



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta stavební  
Katedra betonových a zděných konstrukcí

**Studie velkorozponové stropní konstrukce  
administrativní budovy**

**Case Study of Long-Span Slab of Commercial  
Building**

**Bakalářská práce**

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Josef Novák, Ph.D.

**Lucie Bělohradská**

Praha 2018

# Formulář zadání bakalářské práce



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bělohradská Jméno: Lucie Osobní číslo: 439078

Zadávající katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Studie velkorozponové stropní konstrukce administrativní budovy

Název bakalářské práce anglicky: Case Study of Long-Span Slab of Commercial Building

Pokyny pro vypracování:

Bakalářská práce se bude skládat z dílčích částí:

A/ Rešerše na téma velkorozponové železobetonové stropní konstrukce: přehled systémů, výrobní technologie, výhody/nevýhody, statické působení, uplatnění

B/ Praktická část: uplatnění vybraných variant systémů pro zadanou administrativní budovu, studie statického působení z hlediska MSÚ a MSP

Seznam doporučené literatury:

Zahraniční a české volně dostupné odborné publikace

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Josef Novák, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 15.2.2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2018

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

19.2.2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Jsem si vědoma toho, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., ve znění zákona č. 81/2005 Sb. (autorský zákon).

V Praze dne

.....  
Lucie Bělohradská

## Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Josefovi Novákovi, PhD. za odborné a cenné rady, čas strávený při konzultacích a za celkové vedení při zpracování bakalářské práce.

## Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem velkorozponové stropní konstrukce na objektu řešeném v rámci semestrálního projektu. V první části práce jsou popsány různé varianty stropní konstrukce na větší rozpony. V další části už se práce zaměřuje jen na vylehčené stropní systémy aplikované na objekt a jsou porovnávány výpočetní modely vhodné pro výpočet vnitřních sil v programu Scia Engineer. Cílem bakalářské práce je návrh stropní desky s vylehčovacími tvarovkami a posouzení desky na MSÚ a MSP.

## Klíčová slova

Stropní konstrukce, vylehčená deska, výpočetní model, beton, výztuž, MSÚ, MSP

## Abstract

The bachelor thesis deals with the study of large-span slabs applicable to a selected commercial building whose preliminary design was carried out within the previous course called Structural Design Project. The aim of the thesis was to conduct the study of various types of slabs and subsequently to design a selected slab in detail. First, the comprehensive overview of existing concrete-based systems applicable to large-span slabs is presented. Then, the study of computational models of voided slabs in SCIA Engineer software was carried out in order to observe their computational accuracy. The selected computational model was used for the design of a voided slab with respect to ultimate limit state and serviceability limit state.

## Key words

Ceiling, voided slab, computational model, concrete, reinforcement, ultimate limit state, serviceability limit state

# Obsah

1. Úvod .....	8
2. Velkorozponové železobetonové stropní konstrukce .....	9
2.1. Úvod do železobetonových stropních konstrukcí .....	9
2.2. Trámové a žebrové stropní konstrukce .....	10
2.2.1. Systém Velox – jednosměrně pnuté desky .....	11
2.2.2. Systém U-Bahn Beton .....	12
2.3. Kazetové železobetonové stropní konstrukce .....	13
2.3.1. Systém Uninox .....	14
2.3.2. Systém Velox – křížem pnuté desky .....	15
2.4. Vylehčené železobetonové stropní konstrukce .....	16
2.4.1. Systém Bubble Deck .....	16
2.4.2. Systém Cobiax .....	20
2.4.3. Systém U-Boot Beton .....	23
2.4.4. Systém Airdeck .....	25
2.4.5. Systém Beeplate .....	26
2.5. Prefabrikované stropní konstrukce .....	27
2.5.1. Stropy z předpjatých dutinových panelů .....	29
2.5.2. Stropy z předpjatých žebrových panelů .....	30
2.6. Předpjaté monolitické stropní konstrukce .....	30
3. Varianty stropní konstrukce .....	33
3.1. Základní údaje objektu .....	33
3.1.1. Obecný popis .....	33
3.1.2. Technické řešení stavby .....	33
3.1.3. Stropní konstrukce nad sálem .....	34
3.2. Zatížení konstrukce .....	35
3.2.1. Zatížení stropní konstrukce .....	35
3.2.2. Kombinace zatížení .....	36

3.3.	Porovnání systémů stropních desek .....	37
3.3.1.	Výpočet průhybů .....	38
3.3.2.	Porovnání průhybů desek .....	40
3.4.	Výběr výpočetního modelu .....	41
3.4.1.	Výpočetní modely.....	42
3.4.2.	Porovnání výpočetních modelů.....	48
4.	Závěr .....	49
	Zdroje .....	50
	Přílohy .....	53



# 1. Úvod

Bakalářská práce se zabývá studii velkorozponových stropních konstrukcí a jejich aplikací pro vybranou administrativní budovu. Navazuje na semestrální projekt, ve kterém byl zpracován předběžný návrh nosného systému a podrobná analýza trémové stropní konstrukce. Cílem bakalářské práce bylo zpracovat přehled konstrukčních variant stropních konstrukcí pro velká rozpětí a provést podrobnou analýzu varianty zvolené pro zadaný objekt. Hlavním motivem pro výběr tohoto tématu bylo vytvořit efektivnější návrh stropní konstrukce v porovnání s předchozím řešením a rozšířit své znalosti v oblasti vylehčených železobetonových desek, které se v ČR zatím využívají jen v ojedinělých případech.

V první části práce je zpracována rešerše na téma velkorozponové železobetonové stropní konstrukce. Kapitola obsahuje podrobný přehled různých typů stropní konstrukce. Jedná se zejména o železobetonové stropy trémové, žebrové a kazetové, vylehčené stropní konstrukce a okrajově jsou zmíněny i prefabrikované a předpjaté stropní konstrukce.

Následující kapitola se zabývá analýzou chování vybraných typů vylehčených stropních konstrukcí v porovnání s plnou deskou při využití stejného množství betonu pro jejich konstrukci. V programu Scia Engineer bylo vymodelováno několik výpočetních modelů a hledal se ten, kde bylo optimální vyvážení požadavků na výpočet a přesnost.

Třetí část práce se zabývá podrobným návrhem stropní konstrukce. Je navržena výztuž stropní desky na MSÚ a ověřeno, jestli jsou průhyby na desce menší než maximální dovolené. Výstupem BP jsou výkresy tvaru a výztuže stropní desky.

## 2. Velkorozponové železobetonové stropní konstrukce

### 2.1. Úvod do železobetonových stropních konstrukcí

Železobetonové stropní konstrukce jsou v současné době nejpoužívanějším typem stropů. Nejdříve se často využívaly monolitické železobetonové trémové konstrukce, ale později se začaly kvůli složitosti provádění uplatňovat více stropy monolitické deskové, prefabrikované či stropy předepnuté.

Stropní konstrukce ze železobetonu můžeme rozdělit podle dvou hledisek. [1]

- Z konstrukčního hlediska se dělí konstrukce na:
  - Konstrukce trémové – Hlavní nosnou částí jsou železobetonové trámy, které mohou vést v jednom nebo více směrech. Mezi těmito trámy je pnutá železobetonová deska.
  - Konstrukce deskové – Hlavní nosnou část stropu tvoří železobetonová deska. Tato deska se může pnout v jednom nebo více směrech, podle toho, jak je uložena na svislých nosných konstrukcích.
- Z technologického hlediska se dělí konstrukce na:
  - Monolitické železobetonové stropní konstrukce – Monolitické prvky se vyrábí přímo na stavbě. Beton se lije do předem připraveného bednění, ve kterém je uložena výztuž a po zatvrdnutí betonu se bednění odstraní.
  - Prefabrikované železobetonové stropní konstrukce – Prvky se vyrábí v prefách a po dosažení dostatečné pevnosti se převáží na stavbu. Na stavbě se prvky ukládají na svislé nosné konstrukce a poté se spojují, aby byla zajištěna požadovaná tuhost styků.
  - Prefa-monolitické železobetonové stropní konstrukce – Jde o kombinaci předchozích dvou variant. Strop se skládá ze slabé prefabrikované desky, která slouží jako ztracené bednění a na ní se vybetonuje monolitická deska. Po zatvrdnutí betonu dojde ke spřažení obou částí. Výsledná deska působí podobně jako deska monolitická.

Železobetonové konstrukce mají velkou únosnost a odolnost. Umožňují ztužení objektu v obou směrech díky tuhosti v horizontální rovině a tvarové stabilitě. Stropy ze železobetonu je možné použít na jakýkoliv půdorys, jsou nehořlavé, odolné proti požáru a díky vysoké objemové hmotnosti mají dobré zvukově izolační vlastnosti. Pokud nedojde k poškození krycí vrstvy betonu a korozi výztuže, trvanlivost a životnost železobetonu je vysoká.

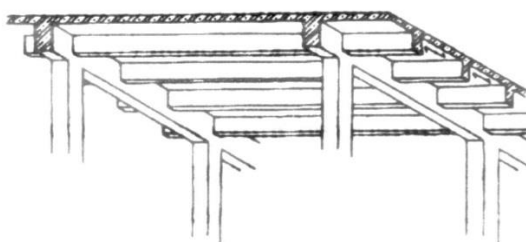
Největší nevýhodou železobetonových stropů je vysoká vlastní tíha, která přitěžuje nejen samotnou stropní konstrukci, ale i podpůrné svislé nosné prvky a základové konstrukce. S rostoucí vlastní tíhou narůstá průhyb stropní konstrukce. Negativní vlivy na svislé deformace stropu má také smršťování a dotvarování betonu, proto je nutné s těmito jevy při návrhu počítat. Železobeton má malý tepelný odpor, špatně se demoluje a recyklace těchto materiálů je nákladná. Nevýhodou monolitických železobetonových stropů je nutné bednění stropních konstrukcí, mokrá proces betonáže, po kterém následuje tvrdnutí betonu; technologické přestávky, které prodlužují celý proces výstavby. V zimě je nutné betonáž omezit kvůli teplotám pod bodem mrazu. Prefabrikované stropní konstrukce sice stavbu urychlí, ale vyžadují těžkou mechanizaci pro transport, manipulaci a ukládání prefabrikátů. Prefabrikované stropy mají menší vodorovnou tuhost než stropy monolitické a jsou citlivější na dodatečné sedání stavby.

## 2.2. Trámové a žebrové stropní konstrukce

Statically efektivnější než běžné deskové stropní konstrukce jsou stropní konstrukce trámové. Trámy jsou monoliticky spojeny s deskou, takže společně vytvářejí staticky výhodný „T“ průřez. V mezipodporovém průřezu je tlak přenášen betonem v horní části nosníku, kde nosník spolupůsobí s deskou. Tah je přenášen výztuží ve spodní části trámu. Trámový strop má v porovnání s deskovým stropem o stejné výšce menší hmotnost, což může kladně ovlivnit i průhyby stropu od vlastní tíhy. [1]

Trámové stropní konstrukce se využívají na rozpory 9 m a více (deskové stropy – do 6 m, speciální případy až 9 m). Osová vzdálenosti mezi trámy jsou 1,2 až 3,0 m, v případě uložení na průvlacích se trámy umísťují tak, aby na průvlaku nevznikal

extrémní moment od osamělého břemene. Rozměry a osová vzdálenost trámů závisí na rozponu stropní konstrukce, zatížení a způsobu uložení.



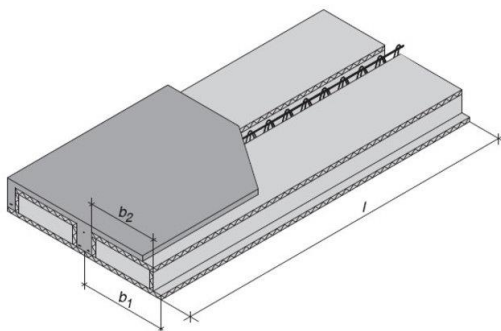
Obr. 2.1: Trámový strop [1]

Žebrové stropní konstrukce jsou typem trámového stropu, kde jsou žebra (trámy) uloženy v menších osových vzdálenostech 0,5 až 1,0 m. Žebra jsou úzká 60 až 120 mm a železobetonová deska může být tenčí (50 až 70 mm) než u trámových stropů.

Nevýhodou trámových stropů je vysoká pracnost spojená se sestavením tvarově komplexního bednění a nerovný podhled. Zjištěné nevýhody vedly k vývoji systémových prvků pro jednodušší bednění trámových a žebrových stropů. [1]

### 2.2.1. Systém Velox – jednosměrně pnuté desky

Velox je systém ztraceného bednění, jehož prefabrikované stropní prvky jsou tvořeny ze štěpkocementových desek tloušťky 25 mm a jsou ve tvaru dutých kvádrů. Osová vzdálenost žebek je běžně 500 nebo 330 mm, šířka žebek je 120 mm. Výška tvarovek je 170 až 575 mm. Volba velikosti prvků závisí na zatížení a rozponu stropní konstrukce. Systém Velox je možné použít až do rozpětí 12 m (tab. 2.1). [2]



Obr. 2.2: Systém Velox – jednosměrně pnutá stropní konstrukce [2]

Výhodou tohoto systému je snadné provádění a dobrá opracovatelnost bednicích prvků. Štěpkocementové desky mají dobré tepelně izolační vlastnosti, fungují i jako izolace proti šíření kročejového hluku a mají výbornou přilnavost k omítkám.

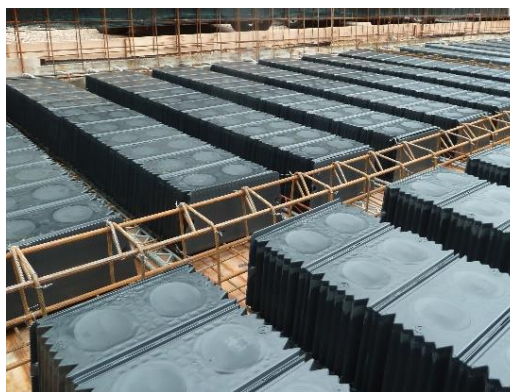
Stropní tvarovky se ukládají na bednicí rošt. Do žeber mezi tvarovkami se uloží ocelové stropní nosníky nebo klasická betonářská výztuž, nad tvarovky se uloží horní výztuž desky. Takto připravená konstrukce se už jen zalije betonem. Výška betonu nad tvarovkami je 50 mm. [3]

Výška tvarovky + betonová deska [mm]	Výška stropu [mm]	Standardní výpočtové zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]	Max. světlé rozpětí [m]
170 + 50	220	6,99	5,9
220 + 50	270	7,36	6,9
260 + 50	310	7,65	7,7
315 + 50	365	8,04	8,6
350 + 50	400	8,32	9,6
400 + 50	450	8,69	10,2
500 + 50	550	9,48	11,2
575 + 50	625	10,09	12,0

Tab. 2.1: Technické specifikace systému Velox [2]

### 2.2.2. Systém U-Bahn Beton

Systém U-Bahn Beton jsou žebrové stropy s podhledovou vyztuženou betonovou deskou, která je monoliticky spojená s vlastní konstrukcí stropu. Dutiny v konstrukci stropu jsou tvořeny polypropylenovými vylehčovacími prvky. Princip těchto stropů je stejný jako u stropů bedničkových, kde se místo plastu používalo dřevo. Výroba dřevěných bedniček byla velice pracná a náročná na spotřebu dřeva, proto už se v současné době bedničkové stropy nepoužívají. [2] [4]



Obr. 2.3: Systém U-Bahn Beton [6]

U-Bahn lze použít pro všechny typy staveb, kde jsou navrženy jednosměrně pnuté desky. Výhodou je jednoduchost a přesnost při montáži těchto stropů, rovný pohled bez nutnosti omítání, redukovaná vlastní tíha desky a větší odolnost proti ohni. U-Bahn desky reagují na seismicitu lépe než plné desky. Dutiny v desce lze použít i pro rozvod kabeláže. [4]

		H 13 cm	H 16 cm	H 20 cm	H 24 cm
<b>Půdorysné rozměry prvku</b>	[mm]	1200x400	1200x400	1200x400	1200x400
<b>Výška prvku</b>	[mm]	130	160	200	240
<b>Výška nožiček</b>	[mm]	0-4-5-6-7	0-4-5-6-7	0-4-5-6-7	0-4-5-6-7
<b>Váha jednoho prvku</b>	[kg]	2,2	2,6	3,0	3,8
<b>Objem jednoho prvku</b>	[m <sup>3</sup> ]	0,055	0,068	0,086	0,102

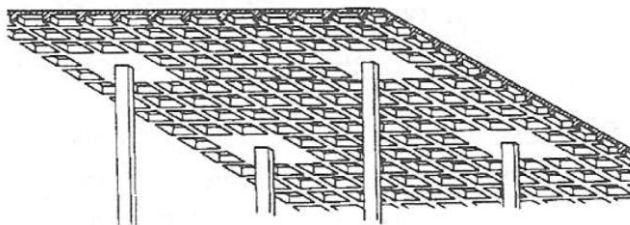
Tab. 2.2: Technické specifikace systému U-Bahn Beton [5]

Výroba U-Bahn stropů probíhá tak, že se nejdříve připraví klasické bednění pro stropní konstrukci. Na bednění se položí spodní výztuž desky, prvky U-Bahn Beton v požadovaných vzdálenostech a horní výztuž desky. Betonáž probíhá ve dvou etapách; nejdříve se vybetonuje deska stejné tloušťky, jako je výška nožiček vylehčovacích prvků, aby nedošlo k nadzvednutí prvků. Po částečném zatuhnutí první vrstvy se deska dobetonuje do výsledné tloušťky. [6]

### 2.3. Kazetové železobetonové stropní konstrukce

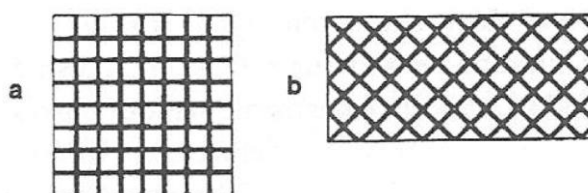
Kazetové stropy jsou konstrukce s trámy orientovanými ve dvou směrech, jde tedy o desky dvousměrně pnuté. Kazety jsou tvořeny křížícími se trámy a jsou zakryté

tenkou železobetonovou deskou (minimálně 50 mm). Žebra jsou od sebe vzdálena 500 až 1200 mm. Pokud je vzdálenost mezi žebry větší, označují se stropy jako roštové. Oproti trémovým stropům mají kazetové stropy výhodnější statické parametry, proto je lze použít pro velká zatížení a rozpory až 12 m. [1]



Obr. 2.4: Kazetový strop lokálně podepřený [1]

Zastropovaný půdorys by měl být čtvercový nebo obdélníkový do poměru délek stran 1:1,5. Kazetové stropy je možné použít i pro obdélníkové půdorysy s poměrem nad 1:1,5, ale je efektivní, když se žebra natočí o 45°. Natočení pomáhá i k redukci kroutících momentů v žebrech v rozích půdorysu. [1]



Obr. 2.5: Orientace žeber, a – běžná orientace, b – natočená orientace o 45° [1]

Kazetové konstrukce s viditelnými trámy se používají pro reprezentativní prostory, kde se uplatňují z hlediska architektonického. Často ale není kazetový pohled vhodný kvůli technologiím, proto se používá ztracené bednění pro kazety.

### 2.3.1. Systém Uninox

Uninox jsou speciálně vyztužené typizované plastové bednicí dílce, které se používají pro jednoduché vytvoření žeber ve dvou na sebe kolmých směrech. Uninox dílce se vyrábí ve třech modulových řadách (700 mm, 800 mm a 900 mm) a jejich výška je 150 až 425 mm. Nejvhodnější rozpětí pro monolitické kazetové stropy Uninox je 8 až 12 m. [7]



Obr. 2.6: Systém Uninox [8]

Výhodou systému je jeho demontovatelnost po zatuhnutí betonu, což umožňuje opakované použití bednicích prvků. Oproti předchozímu systému vytváří kazetový pohled, který lze využít v reprezentativních prostorech. Montáž plastových prvků je jednoduchá a díky modulovým řadám také velice přesná. [9]

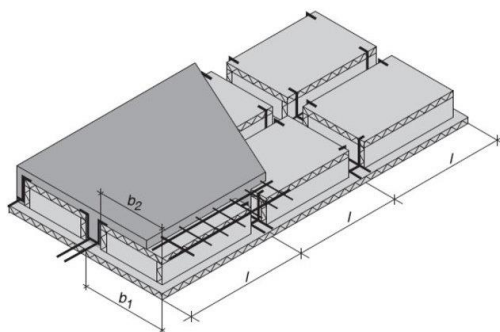
Skupina		70			80		90	
Typ		70/17	70/27	70/37	80/25	80/40	90/22	90/42
Půdorysné rozměry prvku	[mm]	700x	700x	700x	800x	800x	900x	900x
		700	700	700	740	725	825	825
Výška prvku	[mm]	175	270	370	250	400	225	425
Výška desky	[mm]	175	270	370	250	400	225	425
		+e	+e	+e	+e	+e	+e	+e
Min. šířka žebra	[mm]	120	120	110	120	125	125	125
Min. osová vzdálenost žeber	[mm]	700	700	700	800	800	900	900
Objem betonu na m <sup>2</sup>	[m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	0,066	0,117	0,174	0,097	0,189	0,082	0,210
		+V <sub>e</sub>	+V <sub>e</sub>	+V <sub>e</sub>	+V <sub>e</sub>	+V <sub>e</sub>	+V <sub>e</sub>	+V <sub>e</sub>
Hmotnost stropu na m <sup>2</sup>	[kg/m <sup>2</sup> ]	158	281	417	233	454	197	504
		+m <sub>e</sub>	+m <sub>e</sub>	+m <sub>e</sub>	+m <sub>e</sub>	+m <sub>e</sub>	+m <sub>e</sub>	+m <sub>e</sub>
e... tloušťka betonové desky nad bednicími prvky								
V <sub>e</sub> ... objem betonové desky nad bednicími prvky								
m <sub>e</sub> ... hmotnost betonové desky nad bednicími prvky								

Tab. 2.3: Technické specifikace systému Uninox [10]

### 2.3.2. Systém Velox – křížem pnuté desky

Jde o stejný systém jako v případě jednosměrně pnuté konstrukce, jen jsou žebra ve dvou směrech. Kazety mohou být jak čtvercového, tak obdélníkového půdorysu, záleží na parametrech stropní konstrukce. Osové vzdálenosti žeber jsou běžně opět 500 nebo 330 mm, šířka žeber je 120 mm. Výška tvarovek je 170 až 575 mm (tab. 2.1). [2]





Obr. 2.7: Systém Velox – dvousměrně pnutá stropní konstrukce [2]

## 2.4. Vylehčené železobetonové stropní konstrukce

### 2.4.1. Systém Bubble Deck

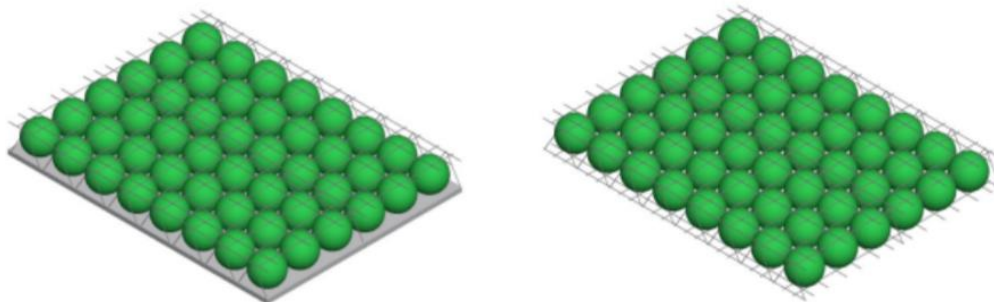
Systém Bubble Deck byl vynalezen v devadesátých letech minulého století v Dánsku. Jedná se o systém vylehčování konstrukcí, který snižuje jejich váhu o více než 30 % a umožňuje zvětšit rozpětí svislých nosných konstrukcí. Bubble Deck je železobetonová stropní deska s ocelovou výztužnou sítí u spodního i horního povrchu desky a dutými plastovými tvarovkami ve tvaru koule uprostřed desky. Takto vylehčená deska působí podobně jako železobetonová plná deska, ale má menší hmotnost. Vylehčovací tvarovky se vyrábí z recyklovaného tvrdého plastu a výrobce uvádí, že 1 kg recyklovaného plastu může nahradit 100 kg betonu. [11]



Obr. 2.8: Systém Bubble Deck [11]

Desky Bubble Deck se na stavbu dodávají ve třech různých provedeních. Typem A jsou plastové tvarovky mezi dvěma ocelovými výztužnými sítěmi s betonovou deskou tloušťky 60 mm, která funguje jako ztracené bednění. Typ B je

sendvičový prvek obsahující jen plastové tvarovky a výztužné sítě. Moduly se osazují na klasické bednění, přidá se volná výztuž a následně se konstrukce zalije betonem do požadované tloušťky. Typ C jsou už hotové vylehčené prefabrikované prvky pnuté v jednom směru, které se nejčastěji používají pro schodišťová ramena. [12]



Obr. 2.9: Schéma provedení, typ A a B [13]

Tloušťka desek se běžně pohybuje v rozmezí od 230 do 580 mm. Vylehčené desky se používají až do rozpětí 20 m, v tabulce 2.4 jsou uvedeny vztahy pro návrh tloušťky desky (výpočet se vztahuje na běžná zatížení). Tabulka 2.5 obsahuje další důležitá data potřebná k podrobnějšímu návrhu desky.

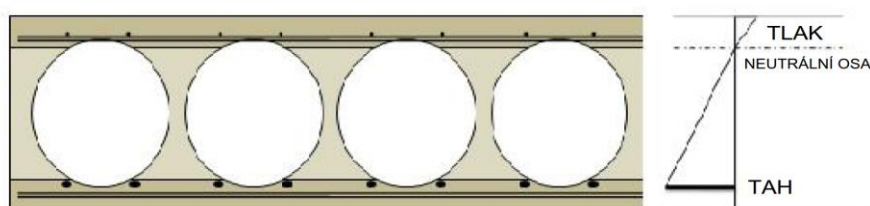
	Tloušťka desky	Max. rozpětí – obousměrně pnutá desky	Max. rozpětí – jednosměrně pnutá deska	Maximální délka konzoly
	[mm]	[m]	[m]	[m]
<b>BD230</b>	230-250	5-8	5-6,5	2,8
<b>BD285</b>	280-320	7-10	6-7,8	3,3
<b>BD340</b>	330-370	9-12	7-9,5	4,0
<b>BD395</b>	380-420	11-14	8-11	4,7
<b>BD450</b>	430-500	13-16	9-12,5	5,4
<b>BD560</b>	540-600	15-20	11-15,5	6,7
<b>BD670</b>	630-700	17-24	13-19	8,1

Tab. 2.4: Návrh vylehčovacího prvku v závislosti na max. rozponu konstrukce [12]

Typ prvku		BD 230	BD 285	BD 340	BD 395	BD 450	BD 560	BD 670
Průměr koulí	[mm]	180	225	270	315	360	405	450
Minimální osová vzdálenost koulí	[mm]	200	250	300	350	400	450	500
Maximální počet koulí	[1/m <sup>2</sup> ]	25	16	11,11	8,16	6,25	4,94	4
Minimální doporučená tloušťka desky	[mm]	230	280	340	400	450	520	580
Snížení zatížení na jednu kouli	[kN]	0,08	0,5	0,26	0,41	0,61	0,87	1,19
Maximální snížení zatížení na m <sup>2</sup>	[kN/m <sup>2</sup> ]	1,91	2,39	2,86	3,34	3,82	4,29	4,77
Poměr tuhostí (vylehčená/plná deska)	[%]	88	87	87	88	87	88	88
Poměr smykové únosnosti (vylehčená/plná deska)	[%]	60	60	60	60	60	60	60

Tab. 2.5: Technické specifikace systému Bubble Deck [13] [12]

Deska Bubble Deck je koncipována tak, že je vynecháno značné množství betonu v jádru desky. Jedná se o část průřezu, která výrazně nepřispívá k ohybové únosnosti. U plných desek výška tlačené části průřezu obvykle odpovídá pouze malé části celkové tloušťky desky, u vylehčených desek je tedy tlačenu částí betonu téměř vždy beton mezi vylehčovacím prvkem a vnějším povrchem desky. Proto není velký rozdíl mezi ohybovým namáháním desky plné a desky Bubble Deck, neboť se pracuje jen s částí betonu na tlačené straně desky a ocelovou výztuží na tažené straně. Ohybovou únosnost desky Bubble Deck je možné posuzovat stejně jako plnou desku. [15]



Obr. 2.10: Schéma napětí v desce Bubble Deck [15]

Smyková únosnost vylehčené desky se pohybuje okolo 60 % smykové únosnosti plné desky o stejné tloušťce. V místech menších posouvajících sil, tj. mimo oblasti kolem svislých podpor, je příčné i podélné smykové napětí zachyceno pouze systémem Bubble Deck, což bylo prokázáno různými zkouškami a výpočty. V blízkosti svislých podpor se vylehčovací prvky vynechávají.

V případě lokálně podepřené desky se vylehčená deska posuzuje na protlačení stejně jako plná deska. Nejdříve se stanoví vzdálenost od podpory, do které je možné ukládat vylehčovací prvky, tzn. vzdálenost, kde je posouvající síla menší než maximální smyková únosnost vylehčené desky. Poté je nutné posoudit posouvající síly v kontrolovaných obvodech tak, jak uvádí Eurokód 2. Pokud by deska nevyhověla na protlačení okolo svislých podpor, je možné přidat výztuž na protlačení nebo skryté ocelové hlavice stejně jako u plné desky. [15]

Ohybová únosnost obdélníkového průřezu lze provádět běžnými způsoby, pokud jsou dodrženy následující mezní hodnoty. [13]

$$\text{DIN 1045-1} \quad \mu_{sds} = m_{sd} \cdot D_{BD} \cdot \frac{1,96}{d_B^3 \cdot f_{ck}} \leq 0,2$$

$\mu_{sds}$  ... relativní ohybový moment v místě vylehčovacích prvků [-]

$m_{sd}$  ... maximální ohybový moment [kNm/m]

$D_{BD}$  ... průměr vylehčovacích prvků [m]

$d_B$  ... účinná výška desky Bubble Deck [m]

$f_{ck}$  ... charakteristická pevnost betonu podle DIN 1045-1 [MPa]

$$\text{DIN 1045-1} \quad m_s = m \cdot D_{BD} \cdot \frac{1,17}{d_B^3 \cdot \beta_R} \leq 0,2$$

$m_s$  ... relativní ohybový moment v místě vylehčovacích prvků [-]

$m$  ... maximální ohybový moment [kNm/m]

$D_{BD}$  ... průměr vylehčovacích prvků [m]

$d_B$  ... účinná výška desky Bubble Deck [m]

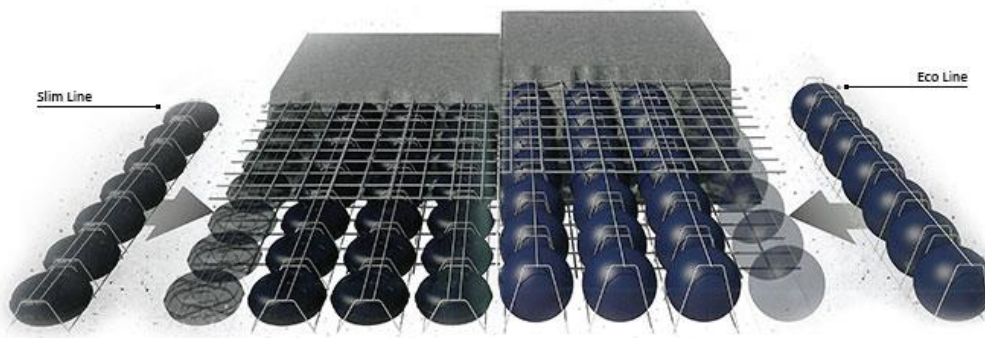
$\beta_R$  ... stanovená pevnost betonu podle DIN 1045 [MPa]

Trvanlivost systému Bubble Deck je podobná jako u klasických plných desek. Závisí hlavně na kvalitě krycí vrstvy výztuže a velikosti trhlin v betonu. Ochranu proti trhlinám od smršťování zajišťují ocelové výztužné sítě u spodního i horního povrchu. S trvanlivostí souvisí i požární odolnost. Ocel při stoupající teplotě rychle ztrácí pevnost, proto je nutné zajistit, aby krycí vrstva chránila výztuž před ohněm co nejdéle. Požární odolnost systému Bubble Deck se pohybuje od 30 do 180 minut, odolnost proti kouři je asi 1,5 násobek požární odolnosti. HDPE vylehčovací prvky by se při dlouhodobějším požáru mohly roztavit, ale při hoření tohoto plastu nevznikají nijak škodlivé látky. [15]

#### 2.4.2. Systém Cobiax

V roce 1997 byl v jižní Africe vynalezen systém Cobiax, který je založen na podobném principu jako systém Bubble Deck. Technologie Cobiax využívá duté plastové tvarovky, kterými nahrazuje těžký beton uvnitř desky. Výsledná úspora betonu může být až 35 %, což má vliv na celou strukturu budovy. Moduly Cobiax se skládají z 2,5 m dlouhých upevňovacích prvků vyrobených z ocelových prutů a z dutých prvků z recyklovaného plastu. [16]

Cobiax vyrábí dvě produktové řady pro vylehčování stropů, které se liší rozměry a tvarem vylehčovacích prvků. Prvky z řady Eco-Line mají tvar koule o průměru 270 až 450 mm a jsou vhodné pro větší rozpory. Tloušťka desek s Eco-Line prvky se běžně pohybuje mezi 400 a 700 mm. Řada Slim-Line je zdokonalená verze Eco-Line. Vylehčující prvky mají tvar zploštělé koule a skládají se ze dvou polovin, které se spojují až na stavbě, takže jsou ekonomičtější na dopravu. Slim-Line se hodí pro desky menších tloušťek (200 až 450 mm), protože prvky mají výšku 100 až 260 mm. [18]



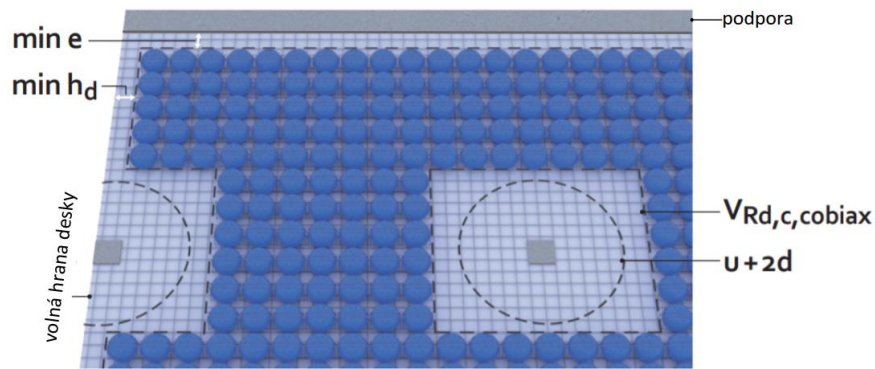
Obr. 2.11: Systém Cobiax – vlevo Slim-Line, vpravo Eco-Line [17]

Provádění desek Cobiax se dělá ve dvou variantách. První variantou jsou Cobiax moduly, které se pokládají přímo na bednění podle rozvržení v projektu. Betonáž pak probíhá ve dvou fázích. Nejdříve se vybetonuje vrstva tlustá 8 až 12 cm, aby zafixovala vylehčující prvky a po pár hodinách se vylije druhá vrstva betonu až do požadované tloušťky desky. Druhou variantou jsou prefabrikované betonové panely (tloušťka okolo 10 cm) s částečně zabetonovanými plastovými moduly Cobiax. Tato varianta je náročnější na přepravu, ale už není potřeba žádné bednění. [18]

Desky Cobiax se navrhují podle Eurokódu 2 jako běžné plné desky. Nejdříve je nutné určit tloušťku desky, velikost vylehčovacích prvků a další průřezové charakteristiky. V tabulce 2.6 jsou technické specifikace desky, které se musí při návrhu dodržovat. Poté se určí, ve kterých místech desky mohou být vylehčovací prvky. V místech, kde je posouvající síla ( $V_{Ed}$ ) větší než smyková únosnost vylehčené desky ( $V_{Rd,c,Cobiax}$ ), musí zůstat deska nevylehčená. Tento kritický obvod kolem podpor musí být zvětšen ještě minimálně o vzdálenost  $2d$  ( $d$  je účinná výška desky). Dále musí být splněno, že vylehčovací prvky budou chybět ve vzdálenosti  $h_d$  ( $h_d$  je výška desky) od volného okraje desky a ve vzdálenosti  $e$  (odpovídá osové vzdálenosti vylehčovacích prvků) od lineárních podpor. Nakonec se navrhne ohybová, popř. smyková výztuž stejně jako u železobetonových plných desek. [16]

	Slim-Line												Eco-Line								
	S100-120c	S120-140c	S140-160c	S160-180c	S180-200c	S200-220c	S220-240c	S240-260c	S260-280c	S260-300c	S260-320c	S260-340c	E-270	E-215	E-360	E-405	E-450				
Min. tloušťka desky	[mm]	220 (200)	240 (220)	260 (240)	280	300	320	350	380	400	420	440	460	400	450	500	550	600			
Max. tloušťka desky	[mm]	450												560				700			
Poměr tuhostí (vylehčená/ plná)	[-]	0,95	0,93	0,93	0,91	0,9	0,89	0,89	0,89	0,87	0,9	0,91	0,92	0,92	0,91	0,91	0,9	0,89			
Poměr smykové únosnosti	[-]	0,5												0,45				0,5			
Výška vyl. prvků	[mm]	100	120	140	160	180	200	220	240	260	260	260	260	270	315	360	405	450			
Průměr vyl. prvků	[mm]	315												315				315			
Min. osová vzdálenost prvků	[mm]	350												350				350			
Počet prvků na m <sup>2</sup>	[ks/ m <sup>2</sup> ]	8,16												8,16				8,16			
Beton – pevnostní třída a konzistence	[-]	C20/25 až C45/55, F3 až F4												C20/25 až C45/55, F3 až F4				C20/25 až C45/55, až do F4			
Snížení zatížení na m <sup>2</sup> - monolit	[kN/m <sup>2</sup> ]	1,32	1,6	1,88	2,14	2,4	2,64	2,87	3,12	3,37	3,37	3,37	3,37	2,86	3,34	3,82	4,29	4,77			
Snížení zatížení na m <sup>2</sup> - poloprefabrikát	[kN/m <sup>2</sup> ]	1,19	1,44	1,7	1,93	2,16	2,37	2,59	2,81	3,03	3,03	3,03	3,03	2,58	3,01	3,44	3,87	4,3			

Tab. 2.6: Technické specifikace systému Cobiax [16]



Obr. 2.12: Příklad umístování vylehčovacích prvků Cobiax [18]

### 2.4.3. Systém U-Boot Beton

Dalším systémem vylehčených stropů je U-Boot Beton. Systém byl patentován v roce 2001 italskou společností Daliform a jeho hlavním cílem bylo snížit náklady na dopravu stavebních materiálů na stavbu a také omezit produkci CO<sub>2</sub>. U-Boot se zakládá na stejném principu jako předchozí dva systémy, avšak vylehčovací prvky nemají tvar koule, ale komolého jehlanu. Prvky mají tvar upravený na to, aby je bylo možné poskládat do sebe a při přepravě zabraly co nejméně místa. Prvky se do výsledného tvaru skládají až na místě stavby a poté se vkládají na bednění. Pro slabší desky se používají prvky Single, pro desky větší tloušťky se navrhují prvky Double, což jsou dva komolé jehlany na sobě (Obr. 2.13). Prvky jsou z recyklovaného polypropylenu a jejich půdorysný rozměr je 520x520 mm, liší se pouze výškou jehlanu (rozměr H) a výškou „nožiček“ (rozměr p). [11]

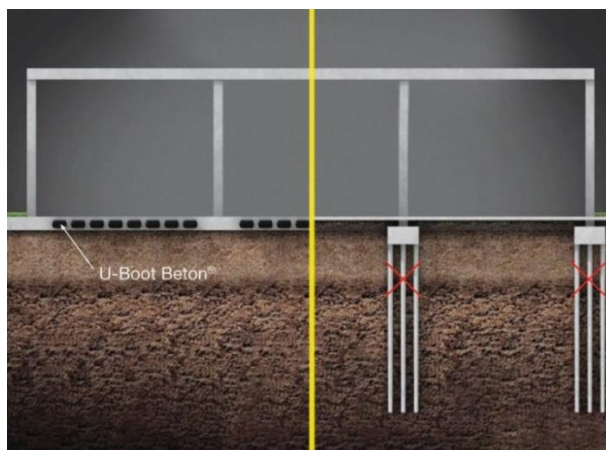


Obr. 2.13: Prvky U-Boot Beton – vlevo Single, vpravo Double [19]

Díky speciálnímu tvaru vylehčovacích prvků U-Boot, systém tvoří rošt ze vzájemně kolmých nosníků, které jsou shora i zdola uzavřeny betonovou deskou. I přesto lze desku navrhovat stejně jako předchozí dva systémy, tzn. stejně jako plnou desku podle Eurokódu 2.

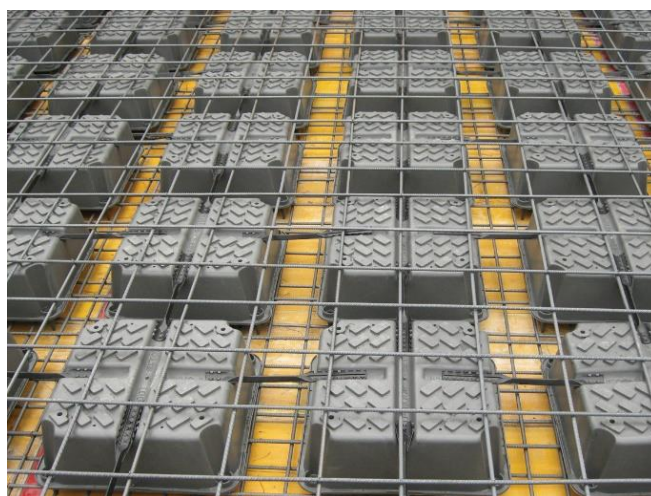


System U-Boot se využívá jak pro stropní konstrukce větších rozponů, tak pro základové desky. Odlehčené desky větších tloušťek jsou vhodné i pro podlaží s menší únosností, a dokonce můžou napomoci i k odstranění navržených pilot. [20]



Obr. 2.14: Využití U-Boot do základových desek [20]

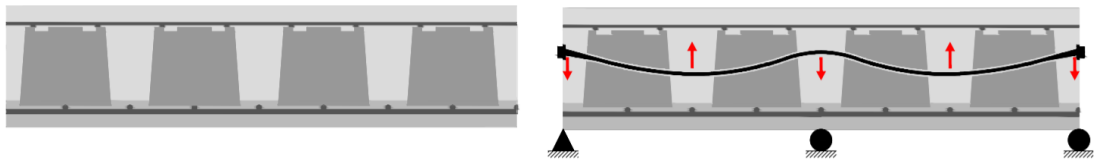
Provedení systému U-Boot Beton na stavbě probíhá podobně jako u Cobiaxu. Nejdříve se musí provést bednění pro stropní konstrukce, poté se začne pokládat spodní výztuž desky a U-Boot bedničky, které se spojují bočními distančníky, aby byla dodržena šířka nosníků mezi bedničkami. Nakonec se umístí horní výztuž desky a poté už se může betonovat. Jako první se musí vybetonovat vrstva rovná výšce „nožiček“ vylehčovacích prvků. První vrstva musí zabránit nadzvedávání bedniček, po jejímž částečném zatuhnutí se může betonovat vrstva druhá až do konečné tloušťky desky. [21]



Obr. 2.15: System U-Boot před zalitím betonem [21]

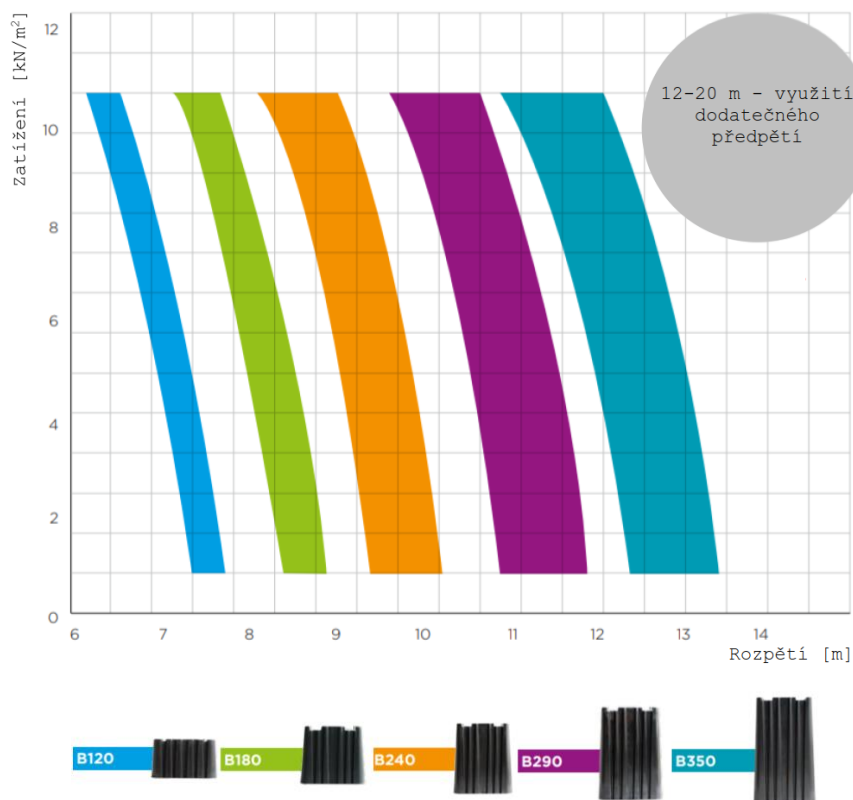
## 2.4.4. Systém Airdeck

Airdeck je systém vyvinutý v roce 2003. Vzhledově má blízko k systému U-Boot Beton, protože vylehčovací prvky mají také tvar komolého jehlanu. Airdeck se ale na stavbu dodává pouze jako prefabrikovaná betonová deska s částečně zabetonovanými vylehčovacími prvky z recyklovaného polypropylenu a spodní výztuží desky. Výhodou je, že není potřeba přidávat další výztuž, která bude při betonáži držet vylehčovací prvky proti nadzvedávání. [23]



Obr. 2.16: Řez deskou Airdeck – vlevo běžná deska, vpravo předepnutá deska [22]

Desky Airdeck se při použití běžné betonářské výztuže využívají na rozpětí až 12 m. Pokud se využije předepnutí desek, je možné aplikovat systém na rozpětí až 20 m. Předepnutí je možné použít až na tloušťku desky 450 mm a více.



Obr. 2.17: Graf pro stanovení velikosti vylehčovacího prvku [22]

Vylehčovací prvky Airbox se vyrábí v pěti velikostech, kdy se výška prvku pohybuje v rozmezí od 120 do 350 mm. Tloušťky desek se provádí od 220 do 500 mm. Na obrázku 2.17 je graf pro výběr velikosti vylehčovacího prvku. Další návrh desky probíhá podle Eurokódu 2, jak bylo popsáno u předchozích systémů.

#### 2.4.5. Systém Beeplate

Systém Beeplate Honeycomb Floor vychází z přírodní struktury včelí plástve. Vylehčovací prvky mají tvar válce bez dna a kromě odlehčovací funkce mají i funkci oddělovače spodní a horní výztuže desky. Desku Beeplate je možné použít na rozpětí 10 až 17 m, přičemž tloušťka desek je 340 až 700 mm. [11]



Obr. 2.18: Systém Beeplate [24]

Prvky systému Beeplate se vyrábí ve čtyřech velikostech (tab. 2.7). Při návrhu a posuzování desek lze opět uplatnit stejná pravidla a zásady jako u plných.

Typ Beeplate		34 +	40 +	45 +	52 +
Velikost vylehčovacího prvku		HK20	HK26	HK31	HK38
Výška prvku	[mm]	200	260	310	380
Průměr prvku	[mm]	700	715	660	660
Výška desky	[mm]	≥340	≥400	≥450	≥520
Počet prvků na m <sup>2</sup>	[ks/m <sup>2</sup> ]	1,80	1,74	2,00	2,00
Snížení zatížení	[kN/m <sup>2</sup> ]	1,93	2,80	3,38	4,28
Snížení množství betonu	[m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	0,077	0,112	0,135	0,171

Tab. 2.7: Technické specifikace systému Beeplate [25]

Výrobce systému Beeplate má v nabídce také novou technologii výztuže, která může urychlit dobu výstavby. Technologie má název Bamtec a jedná se o ocelové

pruty, které jsou spojeny, srolovány a v tomto uspořádání se dopravují na stavbu. Následně se na stavbě role umístí na bednění a rozvinou se v jednom i ve druhém směru. Na tuto výztuž se položí vylehčovací prvky Beeplate a na ně se rozvinou další výztužné role Bamtec. Betonuje se opět ve dvou fázích. Nejdříve se vylije spodní vrstva do takové tloušťky, aby byly vylehčovací prvky ponořeny cca 2 cm v betonu. Tato vrstva vytvoří plastovým prvkům „dno“, aby se nenaplnily betonem, a po částečném zatvrdnutí první vrstvy už se provede betonáž zbylé části stropní konstrukce. [24]



Obr. 2.19: Pokládání výztuže Bamtec [24]

## 2.5. Prefabrikované stropní konstrukce

Prefabrikované konstrukce mají oproti monolitickým mnoho výhod. Tou hlavní je kratší doba výstavby, protože se prefabrikáty rychle montují, na stavbě vyžadují mnohem menší pracnost než monolit, ihned po montáži jsou únosné, nemusí se využívat složité a drahé bednění, a montáž není nijak zvlášť omezena povětrnostními podmínkami a teplotou. Na druhou stranu mají prefabrikáty nevýhodu v nákladné dopravě a manipulaci. Železobetonové prefabrikované prvky jsou často velmi těžké a na stavbách se musí používat drahé zdvihací prostředky. Kvůli přepravě je návrh prvků omezen maximálními rozměry a vlastní tíhou prvku. [1]

Kvalita železobetonových prvků vyráběných v prefách je mnohem vyšší než u prvků vyráběných na stavbě. Výrobní jakost prefabrikovaných dílců je obecně vysoká a u betonů lze tak dosáhnout vyšších pevnostních tříd. Povrch prefabrikátů má vysokou jakost, která zaručuje trvanlivost a vzhled, proto je možné navrhovat menší krycí vrstvu. V určitých případech (kontrola kvality) se mohou při návrhu

snížovat součinitele spolehlivosti pro materiály z důvodu větší kvality provedení než u monolitu.

Při návrhu prefabrikovaných dílců je třeba myslet nejen na trvalé návrhové situace, ale také na situace dočasné, ke kterým dochází při výrobě, přepravě, skladování a montáži. Důležitou součástí návrhu jsou i montážní úchyty, které musí zajistit bezpečnou manipulaci s dílci.

Z prefabrikovaných stropů se u nás nejčastěji používají stropy panelové. Prefabrikované železobetonové panely se obvykle vyztužují v jednom směru a ukládají se na dvě protilehlé stěny nebo průvlaky. Plné železobetonové panely se používají na rozpony okolo 4 m, vylehčené panely už je možné aplikovat na rozpony až 6,6 m a v případě předpjatých panelů je možné se dostat na rozpětí až 24 m. [1]

Základní typy panelů a jejich orientační dimenze		Max. rozpon	Tloušťka panelu
Plné železobetonové panely		4,2	65-160
Železobetonové panely vylehčené	Žb panely dutinové	6,6	140-250
	Žb panely vylehčené keramickými vložkami	6,0	140-250
Panely z předpjatého betonu	Dutinové předpjaté panely	12,0 (20)	250-300 (400)
	Předpjaté panely vylehčené keramickými vložkami	7,2	140-250
	Žebrové předpjaté panely	24,0	300-750

Tab. 2.8: Základní typy panelů a jejich orientační dimenze [1]

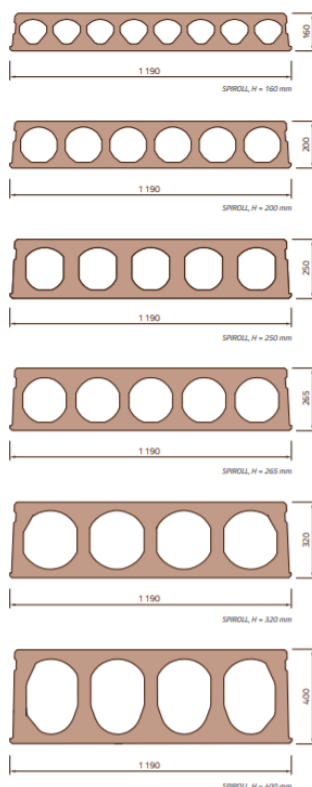
Když se stropní konstrukce vyskládá na svislé podpory, musí se zajistit spolupůsobení panelů při přenášení svislého a vodorovného zatížení. Boky panelů jsou speciálně tvarované, aby bylo zajištěno jejich spolupůsobení po zalití stykovou maltou. Aby byla přenášena všechna smyková a tahová namáhání styku, vkládá se mezi panely zálivková výztuž. Některé panely se spojují svařováním kotevních destiček u horního povrchu desky. Kvalitní spoje panelů jsou nutné k vytvoření tuhé stropní desky. Navíc by stropní panely měly být přibližně stejně staré, aby nevznikaly rozdílné průhyby v důsledku dotvarování. [1]

Problémem prefabrikovaných stropních konstrukcí jsou svislé prostupy pro instalace. U malých prostupů (100 až 180 mm) se prostup může řešit výřezem (nejlépe v místě dutiny; nesmí být přeříznuta předpínací výztuž), ale větší prostupy už

se musí řešit objednáním atypických panelů, ocelovými výměnami, nebo dobetonováním části stropu s vstupem monolitickým betonem.

### 2.5.1 Stropy z předpjatých dutinových panelů

Panely jsou vylehčované podélnými dutinami, které mají kruhový nebo oválný tvar. Tímto se sníží vlastní tíha panelu, průřez bude mít výhodnější statické parametry a využití betonu se zefektivní až o 54 %. Na větší rozpětí a zatížení se u nás používají stropní dílce Spiroll, které se předpínají ocelovými lany umístěnými při spodním, případně horním povrchu panelu. Dílce se vyrábí v tloušťkách 160 až 400 mm, standardní skladebná šířka panelu je 1200 mm a délka panelů se pohybuje od 2 do 16 m. [1] [26]

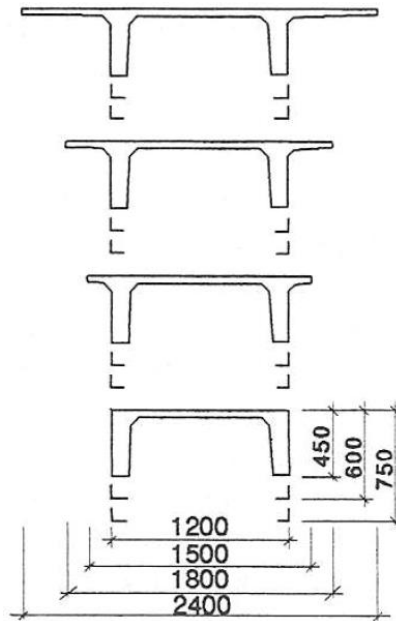


Obr. 2.20: Řezy předpjatými stropními panely Spiroll [26]

Panely Spiroll se vyrábí na dlouhých drahách, kde se nejdříve předepne výztuž, a potom dojde k betonáži. Po dosažení potřebné pevnosti betonu se pásy rozřezávají na jednotlivé dílce v požadovaných délkách. Panely jsou v nezátíženém stavu lehce nadvýšené od předpětí. Po uložení panelu na svislé nosné konstrukce dojde k jeho srovnání do roviny od zatížení vlastní tíhou. [1] [26]

## 2.5.2 Stropy z předpjatých žebrových panelů

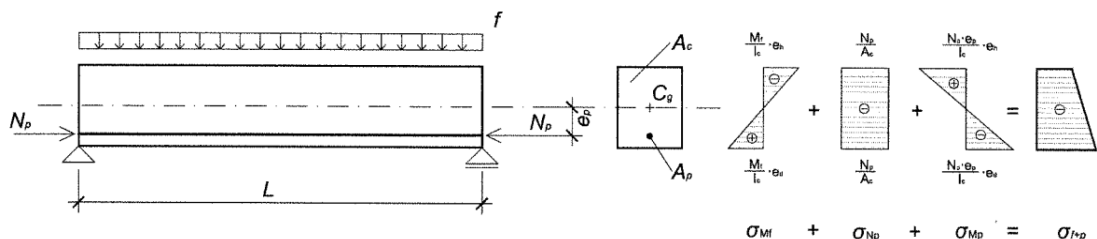
Panely tvaru TT nebo obráceného U se využívají pro rozpony až 30 m a velká zatížení. Tyto panely se používají hlavně na průmyslové objekty, haly a obchodní domy. Tloušťka desek je obvykle 60 až 150 mm, výška žebér maximálně 900 mm a šířka panelů 1000 až 2400 mm (max. 3,05 m). Spojení TT panelů se zajistí svařením stykových destiček na okrajích horní betonové desky. [1] [27]



Obr. 2.21: Typické průřezy předpjatých žebrových panelů typu TT a U [1]

## 2.6. Předpjeté monolitické stropní konstrukce

Princip předpjetého betonu je, že se do prvku vloží tlakové síly, díky kterým je možné z prvku odstranit tahová napětí od zatížení. Tlaková síla by měla být ideálně tak velká, aby byl celý prvek tlačný a nedocházelo k rozvoji trhlin. [28]

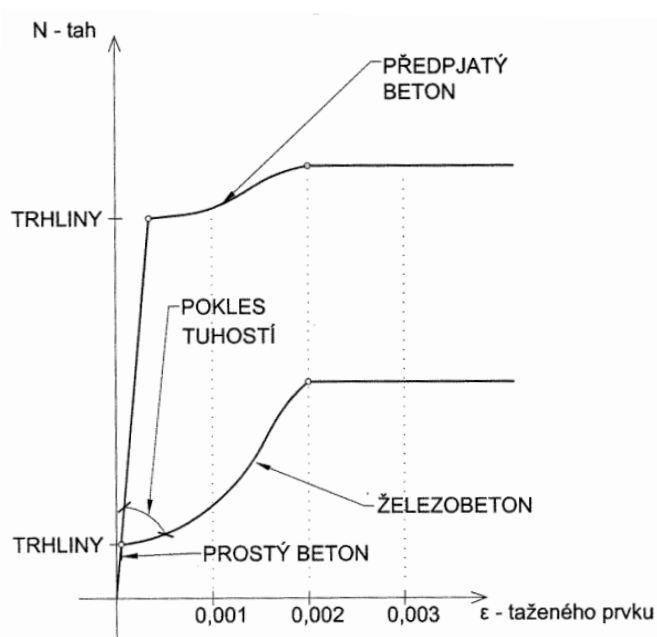


Obr. 2.22: Odstranění tahových namáhání železobetonových prvků přidáním tlakové síly [28]

( $\sigma_{Mf}$  ... napětí od zatížení,  $\sigma_{Np}$  ... napětí od předpínací síly,  $\sigma_{Mp}$  ... napětí od excentricity předpětí)



U železobetonového prvku dojde ke vzniku trhlin po překročení tahové pevnosti betonu, jeho funkci poté přebere tažená výztuž, která se protahuje a dochází k dalšímu rozvoji trhlin. K porušení železobetonového prvku dojde, pokud výztuž dosáhne mezního přetvoření. U prvku z předpjatého betonu tahové zatížení nejdříve vyčerpá tahovou rezervu vnesenou předpětím, poté začne působit beton v tahu a po jeho porušení dojde ke vzniku trhliny. Trhliny v předpjatém prvku tedy vznikají, v důsledku tahové rezervy a při vyšším tahovém namáhání než v železobetonových prvcích. K předpínání se používá předpínací výztuž s pevnostmi 2000 až 7000 MPa, tudíž je tlaková rezerva ještě vyšší a trhliny vzniknou ještě později. [28]



Obr. 2.23: Rozdíl v působení taženého prvku z prostého, železového a předpjatého betonu [28]

Předpjaté prvky mají oproti železobetonu mnoho výhod. Unesou větší tahová napětí před vznikem trhlin. V předpjatém prvku často nejsou trhliny vůbec anebo jsou v menším množství a šířkách než v železobetonových prvcích. Tím pádem jsou předpjaté prvky trvanlivější, neboť je ztížen přístup agresivních látek do betonu. Předpjaté prvky mají větší tuhost, proto je možné je navrhovat štíhlejší a na větší rozpony. Nejvýhodnější vedení předpínací výztuže je ve tvaru paraboly, kopírující průběh vnitřních sil, protože nejlépe vyrovnává účinek vnějšího zatížení. [28]

Konstrukce mohou být předem nebo dodatečně předpjaté. U předem předpjatých konstrukcí se nejdříve napne předpínací výztuž, potom se prvek vybetonuje a po dosažení požadovaného napětí se do něj vnese předpětí (přerušením



předpínací výztuže). U předem předpjatého betonu výztuž vždy spolupůsobí s prvkem po celé jeho délce. [28]

Při výrobě dodatečně předpjatého betonu se nejdříve vloží do bednění betonářská výztuž, kabelové kanálky s protaženou předpínací výztuží a kotevní prvky. Následně se prvky vybetonují a po dosažení požadované pevnosti se do prvku vnese předpětí tím, že se napne předpínací výztuž. Výztuž v předpjatém betonu může být nesoudržná nebo soudržná. Soudržnost se zajistí zainjektováním kabelového kanálku cementovou maltou. [28]



Obr. 2.24: Dodatečně předpínaná stropní konstrukce [29]

## 3. Varianty stropní konstrukce

Na začátku této kapitoly jsou popsány základní údaje o objektu, jako je využití objektu, konstrukční systém a zatížení potřebné pro návrh stropní konstrukce.

V další části kapitoly je srovnání plné stropní desky s vybranými typy vylehčených stropů. Jedním z cílů bakalářské práce bylo aplikovat vylehčenou desku na zadaný objekt. Proto byly pro studii vybrány pouze určité typy vylehčených desek z kap. 2.4 a dalším variantám velkorozponových stropních konstrukcí se kapitola věnovat nebude. Cílem bylo vybrat vhodnou variantu pro zastropení sálu s ohledem na chování jednotlivých variant při využití stejného množství betonu.

V závěru kapitoly se hledá správný výpočetní model pro vybranou variantu v programu Scia Engineer, neboť návrh vylehčených železobetonových desek není zcela běžný.

### 3.1. Základní údaje objektu

#### 3.1.1 Obecný popis

Předmětem práce je novostavba administrativní budovy v Praze. Objekt je umístěn na nezastavěné ploše a nijak nebude zasahovat do stávajících staveb.

Objekt má čtyři nadzemní, jedno podzemní podlaží a plochou střechu. Celkové půdorysné rozměry jsou 30,63x30,73 m. Nejvyšší bod nosné konstrukce je ve výšce 18,35 m. Konstrukční výška 1NP je 4 m, ostatní podlaží mají konstrukční výšku 3,5 m. V 1PP se nachází garáže, v 1NP je několik kanceláří a kongresový sál s veškerým zázemím, vyšší NP jsou využívány pro administrativu. Střecha objektu je řešena jako nepochozí.

#### 3.1.2 Technické řešení stavby

Objekt je založen na základové desce tloušťky 400 mm, která leží na vyrovnávacím podkladním betonu tloušťky 150 mm. Spodní stavba bude řešena jako bílá vana. Stěny bílé vany budou mít tloušťku 300 mm. Celá spodní stavba bude z vodonepropustného betonu.

Nosný systém budovy je železobetonový skelet s vnitřním ztužujícím jádrem. V prostoru konferenčního sálu je vynechána deska nad 1NP a vnitřní nosné sloupy, což vede k velkému rozponu stropních desek nad 2NP, 3NP a 4NP (11,7 m).

Uvnitř dispozice 1PP jsou navrženy ŽB sloupy oválného průřezu s rozměry 350x450 mm. Sloupy ve vyšších podlažích jsou obdélníkového průřezu o rozměrech 400x500 mm. Železobetonové stěny jádra mají tloušťku 200 mm a 250 mm.

Všechny stropní konstrukce jsou monolitické železobetonové. Desky na běžné rozpory (okolo 6,5 m), které se nachází nad podzemním podlažím a ve vrchní stavbě mezi osami C-F, jsou obousměrně pnuté lokálně podepřené tloušťky 240 mm. Desky nad 2NP, 3NP a 4NP mezi osami A-C (nad konferenčním sálem) mají rozpětí 11,7 m a budou navrženy jako monolitické s vylehčovacími tvarovkami s obvodovým průvlakem.

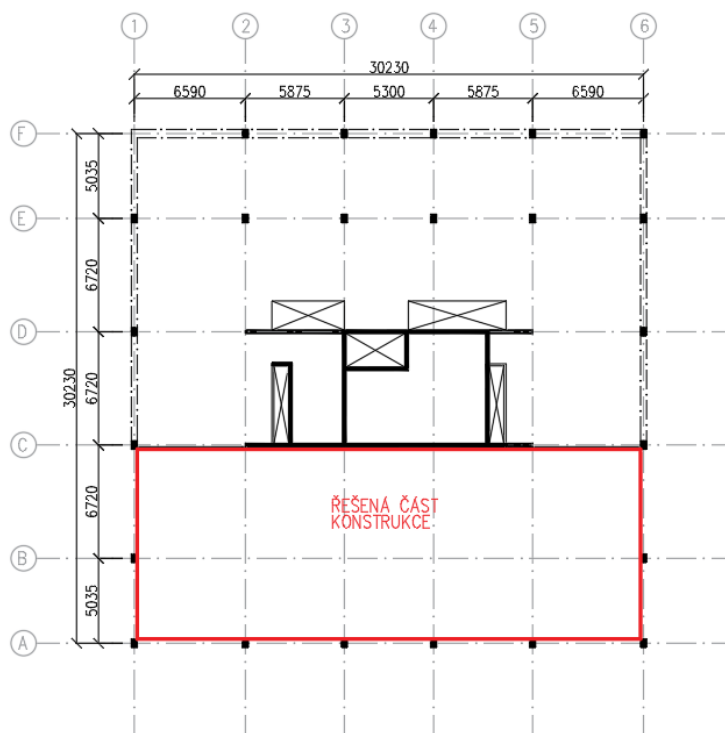
V objektu se nachází jen jedno schodiště, které je železobetonové prefabrikované dvouramenné. Podesty a mezipodesty jsou monolitické a tloušťky budou shodné s tloušťkou stropních desek nadzemních podlaží (240 mm).

Ztužení budovy bude zajištěno vnitřním železobetonovým jádrem, které prochází skrz všechna podlaží.

### 3.1.3. Stropní konstrukce nad sálem

V objektu v 1NP se nachází konferenční sál s plochou 160 m<sup>2</sup>, ke kterému patří prostorná vstupní hala a další zázemí sálu. Ze zvolených dispozic vyplývá, že je nutné zastropit půdorys s rozměry 30,6 x 11,7 m.

V rámci semestrálního projektu byla stropní konstrukce řešena pomocí průvlaků na rozpon 11,75 m, mezi kterými byla jednosměrně pnutá deska. Průvlakly byly zatíženy ještě sloupy z dalších dvou podlaží nad nimi, a proto na průvlakách vycházely velké momenty. Tento návrh nebyl úplně ideální, proto je v dalších kapitolách navrhována efektivnější varianta stropní konstrukce, která využívá systémy vylehčených stropů.



Obr. 3.1: Schéma půdorysu 2NP

## 3.2. Zatížení konstrukce

### 3.2.1. Zatížení stropní konstrukce

#### P.01 – Zdvojená podlaha v kancelářích

Materiál	Tloušťka [mm]	Hmotnost [kg/m <sup>2</sup> ]
Zátěžový koberec, čtverce antistatické	10	4
Desky ze zhutněné dřevotřísky	38	20
Systémová podlaha – ocelové stojky výškově nastavitelné	102	8
Zavírací nátěr na beton	-	-
<b>CELKEM</b>	<b>150</b>	<b>32</b>

#### ST.01 – Rastrový kovový podhled v kancelářích

Materiál	Tloušťka [mm]	Hmotnost [kg/m <sup>2</sup> ]
Systémový skrytý nosný rošt	305	5
Kovové mikroperforované kazety, s vloženou akusticky pohltivou textilií	35	7
<b>CELKEM</b>	<b>340</b>	<b>12</b>

### Zatížení stropní desky (bez vlastní tíhy)

Typ	Název	Charakteristická hodnota zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]	Součinitel [-]	Návrhová hodnota zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]
Stálé	Podlaha	0,32	1,35	0,432
	Podhled	0,12	1,35	0,162
	Rezerva pro TZB	0,20	1,35	0,270
	<b>CELKEM</b>	<b>g<sub>k</sub> = 0,64</b>		<b>g<sub>d</sub> = 0,864</b>
Proměnné	Užitné	2,5	1,5	3,750
	Příčky	0,8	1,5	1,200
	<b>CELKEM</b>	<b>q<sub>k</sub> = 3,3</b>		<b>q<sub>d</sub> = 4,950</b>
<b>CELKEM</b>		<b>(g+q)<sub>k</sub> = 3,94</b>		<b>(g+q)<sub>d</sub> = 5,814</b>

### 3.2.2. Kombinace zatížení

Pro návrh konstrukce metodou mezních stavů se využívají různé kombinace zatížení. Mezní stavy únosnosti využívají kombinace, kde jsou extrémní hodnoty zatížení a mezní stavy použitelnosti počítají s kombinacemi při běžném provozu konstrukce. Kombinace zatížení vychází z normy ČSN EN 1990. [28]

#### Kombinace zatížení pro MSÚ

a) Kombinace 6.10

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

b) Kombinace 6.10a a 6.10b

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

ξ redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení = 0,85

P zatížení předpětím

Q<sub>k,i</sub> charakteristická hodnota proměnného zatížení (hlavní a vedlejší)

- $\gamma_{Q,i}$  dílčí součinitel pro nahodilá zatížení = 1,5
- $\gamma_{G,j}$  dílčí součinitel pro stálá zatížení = 1,35
- $\gamma_p$  dílčí součinitel pro předpětí = 1,0
- $\psi$  součinitel pravděpodobnosti daného zatížení (v normě jsou uvedeny doporučené hodnoty pro pozemní stavby)

### Kombinace zatížení pro MSP

#### a) Charakteristická kombinace

- Nevratné mezní stavy
- Ověřuje se na ní vznik trhlin

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

#### b) Častá kombinace

- Vratné mezní stavy

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

#### c) Kvazistálá kombinace

- Vratné mezní stavy
- Dlouhodobé účinky
- Ověření vzhledu konstrukce (průhyb, vznik trhlin...)

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

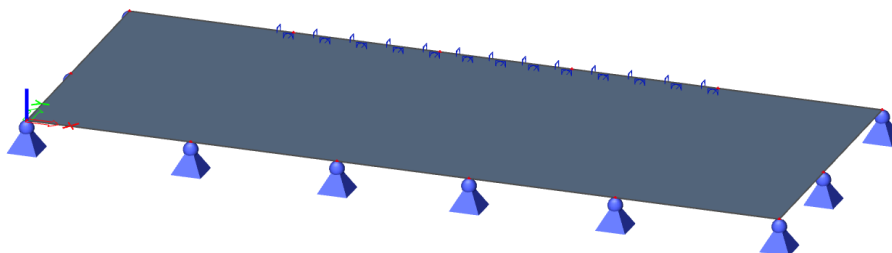
## 3.3. Porovnání systémů stropních desek

Pro srovnávání byly zvoleny – plná deska a systémy vylehčených stropů Bubble Deck, Cobiax a Beeplate. Desky byly navrženy tak, aby v nich bylo využito stejné množství betonu, tzn. aby měly stejnou vlastní tíhu.

Všechny srovnávané desky mají stejné rozpětí, jsou zatíženy stejným zatížením a jsou ze stejného betonu. Jediný měnící se parametr je rozložení hmoty v průřezu desky (výška, tvar). Proto byl pro porovnání desky využit maximální lineární

průhyb stropní konstrukce, který je nepřímo úměrný momentu setrvačnosti ve směru působení zatížení.

Lineární průhyby byly vypočteny v programu Scia Engineer, ale neodpovídají reálným průhybům na konstrukci. Ačkoliv lineární průhyby nezohledňují vliv dotvarování, smršťování a nelineární chování materiálu, je z výsledků patrné rozdílné chování jednotlivých typů konstrukcí.



Obr. 3.2: Schéma modelu

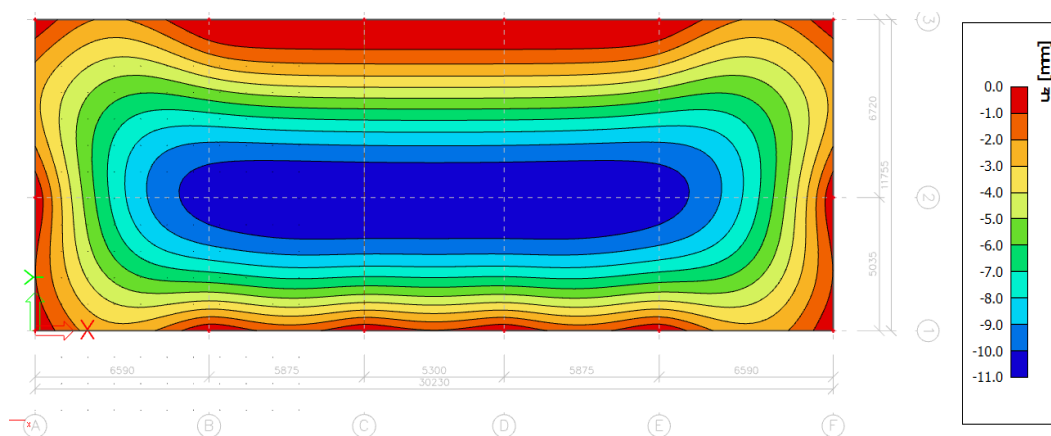
### 3.3.1. Výpočet průhybů

Lineární průhyby byly vypočteny v programu Scia Engineer, kde byly desky modelovány stejným způsobem, aby byly výsledky co nejvíce vypovídající. Výsledky jsou vykresleny pro kvazistálou kombinaci zatížení.

Objem betonu byl zvolen jako  $0,32 \text{ m}^3/\text{m}^2$  desky.

#### Plná deska

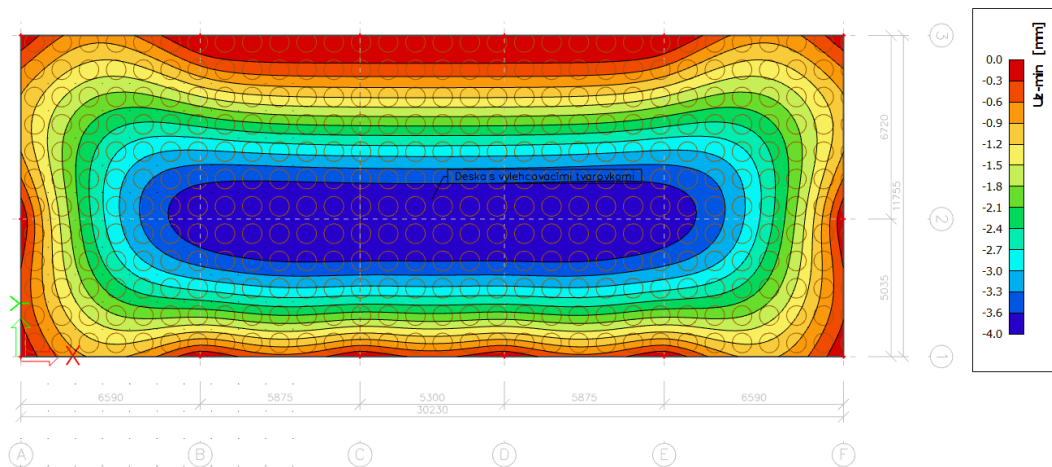
Tloušťka:	320 mm
Vlastní tíha:	8 kN/m <sup>2</sup>
Beton:	C30/37



Obr. 3.3: Lineární průhyb plné desky ve svíslém směru

### Deska Bubble Deck

Typ prvku:	BD 450
Výška prvku:	360 mm
Průměr prvku:	360 mm
Osová vzdálenost prvků:	400 mm
Tloušťka desky:	473 mm
Vlastní tíha:	8 kN/m <sup>2</sup>
Beton:	C30/37

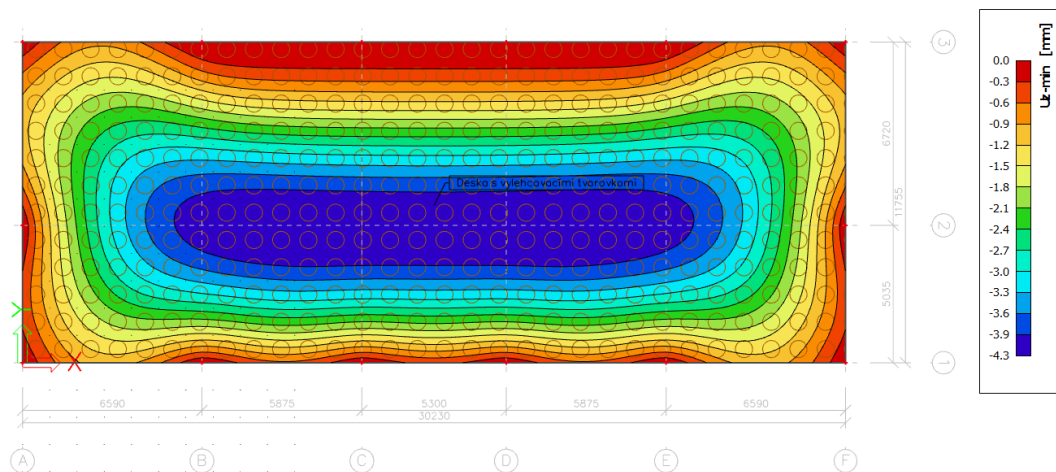


Obr. 3.4: Lineární průhyb desky Bubble Deck ve svislém směru

### Deska Cobiax

Typ prvku:	S260-320c (Slim-Line)
Výška prvku:	260 mm
Průměr prvku:	315 mm
Osová vzdálenost prvků:	350 mm
Tloušťka desky:	455 mm
Vlastní tíha:	8 kN/m <sup>2</sup>
Beton:	C30/37

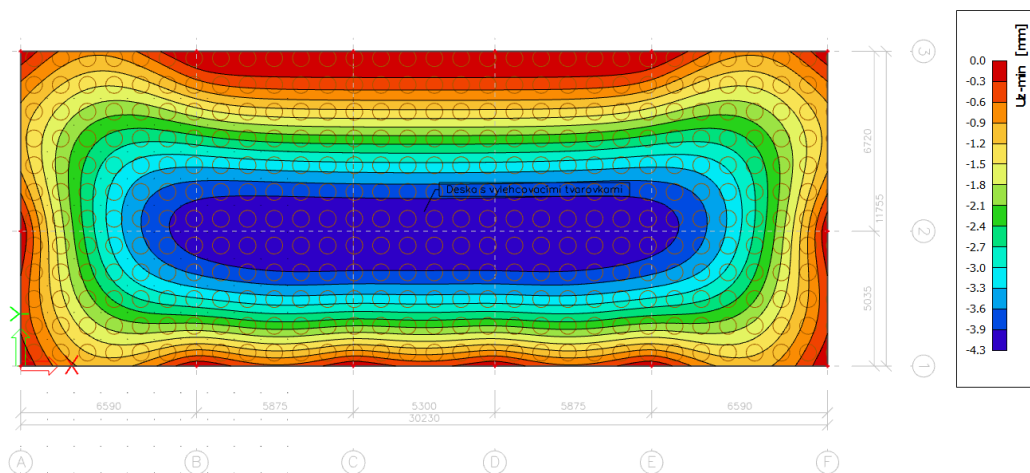




Obr. 3.5: Lineární průhyb desky Cobiax ve svislém směru

### Deska Beeplate

Typ prvku:	HK31
Výška prvku:	310 mm
Průměr prvku:	660 mm
Osová vzdálenost prvků:	760 mm
Tloušťka desky:	455 mm
Vlastní tíha:	8 kN/m <sup>2</sup>
Beton:	C30/37



Obr. 3.6: Lineární průhyb desky Beeplate ve svislém směru

### 3.3.2. Porovnání průhybů desek

Z tabulky 3.1 je vidět, že vylehčená deska má oproti plné desce o stejném objemu betonu více jak dvojnásobně menší lineární průhyb. Důvodem je rozdíl

v ohybové tuhosti jednotlivých typů desek. Vylehčená deska má efektivnější rozmístění betonu v průřezu, protože největší množství betonu je u povrchů a v jádru desky je beton vynechaný, poněvadž výrazně nepřispívá k ohybové únosnosti.

Typ desky	Tloušťka desky [mm]	Lineární průhyb [mm]
Plná	320	11,0
Bubble Deck	473	4,3
Cobias	455	4,0
Beeplate	455	4,3

Tab. 3.1: Lineární průhyby na deskách

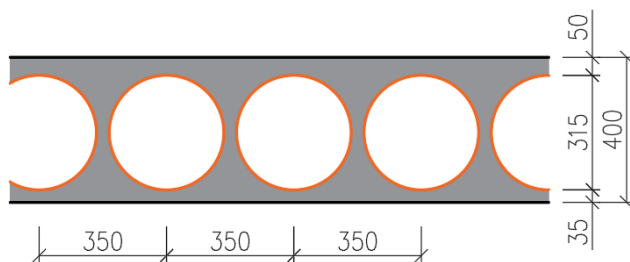
Tento způsob není vhodný k porovnání systémů vylehčených desek mezi sebou, neboť volba daného množství betonu na m<sup>2</sup> může být pro určité systémy výhodnější než pro jiné. Ke srovnání vylehčené desky s deskou plnou ale tento způsob postačí.

### 3.4. Výběr výpočetního modelu

Před návrhem vylehčené desky bylo nejdříve nutné zvolit výpočetní model, který co nejvíce odpovídal skutečnosti. Pro tento typ desky bylo vybráno 5 druhů výpočetních modelů, které byly následně porovnány mezi sebou. Parametry desky a typ vylehčovacích prvků jsou popsány níže.

#### Parametry desky:

Tloušťka desky:	400 mm
Obvodový průvlek:	500 x 600 mm
Typ vylehčení:	Bubble Deck BD 395
Průměr vyl. prvku:	315 mm
Osová vzdálenost prvků:	350 mm
Vlastní tíha:	6,9 kN/m <sup>2</sup>
Objem betonu:	0,27 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Beton:	C30/37
Poměr tuhostí (vylehčená/plná deska):	88 %
Poměr smykové únosnosti (vylehčená/plná deska):	60 %

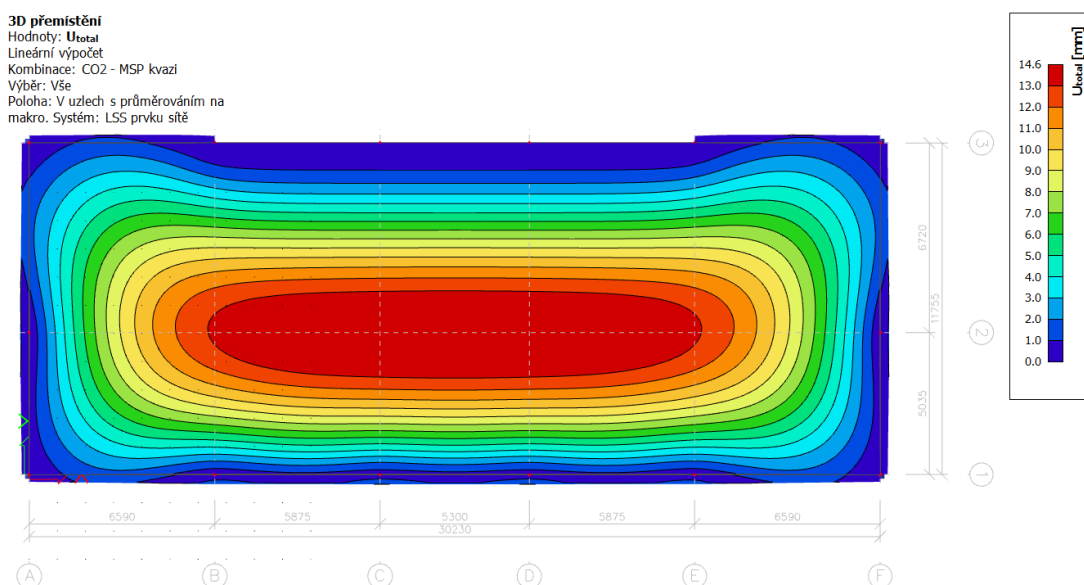


Obr. 3.7: Řez deskou Bubble Deck

### 3.4.1. Výpočetní modely

#### Výpočetní model 1 – Plná deska menší tloušťky než vylehčená deska

Prvním výpočetním modelem je plná deska a její tloušťka je úměrná hmotnosti vylehčené desky, tzn. plná deska má stejnou hmotnost jako deska vylehčená. Výpočtem byla určena náhradní tloušťka desky na 276 mm.



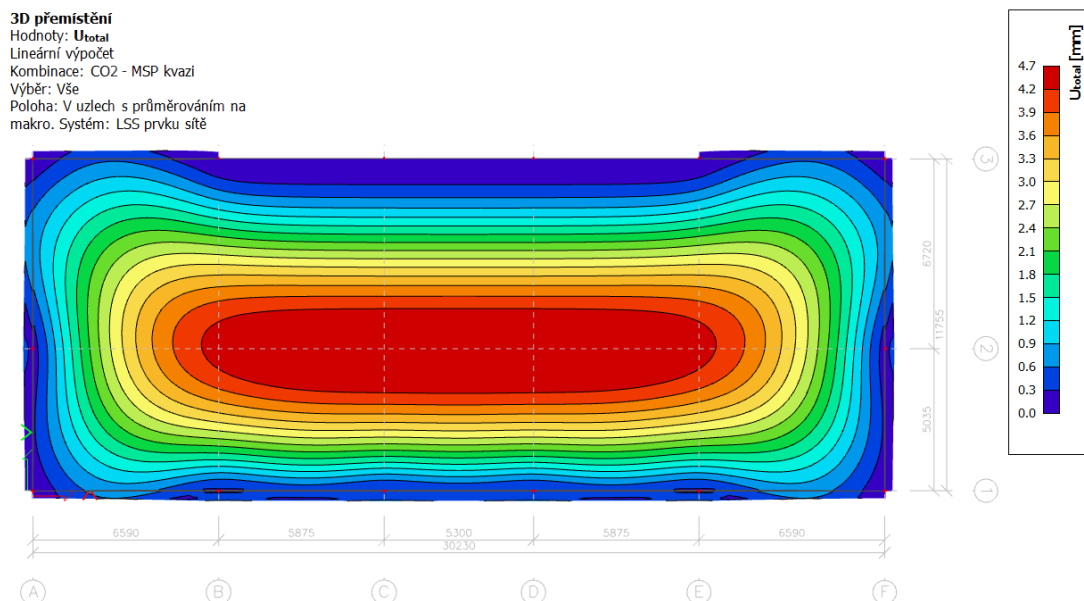
Obr. 3.8: Lineární průhyb desky (výp. model 1)

Jedinou výhodou tohoto modelu je, že má stejnou vlastní tíhu jako vylehčená deska. V modelu je snížena výška desky, což způsobí zmenšení momentu setrvačnosti a na desce pak vznikají velké průhyby. Využití tohoto modelu není vhodné.

#### Výpočetní model 2 – Plná deska stejné tloušťky jako vylehčená deska

Druhým výpočetním modelem je opět plná deska, ale se stejnou tloušťkou jako vylehčená deska (tj. 400 mm). Stropní deska byla poté nadlehčena zatížením

působícím proti vlastní tíze o velikosti  $3,34 \text{ kN/m}^2$ , aby vlastní tíha odpovídala skutečné konstrukci.

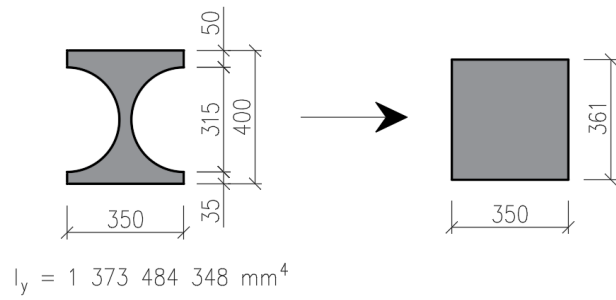


Obr. 3.9: Lineární průhyb desky (vyp. model 2)

Tento model má sice správnou tloušťku desky, ale moment setrvačnosti je větší než u vylehčené desky, protože v jádru desky není vynechán žádný beton. Z tohoto důvodu jsou průhyby na desce příliš malé. Tuhost a smyková únosnost skutečné desky je také menší než v modelu, proto ani tento výpočetní model není vhodný.

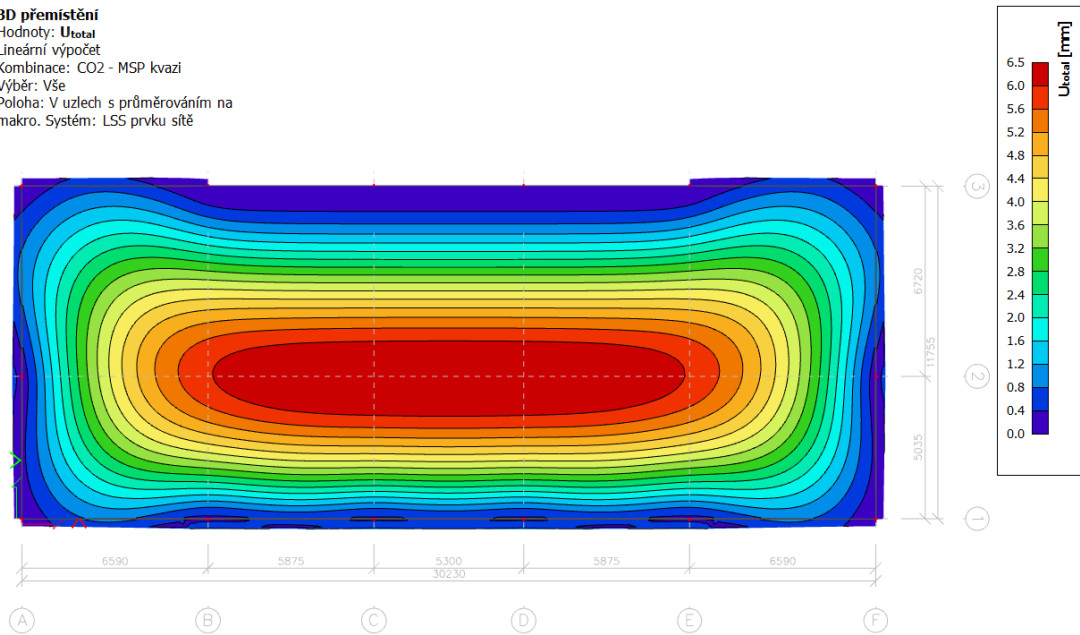
### Výpočetní model 3 – Plná deska se stejným momentem setrvačnosti

Třetím výpočetním modelem je plná deska, která má stejný moment setrvačnosti jako deska vylehčená. V programu AutoCad byl vypočten moment setrvačnosti části vylehčené desky ( $I_y = 1\,373\,484\,348 \text{ mm}^4$ ). Z této hodnoty byla následně vypočítána náhradní tloušťka pro model desky, která vyšla 361 mm. Vlastní tíha plné desky tloušťky 361 mm byla  $9,025 \text{ kN/m}^2$ , proto se musel model nadlehčit zatížením působícím proti vlastní tíze o velikosti  $2,125 \text{ kN/m}^2$ .

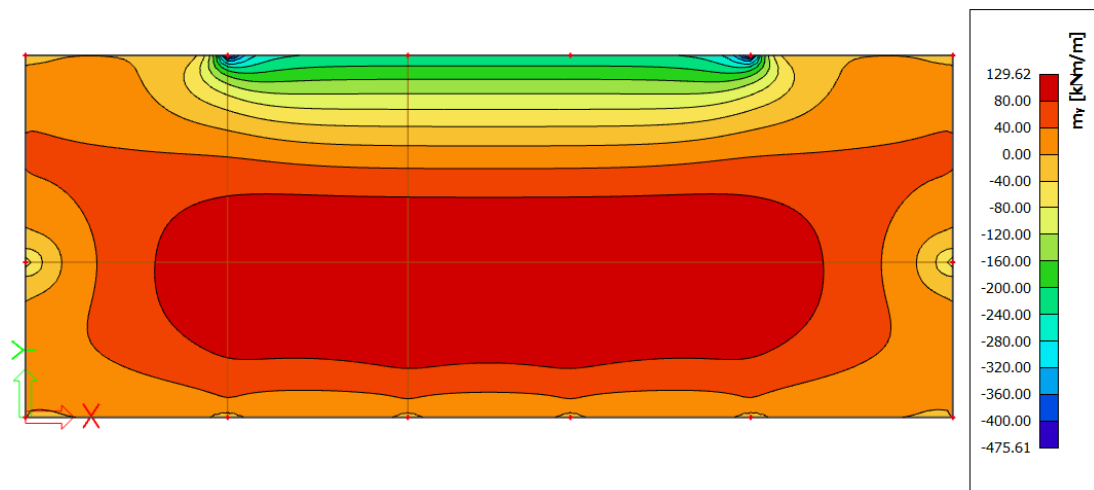


Obr. 3.10: Určení náhradní tloušťky desky

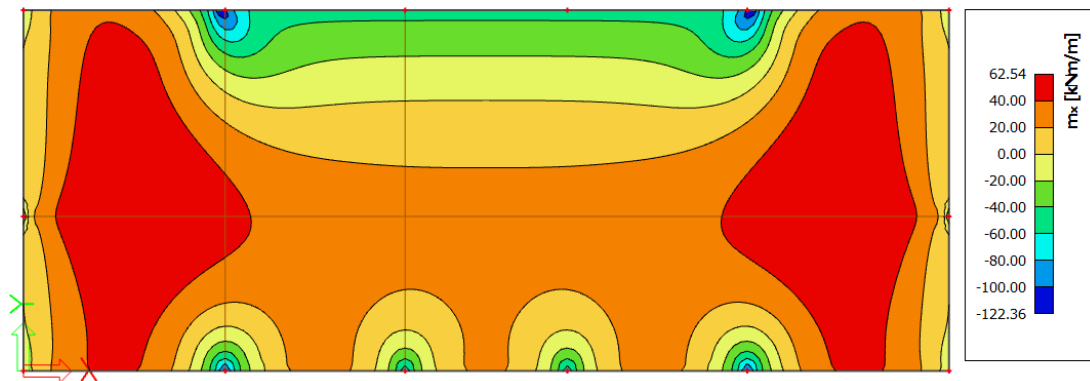
3D přemístění  
 Hodnoty:  $U_{total}$   
 Lineární výpočet  
 Kombinace: CO2 - MSP kvazi  
 Výběr: Vše  
 Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku sítě



Obr. 3.11: Lineární průhyb desky (výp. model 3)



Obr. 3.12: Moment ve směru y



Obr. 3.13: Moment ve směru x

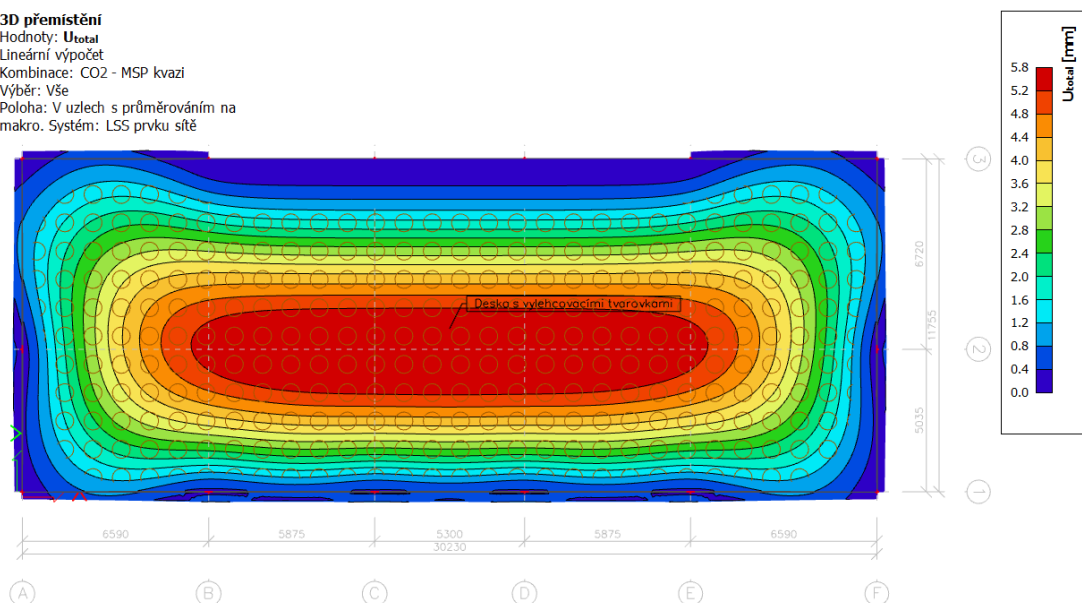
Z výpočetních modelů plných desek rozdílných tloušťek je tento model jako jediný použitelný.

#### Výpočetní model 4 – Deska s vylehčovacími tvarovkami

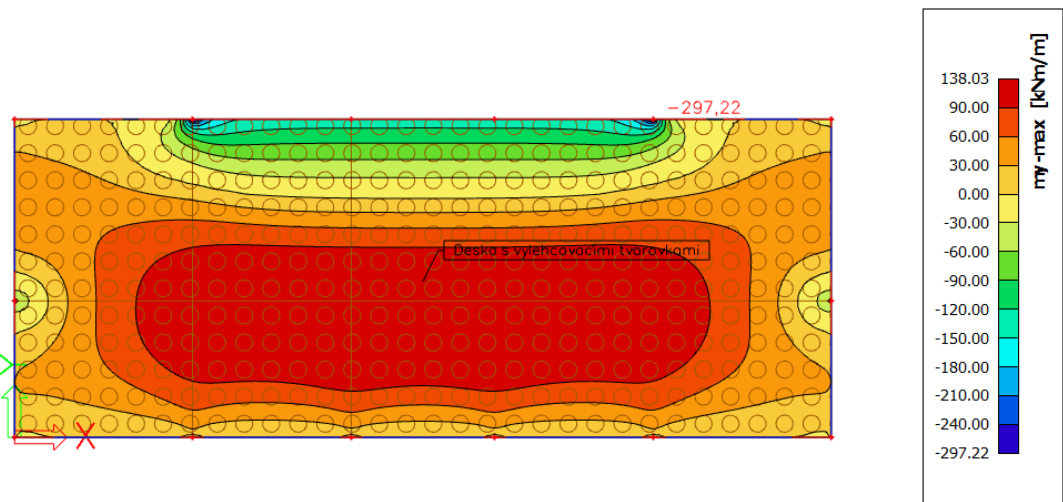
Jedná se o výpočetní model předdefinovaný přímo v programu Scia Engineer. Do programu se zadává pouze geometrie průřezu desky, další parametry, jako je tuhost a vlastní tíha, si už program počítá sám.

##### 3D přemístění

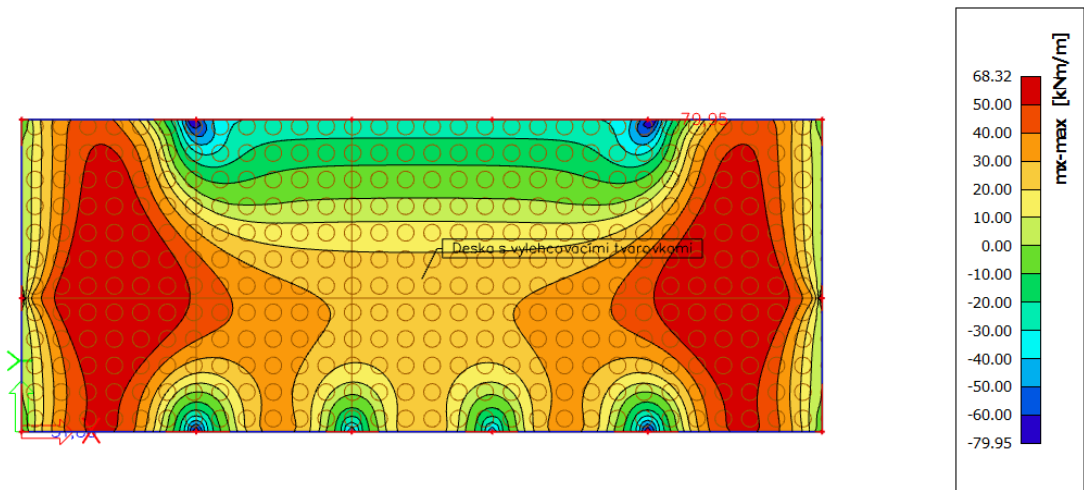
Hodnoty:  $U_{total}$   
 Lineární výpočet  
 Kombinace: CO2 - MSP kvazi  
 Výběr: Vše  
 Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku síť



Obr. 3.14: Lineární průhyb desky (výp. model 4)



Obr. 3.15: Moment ve směru y



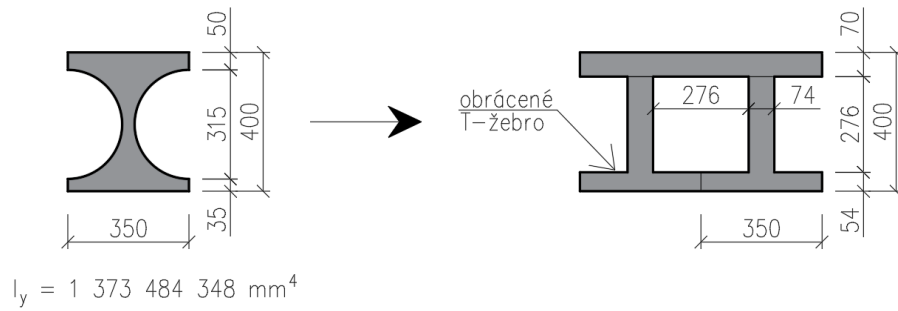
Obr. 3.16: Moment ve směru x

Výhodou tohoto modelu je jeho jednoduché zadávání do programu a následně i celkem rychlý výpočet. V modelu se počítá s tuhostí desky a vlastní tíhou, která odpovídá vylehčené desce. Hlavní nevýhoda spočívá v omezení aplikovat na desku výpočet průhybů od dotvarování, neboť Scia Engineer tuto funkci neumožňuje při posouzení zvoleného typu desky. Tvar vylehčovacích prvků lze nastavit jen jako kouli nebo torus, takže pokud by se využívaly např. tvarovky U-Boot (tvar kvádru), bylo by nutné najít optimální způsob a nahradit je torusem.

### Výpočetní model 5 – Žebrová deska s žebry v obou směrech

Posledním výpočetním modelem je tenká deska s žebry v obou směrech. Žebra mají tvar obráceného T a jejich velikost je spočítána tak, aby měl průřez stejný (podobný) moment setrvačnosti jako skutečná deska. Vlastní tíha náhradní desky byla

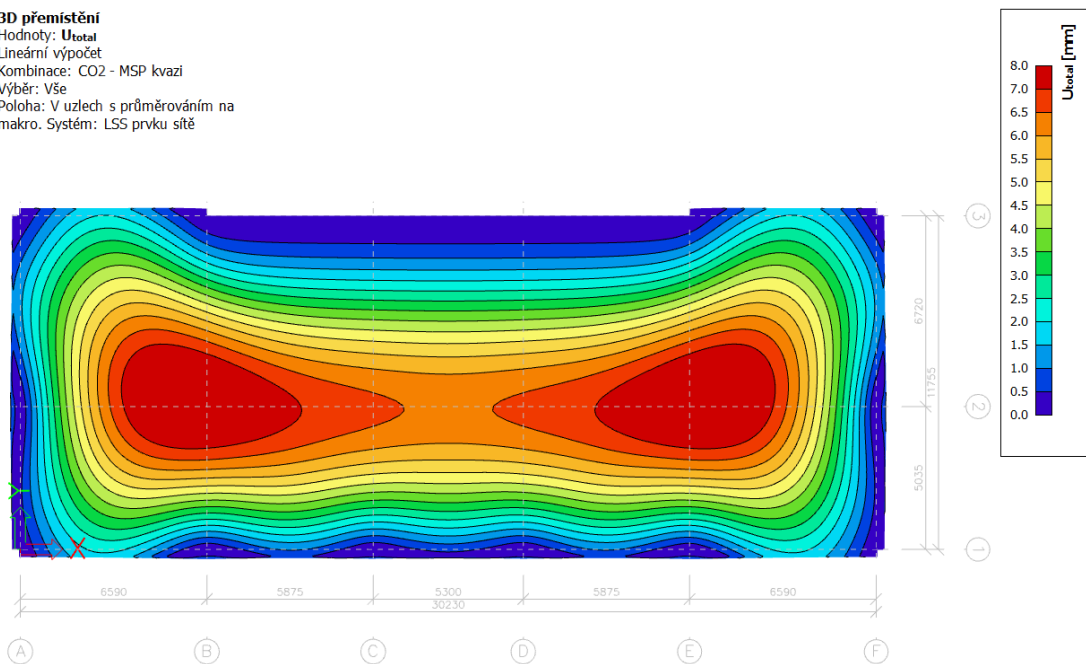
jen 5,95 kN/m<sup>2</sup>, model byl proto ještě přitížen zatížením o velikosti 0,95 kN/m<sup>2</sup>. Geometrie průřezu je znázorněna na obr. 3.17.



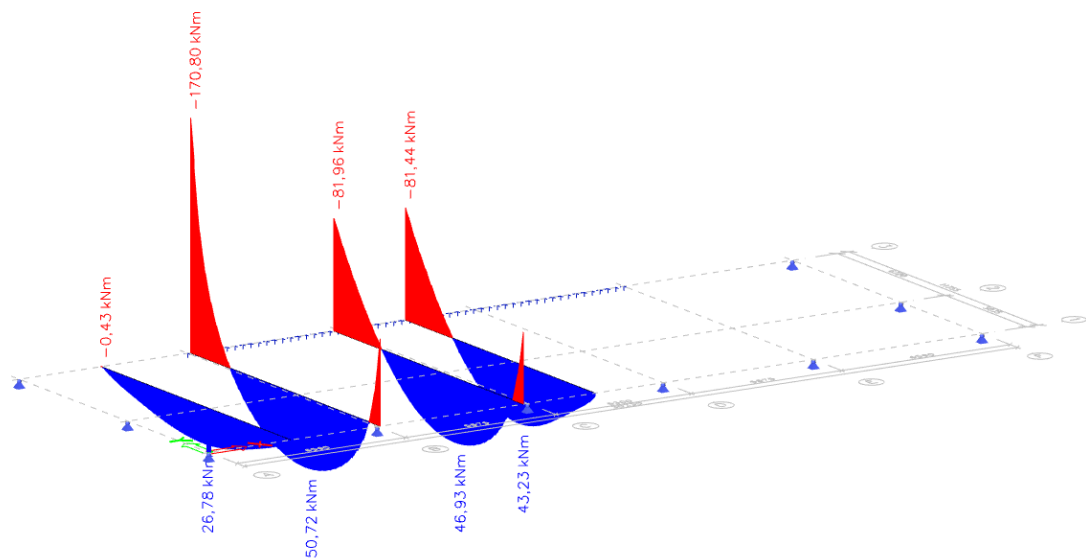
Obr. 3.17: Řez náhradní deskou

**3D přemístění**

Hodnoty:  $U_{total}$   
 Lineární výpočet  
 Kombinace: CO2 - MSP kvazi  
 Výběr: Vše  
 Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku sítě



Obr. 3.18: Lineární průhyb desky (výp. model 5)



Obr. 3.19: Moment na žebrech



Na obrázku 3. 18 je vidět, že deska modelovaná žebry se zdeformuje jinak než deska v předchozích dvou modelech. Důvodem může být to, že spolu žebra nespolutůsobí tak, jak by bylo ideální pro monolitickou vylehčenou desku.

Tento model je náročný na výpočet, a proto není úplně vhodný.

### 3.4.2. Porovnání výpočetních modelů

Jako výpočetní modely pro vylehčenou desku by bylo možné použít modely 3, 4 a 5. První dva modely nejsou vhodné z důvodů popsaných výše. Do tabulky 3.2 byly vypsány momenty  $M_y$  ve třech řezech stropní desky (mezipodporové momenty),  $M_x$  a lineární průhyb od kvazistálé kombinace zatížení.

Vnitřní síly		Výpočetní model		
		č. 3	č. 4	č. 5
<b>My1</b>	[kNm/m]	62,8	66,4	76,5
<b>My2</b>	[kNm/m]	110,7	118,31	144,7
<b>My3</b>	[kNm/m]	129,4	137,8	134,7
<b>Mx</b>	[kNm/m]	62,4	68,2	46,7
<b>Průhyb</b>	[mm]	6,5	5,8	8

Tab. 3.2: Porovnání momentů z výpočetních modelů 3, 4 a 5

Hodnoty vnitřních sil z modelu 3, 4 a 5 se téměř shodují, proto by bylo možné pro podrobný návrh desky použít všechny. Pro návrh stropní desky administrativní budovy byl vybrán výpočetní model 4, protože je modelování desky jednoduché a není příliš náročné na výpočet, na rozdíl od výpočetního modelu 5.

## 4. Závěr

Jedním z cílů bakalářské práce bylo zpracovat přehled různých možností řešení velkorozponových železobetonových stropních konstrukcí s podrobnějším zaměřením na vylehčené stropní desky. V této části byly zjišťovány veškeré informace o vylehčených stropech, které byly později využity při návrhu stropní desky. Poté byla provedena podrobnější analýza vybraných typů desek s vylehčovacími tvarovkami. Byla porovnávána plná stropní deska a systémy Bubble Deck, Cobiax a Beeplate, přičemž bylo využito stejné množství betonu. Bylo zjištěno, že vylehčená deska má proti plné desce vyšší ohybovou tuhost, protože má lepší a efektivnější rozložení hmoty v průřezu, díky čemuž na deskách vznikají menší průhyby.

Dalším úkolem bylo vybrat vhodný výpočetní model pro program Scia Engineer. Byly nalezeny tři výpočetní modely, které by bylo možné použít při návrhu. Jako ideální se nejdříve zdál model desky s žebry v obou směrech, ale poté bylo zjištěno, že je velice náročný na výpočet a následné vykreslování výsledků. Pro návrh byl nakonec zvolen model desky s vylehčovacími tvarovkami předdefinovaný přímo programem Scia Engineer. V tomto modulu se dobře modeluje a zároveň není příliš náročný na výpočet. Nevýhodou je, že na něj nelze použít některé z dalších funkcí programu, jako je například výpočet průhybů včetně dotvarování dle normy.

V poslední části práce byl proveden návrh stropní desky s vylehčovacími prvky Bubble Deck. Tloušťka desky při rozponu 11,75 m byla navržena na 450 mm. Při této tloušťce desky vyšel průhyb od dlouhodobého působení zatížení 49,7 mm.

Ačkoliv mají vylehčené desky mnoho výhod, jako je vyšší ohybová tuhost, úspora materiálu a další, mají také řadu nevýhod. Důležité je zmínit, že mají menší smykovou únosnost v porovnání s plnou deskou. Pro příklad lze uvést řešenou stropní desku, kde smyková únosnost na vylehčené části vyšla více jak desetkrát menší než na plné desce. Výroba vylehčených desek je technologicky náročnější než u běžně využívaných konstrukcí, což může být jedním z důvodů, proč nejsou tyto systémy běžně využívány. Bylo by zajímavé porovnat i ekonomické hledisko těchto konstrukcí, ale to už bohužel nebylo v bakalářské práci možné.

## Zdroje

- [1] HÁJEK, Petr. *Konstrukce pozemních staveb 10: nosné konstrukce 1*. Vyd. 2. přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 2000. ISBN 80-010-2243-9.
- [2] Žebírkový monolitický strop. *VELOX stavební systémy* [online]. VELOX-WERK, ©2008 [cit. 2018-03-29]. Dostupné z: <http://www.velox.cz/cs/zebirkovy-monoliticky-strop/#closed>
- [3] Způsob montáže stropů. *VELOX stavební systémy* [online]. VELOX-WERK, ©2008 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://www.velox.cz/cs/zpusob-montaze-stropu/>
- [4] U-BAHN BETON® ADVANTAGE. *Innovative solutions for building* [online]. Daliform Group, ©2015 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://www.daliform.com/en/one-way-lightened-voided-slabs/u-bahn-beton-advantage/>
- [5] U-BAHN BETON® TECHNICAL DATA. *Innovative solutions for building* [online]. Daliform Group, ©2015 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://www.daliform.com/en/one-way-lightened-voided-slabs/u-bahn-beton-technical-data/>
- [6] U-BAHN BETON® INSTALLATION. *Innovative solutions for building* [online]. Daliform Group, ©2015 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <https://www.daliform.com/en/one-way-lightened-voided-slabs/u-bahn-beton-installation/>
- [7] KAZETOVÉ STROPY PRO VELKÉ ROZPONY. *Ctislav Fiala* [online]. Ctislav Fiala, ©2004-2018 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: [http://www.ctislav.wz.cz/publ/2007\\_12\\_BD07\\_PH\\_CF.pdf](http://www.ctislav.wz.cz/publ/2007_12_BD07_PH_CF.pdf)
- [8] Víceúčelový komplex ORION – Brno. *Uninox s.r.o.* [online]. Uninox, ©2016 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: [http://uninox.cz/plastove\\_bedneni/reference/orion\\_brno](http://uninox.cz/plastove_bedneni/reference/orion_brno)
- [9] Výhody plastových kopulí. *Uninox s.r.o.* [online]. Uninox, ©2016 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: [http://uninox.cz/plastove\\_bedneni/vyhody/](http://uninox.cz/plastove_bedneni/vyhody/)
- [10] Technické parametry. *Uninox s.r.o.* [online]. Uninox, ©2016 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: [http://uninox.cz/plastove\\_bedneni/technicke\\_parametry/](http://uninox.cz/plastove_bedneni/technicke_parametry/)
- [11] Voided Slab Design: Review Paper. *3rd International Conference on Multidisciplinary Research & Practice* [online]. [cit. 2018-04-17]. ISSN 2321-2705. Dostupné z: <http://www.rsisinternational.org/3ICMRP-2016/220-226.pdf>

- [12] Product Introduction. *BubbleDeck* [online]. BubbleDeck International [cit. 2018-03-31]. Dostupné z:  
<http://www.bubbledeck.com/download/BubbleDeck.pdf>
- [13] Design Guide. *BubbleDeck* [online]. BubbleDeck International [cit. 2018-03-31]. Dostupné z:  
[http://www.bubbledeck.com/download/BD\\_INT\\_DesignGuide.pdf](http://www.bubbledeck.com/download/BD_INT_DesignGuide.pdf)
- [14] Presentation. *BubbleDeck* [online]. BubbleDeck International [cit. 2018-03-31]. Dostupné z:  
[http://www.bubbledeck.com/download/BubbleDeck\\_Presentation.pdf](http://www.bubbledeck.com/download/BubbleDeck_Presentation.pdf)
- [15] Structural behavior of bubble deck slab. *IEEE* [online]. ©2012 [cit. 2018-04-17]. ISBN 978-81-909042-2-3. Dostupné z:  
[https://www.researchgate.net/publication/254038055\\_Structural\\_behavior\\_of\\_bubble\\_deck\\_slab](https://www.researchgate.net/publication/254038055_Structural_behavior_of_bubble_deck_slab)
- [16] Quick-Guide. *Heinze Cobiax Deutschland GmbH* [online]. Cobiax, ©2018 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z:  
[http://www.cobiax.com/dynamo/files/user\\_uploads/06\\_andere/Cobiax\\_QG\\_02\\_2017\\_en.pdf](http://www.cobiax.com/dynamo/files/user_uploads/06_andere/Cobiax_QG_02_2017_en.pdf)
- [17] Cobiax Technology. *Palcotek Home* [online]. PALCOTEK COMPANY, ©2013 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z:  
<http://palcotek.com/cobiax/en/cobiaxTechnology.php>
- [18] Cobiax Brochure. *Heinze Cobiax Deutschland GmbH* [online]. Cobiax, ©2018 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z:  
[http://www.cobiax.com/dynamo/files/user\\_uploads/00\\_oeffentlich/Cobiax\\_BR\\_O\\_10\\_2016\\_en.pdf](http://www.cobiax.com/dynamo/files/user_uploads/00_oeffentlich/Cobiax_BR_O_10_2016_en.pdf)
- [19] U-BOOT BETON® TECHNICAL DATA. *Innovative solutions for building* [online]. Daliform Group, ©2015 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z:  
<https://www.daliform.com/en/disposable-formwork-for-two-way-lightened-voided-slabs/u-boot-beton-technical-data/>
- [20] APPLICATIONS U-BOOT BETON® APPLICATIONS. *Innovative solutions for building* [online]. Daliform Group, ©2015 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z:  
<https://www.daliform.com/en/disposable-formwork-for-two-way-lightened-voided-slabs/applications-u-boot-beton/>

- [21] U-BOOT BETON® INSTALLATION. *Innovative solutions for building* [online]. Daliform Group, ©2015 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://www.daliform.com/en/disposable-formwork-for-two-way-lightened-voided-slabs/u-boot-beton-installation/>
- [22] The lightweight floorsystem. *Airdeck Intelligent Floorsystems* [online]. Airdeck [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://www.airdeck.com/assets/Airdeck-EN.pdf>
- [23] Biaxial hollow slab with innovative types of voids. A. Churakov [online]. A. Churakov, ©2014 [cit. 2018-04-17]. ISSN 2304-6295. Dostupné z: [http://unistroy.spbstu.ru/index\\_2014\\_21/5\\_churakov\\_21.pdf](http://unistroy.spbstu.ru/index_2014_21/5_churakov_21.pdf)
- [24] Two Innovations. *BEEPLATE Honeycomb Floor* [online]. Häussler Innovation [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://www.beeplate.com/index.php?id=171&L=1>
- [25] BEEPLATE System. *BEEPLATE Honeycomb Floor* [online]. Häussler Innovation [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://www.beeplate.com/index.php?id=109&L=1>
- [26] UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA SPIROLL. *Prefa Brno a.s.* [online]. Prefa Brno, ©2016 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: [27] [http://www.prefa.cz/wp-content/uploads/2016/06/PREFA\\_Prirucka\\_SPIROLL\\_2017\\_WEB-1-1.pdf](http://www.prefa.cz/wp-content/uploads/2016/06/PREFA_Prirucka_SPIROLL_2017_WEB-1-1.pdf)
- [27] Předpjaté TT desky. *PREFA PRAHA a.s.* [online]. PREFA PRAHA, ©1988-2018 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://www.prefa-praha.cz/index.php?id=56>
- [28] FOGLAR, Marek, Michaela FRANTOVÁ a Pavel JIŘÍČEK. *Betonové konstrukce 3: navrhování betonových konstrukcí na MSP, úvod do předpjátého betonu*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04943-3.
- [29] Národní technická knihovna od návrhu k provozu. *Časopis stavebnictví* [online]. Časopis Stavebnictví, ©2007 [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: [https://www.casopisstavebnictvi.cz/narodni-technicka-knihovna-od-navrhu-k-provozu\\_N5560](https://www.casopisstavebnictvi.cz/narodni-technicka-knihovna-od-navrhu-k-provozu_N5560)
- [30] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI, 2011.
- [31] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: ČNI, 2004.
- [32] ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb. Praha: ČNI, 2010.

## Přílohy

Příloha č. 1 – Statický výpočet (Návrh stropní desky administrativní budovy)

Příloha č. 2 – Výkres tvaru 2NP

Příloha č. 3 – Výkres dolní výztuže desky D1

Příloha č. 4 – Výkres horní výztuže desky D1