byly dosaženy a splněny. Během zpracovávání diplomové práce jsem si prohloubil znalosti ohledně problematiky metod návrhu sloupu s účinky druhého řádu, které obsahují velké množství vstupních parametrů. Tyto parametry bylo nutné dopočítat na základě údajů o geometrii konstrukce, použitých materiálech, množství i rozmístění vyztuže a hodnotách vnitřních sil při různých kombinacích zatížení. Nabrané zkušenosti shledávám jako velmi přínosné s ohledem na svou budoucí profesní praxi.

## 8. Literatura

### 8.1. Technické normy

- [1] **ČSN EN 1992-1-1 (731201)** - Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [2] **ČSN 73 0540** – Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí budov. Názvosloví požadavky, kritéria
- [3] **ČSN EN 1990 (730002)** - Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- [4] **ČSN EN 13670 (732400)** – Provádění betonových konstrukcí
- [5] **ČSN EN 1990 + 1995** - MSÚ (STR/GEO) – trvalá/dočasná – rovn. 6.10.
- [6] **ČSN EN 1991-1-1 (730035)** -Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [7] **ČSN EN 1991-1-3 (730035)** - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- [8] **ČSN EN 1991-1-4 (730035)** - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem.

### 8.2. Odborné publikace

- [9] H. Hanzalová, J. Šmejkal, *Betonové a zděné konstrukce 1 – Základy navrhování betonových konstrukcí – skriptum*. Nakladatelství ČVUT, Praha. 2013
- [10] Joost C.Walraven, Dick Stoelhorst, *Tailor Made Concrete Structures: New Solutions For Our Society*. CRC Press/Balkema. Taylor & Francis Group, London, UK 2008
- [11] J. Bilčík, Juraj, *Betónové konštrukcie – Navrhovanie podl'a EN 1992-1-1*, 2. vydanie. Vydavateľstvo STU, 2008
- [12] Nilson, Arthur H., David Darwin a Charles W. Dolan, *Design of Concrete Structures. Fourteenth Edition in SI Units*. New York: McGraw-Hill Education. 2010
- [13] R. Štefan, *Posuzování betonových sloupů, 9. přednáška* [elektronická přednáška]. Fakulta stavební ČVUT v Praze. Dostupné z: [https://people.fsv.cvut.cz/www/stefarad/vyuka/133PSBZ/133PSBZ\\_Prednaska\\_A9.pdf](https://people.fsv.cvut.cz/www/stefarad/vyuka/133PSBZ/133PSBZ_Prednaska_A9.pdf)
- [14] J. Vašková, *Betonové a zděné konstrukce 1, Štíhlé tlačené prvky, 5. přednáška* [elektronická přednáška]. Fakulta stavební ČVUT v Praze. Dostupné z: [http://people.fsv.cvut.cz/~vaskova/BK01\\_prednasky.html](http://people.fsv.cvut.cz/~vaskova/BK01_prednasky.html)



### 8.3. Webové stránky + odborné články online

- [15] *Sloupy s krátkými konzolami* [online]. [cit. 2022-30-09]. Dostupné z:  
<https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-atypicke-prefabrikovane-haly-pro-prumysl.html>
- [16] *Překonzolované konstrukce* [online]. [cit. 2022-30-09]. Dostupné z:  
<https://jakubcigler.archi/administrativni-budova-visionary>
- [17] *Poděpění pomocí sloupů* [online]. [cit. 2022-30-09]. Dostupné z:  
<https://www.aedproject.cz/administrativni-budova-main-point-karlin>
- [18] *ŽB zavěšená konstrukce* [online]. [cit. 2022-30-09]. Dostupné z:  
<https://www.ckait.cz/content/predpinana-nosna-konstrukce-budovy-trimaran-praha-4-pankrac>
- [19] *Mimostředný tlak* [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z:  
<http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/pb-a-svb-tlacene-prvky>
- [20] *Iso nosník žb sloupy* [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z:  
<https://www.schoeck.com/cs/sconnex-typ-p>
- [21] *Tepelně izolační napojení konstrukcí* [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z:  
<https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/23181-tepelne-izolacni-napojeni-svislych-nosnych-konstrukci>
- [22] *Minerální vata* [online]. [cit. 2022-10-10]. Dostupné z:  
<https://www.dek.cz/fasadni-vata>
- [23] *Sconnex der typ p preis* [online]. [cit. 2022-10-10]. Dostupné z:  
[https://www.schoeck.com/view/8609/Preisliste\\_2021\\_gueltig\\_ab\\_01.01.2021%5B8609%5D.pdf](https://www.schoeck.com/view/8609/Preisliste_2021_gueltig_ab_01.01.2021%5B8609%5D.pdf)
- [24] *Dock in Two* [online]. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z:  
<https://www.stavbaroku.cz › printDetail>
- [25] *Dock in Two* [online]. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z:  
<https://www.archiweb.cz/b/dock-in-two-novostavba-administrativni-budovy>
- [26] *Excentricita* [online]. [cit. 2022-10-10]. Dostupné z:  
<https://adoc.pub/exentricita-vystednost-normalove-sily.html>
- [27] *Systémové bednění sloupů* [online]. [cit. 2022-10-31]. Dostupné z:  
<https://www.peri.cz/projekty/bytove-a-obcanske-stavby>
- [28] *Uložení prefabrikované desky* [online]. [cit. 2022-10-31]. Dostupné z:  
<https://www.hbbeton.cz/cz/produkty/stavebni-materialy/stropni-desky.html>
- [29] *Mapy – Praha* [online]. [cit. 2022-10-31]. Dostupné z:  
<https://www.google.com/maps>

## 9. Použitý software

Autodesk AutoCAD 2019 – Studentská verze

Dlubal RFEM 6.01 – Studentská verze

FIN EC 2022 – Beton – Demo verze

FIN EC 2022 –Protlak – Demo verze

GEO05 2022 CS – Pilota – Demo verze

PTC Mathcad Prime 7.0.0.0 - Studentská verze