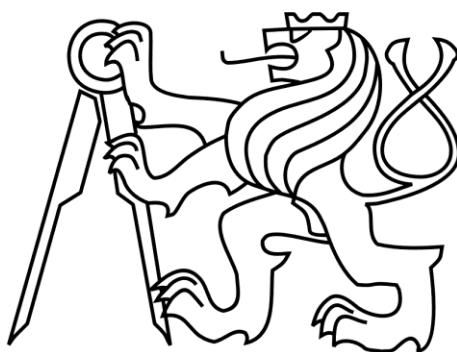


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ ZELENÉ FASÁDY

Vypracoval: Josef Haber

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radek Štefan, Ph.D.

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Praha 2018

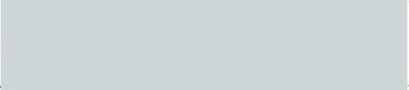



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: <u>Haber</u>	Jméno: <u>Josef</u>	Osobní číslo: <u>437982</u>
Zadávající katedra: <u>K133 - Katedra betonových a zděných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Konstrukční řešení zelené fasády</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Structural Solution of Green Facade</u>	
Pokyny pro vypracování: - rešerše literatury - popis možných řešení zelených fasád - analýza stavby "Bosco Verticale" - návrh vybrané konstrukce zelené fasády	
Seznam doporučené literatury: Normy: ČSN EN 1990, ČSN EN 1991-1-1, ČSN EN 1992-1-1 Procházka, J., a kol. Navrhování železobetonových konstrukcí. Příklady a postupy. Procházka, J., Šmejkal, J. Betonové stropní a schodišťové konstrukce. Procházka, J., Šmejkal, J. Betonové základové a opěrné konstrukce. + publikace zaměřené na zelené fasády	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Radek Štefan, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>19.2.2018</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>27.5.2018</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
 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 nutně 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“.

<u>22.5.2018</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)
---	---

Čestné prohlášení

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

V Praze dne 25. 5. 2018

.....

Josef Haber

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Radku Štefanovi, Ph.D., za rady a čas, který mi věnoval při psaní této práce. Taktéž bych chtěl poděkovat RNDr. Oldřichu Vackovi, CSc., z ČZU za informace a náměty, kterými mě zásobil. A samozřejmě bych chtěl poděkovat rodičům za stálou podporu při studiu a přátelům za jejich snahu mi v něm bránit.

Konstrukční řešení zelené fasády

Structural Solution of Green Facade

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá analýzou a pozdějším návrhem vertikální vegetační konstrukce, známou též jako zelená fasáda. Práce se zabývá vlivy tohoto řešení na vnitřní prostředí budov, stejně tak jako na vliv celé stavby na okolní prostředí. Součástí práce je taktéž návrh konstrukčního systému ve stylu budovy Bosco Verticale (Vertikálního Lesa) v Miláně.

Klíčová slova

Vertikální, vegetace, konstrukce, zelená, fasáda, Bosco, Verticale

Abstract

Bachelor thesis is focused on analysis and following design of vertical vegetational components, also known as green facades. The thesis takes into consideration its impact on inner environment of incriminated buildings as well as on impact of such buildings on surrounding environment. Last part of the thesis is a design of structure with vertical gardens in style of Bosco Verticale (Vertical Forest) in Milano.

Keywords

Vertical, vegetation, structure, green, facade, Bosco, Verticale

Obsah

1	Úvod	7
2	Cíl práce	8
3	Historie zelených fasád	9
3.1	Počátky	9
3.2	Vývoj ve 20. století.....	10
4	Typologie zelených fasád	13
4.1	Extenzivní zelené fasády (green facades).....	13
4.1.1	Tradiční	13
4.1.2	S podpůrnými konstrukcemi	14
4.2	Intenzivní živé stěny (living walls).....	15
4.2.1	Modulární panelové systémy.....	15
4.2.2	Plošné textilní systémy	16
4.3	Vertikální lesy – květináče na perimetru budovy	17
4.4	Alternativní členění	19
4.4.1	Členění ve stylu zelených střech	19
4.4.2	Rozdílné členění živých stěn.....	19
4.4.3	České názvosloví zelených fasád	19
5	Vlastnosti zelených fasád	20
5.1	Tepelně technické vlastnosti	20
5.1.1	Tradiční zelené fasády.....	22
5.1.2	Předsazené zelené fasády	22
5.1.3	Živé stěny	23
5.1.4	Vertikální lesy	24
5.2	Akustika	25

5.2.1	Neprůzvučnost konstrukcí	26
5.2.2	Zvuková pohltivost	30
5.2.3	Vertikální lesy a jejich vliv na akustiku.....	32
5.3	Ekologie	32
5.3.1	Redukce městských tepelných ostrovů	32
5.3.2	Využití srážkové vody	33
5.3.3	Zvýšení biodiversity a životního prostoru.....	34
5.3.4	Kvalita vzduchu.....	34
5.3.5	Snížení hluku	34
5.4	Ekonomická udržitelnost.....	35
5.4.1	Tradiční zelené fasády.....	37
5.4.2	Předsazené zelené fasády	37
5.4.3	Živé stěny	37
5.5	Ostatní vlastnosti	38
6	Případová studie – Bosco Verticale	39
6.1	Základní informace	40
6.2	Konstrukční řešení	42
6.3	Vývoj statického modelu zelené fasády	45
6.4	Řešení zelené fasády.....	46
6.4.1	Konstrukce fasády.....	46
6.4.2	Vegetace a údržba fasády	48
6.4.3	Závlahový systém fasády.....	50
6.5	Následné výstavby vertikálních lesů	52
7	NÁVRH VLASTNÍ KONSTRUKCE	54
7.1	Konstrukční řešení	54

7.2	Zatížení.....	56
7.3	Kontrola výpočtu.....	67
7.4	Kombinace zatížení	70
7.5	Vyztužení konstrukce	71
7.5.1	Vyztužení desky.....	71
7.5.2	Vyztužení stěn	72
7.6	Posouzení MSP.....	74
7.6.1	Šířka trhlin	74
7.6.2	Normově závislý průhyb.....	76
8	Závěr	77
9	Bibliografie	80
10	Seznam obrázků a tabulek	85
10.1	Seznam obrázků.....	85
10.2	Seznam tabulek.....	87

1 Úvod

S rozvojem urbanizace a úbytkem zelených ploch se nevyhnutelně začaly generovat problémy s těmito jevy spjaté. Znečištění ovzduší, hluchost, neschopnost dostatečného využití srážkové vody a i samotný nedostatek zeleně nutí architekty prokládat městskou zástavbu uměle vysazenou vegetací, aniž by došlo kde snížení cenné výměry zastavitelné plochy. Díky tomu se dá vysledovat poměrně výrazný rozvoj aplikace vegetace na střeších a v poslední době i fasádách novostaveb.

Intenzivní a extenzivní zelené střechy jsou vývojově starší a v tuto chvíli využívanější variantou, což je s přihlédnutím ke gravitačním zákonům a technologické náročnosti pochopitelné. “Živé“ střechy se v průběhu několika let staly díky funkčním výhodám a ekologickému přesahu oblíbeným a hlavně běžným řešením zastřešení konstrukcí.

Nicméně vzhledem k faktu, že využitelná plocha fasád vysokých budov bývá výrazně větší než plocha střech, začínají architekti a stavební inženýři realizovat i některá odvážnější řešení zelených fasád. Tento trend je podporován i snahou vědců analyzovat vliv vertikální vegetace na funkce budovy a městské prostředí.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je vytvořit rešerši poskytující čtenáři ucelenou klasifikaci typů zelených fasád podle českých i mezinárodních zdrojů. Velký důraz je kladen na vlastnosti jednotlivých typů fasád, a to z hlediska akustiky, tepelně technického řešení, ekologie a udržitelnosti.

Druhá část bakalářské práce se zabývá analýzou budovy Bosco Verticale z hlediska architektonicky-stavebního a konstrukčně-stavebního. Budova je podrobena kritickému rozboru řešení instalace stromové vegetace na perimetr budovy pro další potřeby bakalářské práce.

Závěrečná část se věnuje vlastnímu návrhu zelené fasády ve stylu Bosco Verticale. Cílem je využít poznatky z rešerše a pokusit se navrhnout betonovou konstrukci, která bude pracovat s netypickým zatížením způsobeným instalací stromové vegetace.

3 Historie zelených fasád

3.1 Počátky

První důkazy o práci člověka s popínavými rostlinami se dají najít už ve starověku. Nejstarší písemné zmínky o vysazování vinné révy se dají dle dostupných pramenů datovat do období 3500 let př. n. l. Zároveň z tohoto období existují malby, které tyto praktiky dokazují. [1 str. 10]

Teoreticky by se prvenství mohlo přisoudit legendárním Visutým zahradám Semiramidis (viz obrázek 1), které se měly nacházet v Babylónu někdy v období 600 let př. n. l. Druhý div světa popisují ve svých pracích jak řecký historik Diodór Sicilský (50 př. n. l.), tak historik židovského původu Filón (počátek n.l.). Voda se měla systémem potrubí transportovat z Eufratu do nejvyššího bodu stavby, ze kterého by měla závlahová voda stékat po stěnách dolů do nižších pater zahrad. Ačkoliv objevitel Babylónu, archeolog Robert Koldewey, lokalizoval stavbu, která by odpovídala popisům výše zmiňovaných antických historiků, nikdy nebyly o této stavbě nalezeny nezvratné důkazy. [2]



Obrázek 1 – ilustrace Visutých zahrad Semiramidis z 19. století

zdroj: [3]

3 Historie zelených fasád

Je tedy třeba konstatovat, že ambicióznější projekty ozelenění fasád jsou otázkou až posledních několika desítek let. Středověk se totiž vyznačoval pouze velmi jednoduchou zahradní architekturou, kdy se pod osluněné části fasád vysazovaly různé druhy vinných rév, které se pnuly bez jakékoliv opěrné konstrukce. Jedinou výjimkou z pravidla je typ pěstování povětšinou ovocných dřevin vyvazovaných na opěrné zdi, který se v literatuře nazývá *Mauerspaliere*. [1 str. 10] Břečťan, který se běžně vyskytuje i v současné zástavbě, se začíná objevovat až na počátku 19. století. Těto rostlině se jako první zdařilo pokrýt celou vnější vertikální plochu budovy, a tudíž se o tomto řešení už dá uvažovat jako o zelené fasádě, viz obrázek 2.



Obrázek 2 - brečťanová zelená fasáda

zdroj: [4]

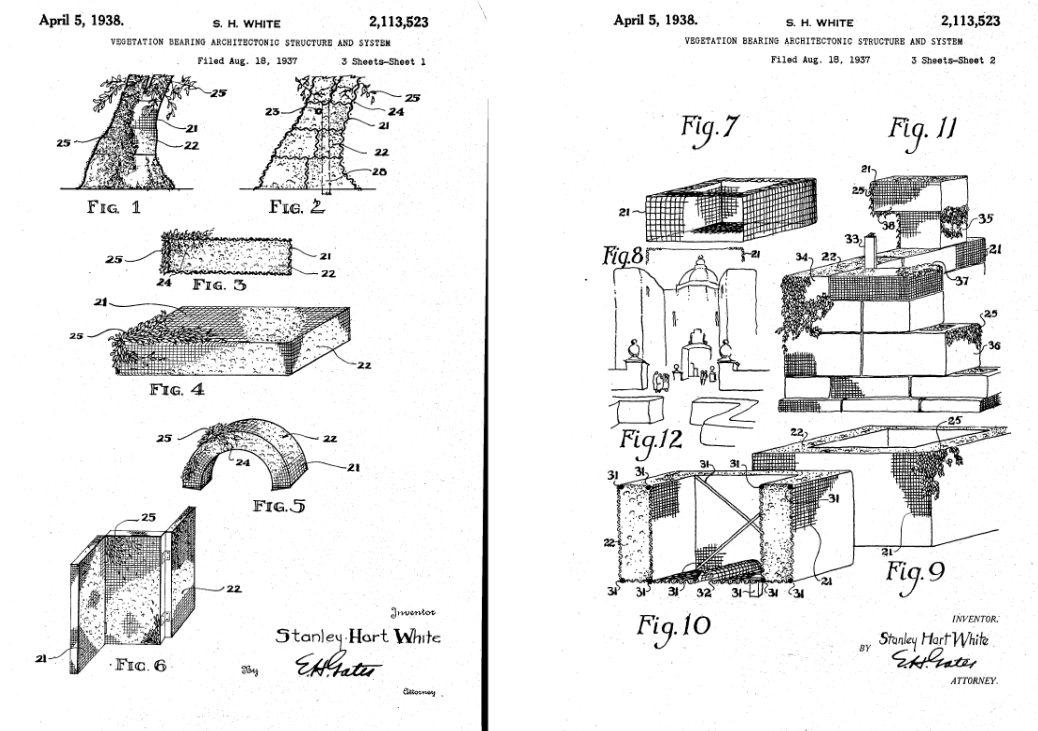
3.2 Vývoj ve 20. století

Na přelomu 19. a 20. století nastal v návaznosti na industrializaci v amerických a evropských městech rozvoj zahradní architektury. Zajímavý je například počet publikovaných statí, které nějakým způsobem souvisely se zelenými fasádami. V registru knihovny zahradní historie vytvořenou

3 Historie zelených fasád

berlínskou Univerzitou umění (Universität der Künste) je mezi lety 1880 a 1940 možno pod klíčovým slovem zelené fasády (green facades) nalézt skoro 200 článků a dokumentů z nejvýznamnějších zdrojů té doby, stejným postupem je ale možno nalézt pouze 19 článků s klíčovým slovem zelené střechy (green roofs). [5 stránky 5,6] [6]

První svislá zahrada byla zkonstruována na začátku 30. let, kdy Brazilský zahradní architekt Roberto Burle Marx ve spolupráci se stavebním všemělem Le Corbusierem vytvořil v Rio de Janeiru první vegetační stěnu. [1 str. 11] První patent v oboru vertikálních zahrad si zajistil profesor krajinné architektury na Univerzitě v Illinois Stanley Hart White. Své řešení, jež si nechal patentovat v roce 1937, nazval botanická cihla (botanical brick), viz obrázek 3. Jeho výzkum vertikálních stěn byl z části teoretický, z části experimentální, kdy si na vlastní dvorku stavěl jednotlivé varianty těchto zdí. [7 str. 2]



Obrázek 3 - patent 2,113,523 S. H. Whitea (strana 1 a 2)

Zdroj [34]

3 Historie zelených fasád

Bezesporu největším populizátorem a propagátorem vertikálních zahrad je botanik Patrick Blanc (nar. 1956). Jako první si uvědomil potenciál odolných rostlin, které mohou přežít s minimálním množstvím zeminy, pouze za přísunu vody a minerálů v ní obsažených. V roce 1988 si nechal patentovat interiérovou živou stěnu, kterou vytvořil pro Pařížské muzeum vědy a průmyslu. O šest let později dokázal na zahradním festivalu v Chaumont-sur-Loire sestavit několik stěn venkovních. Tato demonstrace proveditelnosti zajistila zájem odborné veřejnosti o koncept vertikálních zahrad a jemu možnost pracovat s těmi nejlepšími architekty. V současnosti má na svém kontě přes 300 živých stěn po celém světě a spolupráci na projektech například se známým architektem Jeanem Nouvelem. [1 str. 11] [8].

České republice se bohužel vývoj ozelenění fasád kvůli politické situaci úplně vyhnul. Prvním větším projektem by mělo být ozelenění šikmých stěn u obchodního domu Anděl na pražském Smíchově, viz obrázek 4. [1 str. 11] Nicméně projekt AFI Business Centre na pražském Karlíně dokazuje snahu českých architektů dohnat světovou architektonickou špičku.



Obrázek 4 - šikmá zelená stěna u OC Anděl

Zdroj: [1]

4 Typologie zelených fasád

Prvně je nutné uvést, že existuje poměrně velký rozdíl mezi českým a světovým názvoslovím zelených fasád. V českém prostoru se ustálil po vzoru zelené střechy termín zelené fasády [9] [10], v angličtině se ale tyto fasády povětšinou nazývají vertical greenery systems (VGS) [11 str. 1]. Přímým překladem k zelené fasádě, green facades, se povětšinou označují pouze systémy využívající popínavost rostlin, které jsou vysazovány u hrany fasád [11 stránky 140, 141] [12 stránky 120-122] [13 str. 111].

Fasády pracující s vegetací se rozdělují na dvě základní podskupiny. Jednou jsou klasické popínavé zelené fasády (green facades), druhou živé stěny (vertikální zahrady, living walls, bio walls), které se dále člení podle technologie uchycení na nosnou stěnu. Zároveň by se dalo uplatnit členění na intenzivní a extenzivní systém. Na této typologii se shodne většina dohledatelných vědeckých článků a webových stránek a bude se o toto členění opírat i tato práce.

V posledních několika letech se začaly objevovat projekty a realizace vertikálních lesů, které vyhledané zdroje povětšinou neuvádějí. Budou tedy zařazeny do samostatné kapitoly.

4.1 Extenzivní zelené fasády (green facades)

Zelené fasády jsou zjednodušeně všechny takové, které rostou popínavě vzhůru ze substrátu u paty fasády. Substrát může být umístěn pod dolní hranou konstrukce, nebo připojen v určité výšce nad dolní hranou fasády v květináčích. [13 str. 112] Hlavní podmínkou využití tohoto systému je popínavá schopnost vegetace, díky tomu je výběr rostlin značně omezen. Z hlediska působení na fasádu se člení na dva základní typy [11 str. 140].

4.1.1 Tradiční

Tento typ využívá pouze schopnost zakořenění popínavé rostliny do fasády, viz obrázek 5 vlevo. Ozelenění fasády trvá od 3 do 5 let [12 str. 120].

Tento tradiční způsob je jednoznačně nejjednodušší a tedy i nejlevnější. Velkou nevýhodou je rozrušení fasády od prorůstajících kořenů, stejně tak jako náročnost případného odstranění vegetace. Dalšími nevýhodami je samotná doba, než vegetace pokryje fasádu. Problematická je taktéž aplikace na vyšších stěnách [1 str. 17].

4.1.2 S podpůrnými konstrukcemi

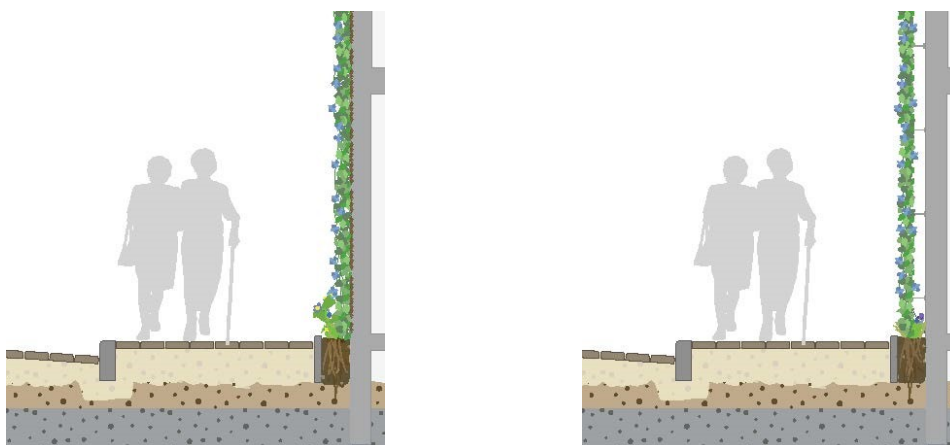
Tento systém je modernější variantou zelené fasády. Díky předsazené konstrukci vegetace nepenetruje konstrukci, navíc vzduchová mezera napomáhá vyrovnávání teplot před samotnou konstrukcí, viz obrázek 5 vpravo. Další výhodou je i vyšší variabilita použitých rostlin. Konstrukce se mohou rozřadit na plošné a prostorové systémy [12 str. 121] [11 str. 140].

4.1.2.1 Plošné systémy

využívají ocelová lana nebo sítě [11 str. 141] (Cable/Wire-Rope, mesh systém). Výhoda tohoto systému je jeho variabilita a schopnost pokrývat i atypické plochy.

4.1.2.2 Prostorové systémy

Dva mřížové ocelové prvky (modular trellises system) jsou spojeny zpevňujícími diagonálami. Jsou nevhodnější pro samotnou vegetaci, nevýhodou je větší váha působící na fasádu.



Obrázek 5 - zelená fasáda tradiční (vlevo) a s podpůrnou konstrukcí (vpravo)

Zdroj: [31]

4.2 Intenzivní živé stěny (living walls)

Druhý typ ozelení fasád je výrazně komplikovanější. V zásadě se dá říci, že živá stěna je každá taková, která nemá zdroj živin u paty fasády, ale naopak roste “horizontálně“, má tedy zdroj živin umístěný rovnoběžně s fasádou. Vegetace je vysazována rovnou do celé plochy, velmi se tedy zkracuje nebo přímo odpadá časová prodleva mezi vysazením a ozeleněním fasády. [1 str. 18] [12 str. 122].

Z označení “intenzivní“ jasně vyplývá, že tyto fasádní prvky nejsou bezúdržbové, je třeba poskytnout vegetaci dostatečný a v drtivé většině umělý přísun vody a živin. Je tedy třeba vytvořit poblíž fasády zásobník vody, který bude spojen s jímačem nadbytečné vody umístěným ve spodních partiích fasády. Zároveň je třeba hydroizolačně oddělit nasycené medium od vnitřní fasády, aby nedošlo k přenášení vlhkosti do vnitřních vrstev konstrukce.

Živé stěny se dají členit podle mnoha různých parametrů. Pro přehlednost byla nicméně zvolena varianta členění dle uložení substrátu (nebo textilie) na fasádu [11 stránky 140, 141] [12 stránky 122, 123] [1 stránky 21-29]. Ostatní možnosti rozdělení typů živých stěn viz podkapitola 4.3.2

4.2.1 Modulární panelové systémy

Substrát je zde aplikován na stěnu v povětšinou čtvercových panelech. Výhodou tohoto systému je snazší manipulace se substrátem, díky rozdělení na menší prvky je taktéž snazší vyměnit poškozenou část fasády. Další výhodou je možnost předpěstění vegetace před samotným vysazením na fasádu, výhody ozelenění se tedy projeví okamžitě [12 str. 122] [1 stránky 22-24].

4.2.2 Plošné textilní systémy

Tento typ je jednoznačně nejatraktivnější formou konvenčního ozelenění fasády, viz obrázek 6 vlevo. Je to také systém nejdražší. Fasáda není rozčleněna na části a vzniká opravdová vertikální zahrada. Její hlavní výhodou je, kromě vzhledu, univerzálnost využití, textilie je totiž možno upravit do libovolného tvaru. Dají se tak například udělat prostupy pro okna, dveře atd. Taktéž jsou lehčí než stěny z kazet a jejich životnost je vyšší. [1 str. 26] Dle využití, nebo naopak absence substrátu se plošné systémy člení do dvou základních typů.

4.2.2.1 Systémy na principu hydroponie

Vegetace je pěstěna za pomoci hydroponie, rostliny tedy nepřijímají živinu ze substrátu, ale ze samotné vody. Kořenový systém je uchycen do vrstev (obvykle dvou) vysoce nasákavé plstě (viz obrázek 6 vpravo), jež je přichycena na nenasákavou plastovou desku, která plní funkci nosné konstrukce. Tato deska je napojena na vnější soustavu ocelových sloupů a příček, které jsou přichyceny přímo na stěnu. Asi nejznámější variantou těchto konstrukcí je typ "Mur vegetal", tedy typ patentovaný průkopníkem této technologie, Patrickem Blancem. [1 str. 25] [12 str. 123]



Obrázek 6 - živá stěna v Madridu od Patricka Blanca + detail

Zdroj: autor, březen 2018

4.2.2.2 Systémy se substrátem

Systém je to obdobný, nicméně mezi vrstvami textilie je substrát. Využívá výhod modulárních systémů a hydroponických živých stěn. Je tedy lehčí než systém kazetový. Zároveň je vhodnější do oblastí mírného pásu, protože rostliny schopné využívat hydroponie jsou povětšinou velmi náchylné na vymrzání [1 str. 28].

4.3 Vertikální lesy – květináče na perimetru budovy

Klasifikovat tuto skupinu konstrukcí je složitější než u typů předchozích. Už z toho důvodu, že je to kategorie poměrně nová. Jeden jediný zdroj [11 str. 140] bere tuto z hlediska konstrukcí pozemních staveb nadmíru zajímavou skupinu v potaz a umísťuje ji (poměrně logicky) do skupiny intenzivních vertikálních vegetačních systémů, ale zároveň ji díky horizontálnímu umístění substrátu řadí mezi zelené fasády. Nicméně díky značné rozdílnosti z hlediska stavebního inženýrství je v této práci toto řešení odděleno do vlastní kapitoly.

Vertikální lesy jsou na rozdíl od předchozích konstrukcí velmi úzce spjaty se statikou budov. Díky abnormálnímu zatížení konstrukcí je třeba počítat se zásadním vlivem zatížení fasády ve výpočtovém modelu. Budovy jsou víceméně projektovány právě za účelem výsadby větších rostlin (povětšinou stromů) na fasády a tudíž je každá budova svým způsobem unikátní.

Jedna z nejstarších staveb tohoto typu je Tower-Flower v Paříži, viz obrázek 7. Na této desetipatrové budově postavené v roce 2004 se na okraji vykonozolovaných balkónů nachází 380 napevno upevněných květináčů, ve kterých roste několik druhů bambusů [14]. Z hlediska stavebního je zajímavé zesílení desky v místech zatížení od květináčů. Přestože jsou květináče z lehčeného betonu, vznikla zde pravděpodobně potřeba vyřešit problém protlačení naplněného květináče skrz desku, viz obrázek 8.



Obrázek 7

Tower-Flower v Paříži

Zdroj: [32]



Obrázek 8

detail desky

Zdroj: [33]

Za zmínku jistě stojí i “25 Verde“ z Italského Turína nebo architektura avantgardního umělce Hundertwassera. Nicméně asi největší ohlas získala stavba architektonického studia Stefano Boeri Architetti, a to vertikální les Bosco Verticale. Tato stavba vyvolal enormní zájem developerů i samotných států o stavby tohoto rázu, díky čemuž by se měly v budoucnu začít stavět obdobné budovy po celém světě. Z toho důvodu je Bosco Verticale věnována samostatná kapitola. Součástí této kapitoly jsou taktéž obdobné rozestavěné projekty a budoucí výstavba.

4.4 Alternativní členění

Dají se najít i zdroje, které uvádí mírně jiné rozdělení nebo terminologii. Z důvodu úplnosti rešerše jsou zde tedy uvedeny taktéž.

4.4.1 Členění ve stylu zelených střech

Zelené fasády jsou dle jednoho zdroje [15] nazývány *zelené stěny* (green walls), které jsou poté rozdělené na *intenzivní* (intensive), *semi-intenzivní* (semi-intensive) a *extenzivní* (extensive). Rozdíl oproti typickému řazení je v rozdělení zelených fasád na semi-intenzivní a extenzivní, přičemž první jmenovaný typ má oproti druhému na fasádě připevněný opěrný systém, který by měl pomáhat růstu vegetace a ochraňovat samotnou fasádu před degradací způsobenou rozvojem kořenového systému popínavých rostlin. Do tohoto systému jsou zařazeny i stěny samostojné, které fungují jako samostatné prvky zahradní architektury.

4.4.2 Rozdílné členění živých stěn

Alternativně se taktéž stěny mohou členit podle umístění stěny na budově, přesněji zda je umístěna v interiéru nebo exteriéru. Rozdíl tkví jak v systému závlahy, tak i v nutnosti osvětlení interiérových fasád umělým světlem. Interiérové stěny jsou přirozeně snazší na údržbu, díky minimálnímu výkyvu teplot je i větší množina využitelných rostlin [1 str. 18].

4.4.3 České názvosloví zelených fasád

Jeden nalezený pramen, jenž vychází převážně z českých zdrojů, uvádí jiné názvosloví. Nicméně rozdělení je stejné, jaké využívá tato práce. Zelené fasády se zde označují za systémy spojené s volnou půdou, které se dále dělí na samopnoucí a nesamopnoucí (velmi podobně jako v kapitole 4.1). Živé stěny jsou zde jmenovány jako vertikální zahrady. Rozdělení je obdobné jako v kapitole 4.2 [1 stránky 14-29]. Zároveň je třeba uznat, že některé zahraniční prameny [13 str. 111] taktéž nazývají zelené stěny vertical garden, tudíž by i tento překlad mohl být platný.

5 Vlastnosti zelených fasád

Ruku v ruce s vývojem vertikálních zelených systémů šla i snaha vědců z celého světa kvantifikovat benefity, jež z použití těchto systému plynou. Bohužel se vyskytuje jen poskrovnu do češtiny přeložených výsledků těchto studií, o samotných originálních výzkumech českých univerzit nemluvě. Nicméně výsledky jsou to nadmíru zajímavé a tato práce se je pokusí interpretovat v takové míře, aby vysvětlila základní klady a nevýhody zelených fasád.

Kapitola je rozdělena na čtyři základní oblasti, ve kterých se tyto fasády odlišují od konvenčních obálek budov, ať už v pozitivním, tak i negativním smyslu. Jsou to oblasti tepelně technické vlastnosti, akustika, ekologie a ekonomická udržitelnost. Každá část vychází z více studií (laboratorních měření), případně z jedné studie přehledové. Poslední část se týká nastínění dalších výhod těchto systémů.

5.1 Tepelně technické vlastnosti

Pro tuto část rešerše byla vybrána jako zdroj ucelená práce Pereze & kol. [11], která se pokusila sumarizovat a zanalyzovat co největší množství prací na téma VGS a jejich tepelných vlastností. V práci bylo třeba uvažovat několik zásadních faktorů ovlivňujících rozbor dat. Byly to hlavně:

1) **Typ fasády** – Zde práce využívá pro zpracování výhodné členění na zelené fasády a živé stěny, přičemž zelené fasády dále člení na tradiční a předsazené [11 stránky 140-141].

2) **Vliv prostředí** – Perez & kol. klasifikují umístění VGS dle Köpperovy klasifikace podnebí, kde se podnebí člení podle rozložení teplot vzduchu a atmosférických srážek. Základní stupnice je A-E, od podnebí ekvatoriálního po polární. Většina nalezených prací se nachází v pásmu C-D, tedy v Evropě a Asii, sám autor uvádí, že pro analýzu zelených stěn na jižní

a západní polokouli schází data z reálných pokusů. Zároveň je zajímavé, že většina dat týkajících se zelených fasád se nachází v prostoru Evropy, kdežto vědecké práce zaměřené na živé zdi vznikly v Asii [11 stránky 142-143].

3) **Vliv typu vegetace** - Vzhledem k variačním rozdílům využitě vegetace by se měl při srovnání vzít v potaz roční cyklus rostlin, jejich opadavost atd. Například pro tradiční zelenou fasádu se vždy využil jeden ze dvou typů břečťanů, přičemž jeden je a druhý není opadavý [11 stránky 143-148]. Pro živé stěny existuje opravdu velké množství využitelné vegetace, toto téma se tedy nebude v této práci dopodrobna rozebírat.

4) **Vliv vlastností fasády** – Všechny analyzované práce se snažily jedním či více faktory obhájit rozdíl teplot po prostupu fasádou. Z 25 prověřovaných prací jich 22 uvažovala vliv stínu, který fasáda vytváří. Druhý efekt je chlazení fasády vlivem evaporace vody z rostlin v případě zelených fasád a kombinované evaporace z rostlin a substrátu u živých stěn. Tento efekt vzalo v potaz 11 prací. Třetím vlivem je izolační vlastnost vrstvy vzduchu a/nebo substrátu mezi vegetací a nosnou stěnou. Tuto vlastnost vzalo v potaz 5 prací, přičemž všechny uvažovali vliv vzduchové mezery. Dle Perezze & kol. neexistuje žádná práce zkoumající izolační vlastnosti substrátu při různých tloušťkách této vrstvy. Posledním efektem je efekt protivětrné bariéry, kdy VGS nejen odráží přímý vítr mířící na fasádu, ale i samotný vliv fotosyntézy vzduchu a její nepřímý vliv na izolaci fasády. Tomuto vlivu se věnovaly pouze 3 výzkumy a ne do hloubky, je tedy třeba dalšího výzkumu [11 str. 148].

Samotná Perezova práce se pro vhodnou interpretaci rozhodla výsledky rozčlenit do 4 kapitol, a to podle klasifikace typů fasád doplněnou o jednu podkapitolu, která se zabývá provedenými umělými simulacemi. Tyto práce jsou ale tak rozdílné jak v předpokladech, tak ve výsledcích, že nejsou v rešerši zohledněny. Naopak se tato práce snaží v poslední podkapitole této části předpokládat chování vertikálního lesa při aplikaci poznatků z Perezovy publikace.

5.1.1 Tradiční zelené fasády

Perez analyzoval výsledky ze sedmi zkoumaných tradičních zelených fasád, přičemž 4 byly z Evropy a jedna z Číny, Japonska a USA [11 str. 145]. Hlavními parametry ovlivňujícími výsledky jsou: období měření, orientace fasády, užitý druh rostliny a tloušťka zelené vrstvy.

Například tloušťka vrstvy je velmi zajímavý parametr, jedna práce zjistila, že při tloušťce zelené vrstvy menší než 10 cm je rozdíl teplot při denním teplotním maximu pouhých 1,7 °C, naopak při tloušťce 45 cm byl rozdíl teplot 9,5 °C., přičemž vlhkost stoupla o poměrně zanedbatelných 1-5 % [11 str. 152].

Celkové výsledky jsou: pro oblast C (například západní a jižní Evropa) je snížení teploty za fasádou 1,7-13 °C, pro oblast D (například střední Evropa) vyšlo snížení teploty od 7,6 do 16 °C. Nejvhodnější směry fasád jsou východní a západní orientace, kde se dá změřit signifikantní snížení energetické náročnosti v letních měsících [11 str. 164].

5.1.2 Předsazené zelené fasády

Zde Perez analyzoval výsledky z 10 výzkumů, 7 z Evropy, 2 z Japonska a jeden ze Singapuru. [11 str. 145] Nejzajímavějšími parametry jsou jako u tradičních zelených fasád orientace fasády, druh rostliny a tloušťka vrstvy, nově také mění výsledky tloušťka vzduchové mezery a procentuální pokrytí fasády vegetací.

Poslední zmíněný parametr je velmi určující, jedna studie citovaná v práci Pereze zjistila výraznou spojitost mezi tímto parametrem a rozdílem teplot před a za zelenou fasádou. Při zakrytí 12 % fasády byl rozdíl teplot pouhých 3,7 °C, naopak při pokrytí 54 % fasády byl rozdíl až 11,3 °C [11 str. 155]. Zároveň se v těchto pracích výrazněji řešil přínos evaporace rostlin na okolní teplotu. Rostliny přeměňují v průběhu fotosyntézy za pomoci radiace CO₂ na O₂ a vypařují vodu, která vytváří mikroklima, které dále snižuje teplotu v prostoru zelené fasády. Tento efekt by mohl mít nejvýraznější podíl

na ochlazování fasády, je však taktéž třeba další výzkum pro potvrzení těchto hypotéz. To samé uvádí Perez i o šířce vzduchové mezery mezi vegetací a vnitřní fasádou [11 str. 164].

Průměrné hodnoty rozdílu ochlazení vzduchu při aplikaci předsazené zelené fasády jsou od 1 do 15,6 °C. Bohužel to jsou hodnoty pouze pro oblast C, jeden jediný výzkum proběhl v jiné zóně, a to v oblasti A (Singapur), kde bylo výsledné ochlazení pouhých 4,36 °C [11 str. 154]. V jiných oblastech výzkum zatím neproběhl.

5.1.3 Živé stěny

Při analýze zelených stěn Perez & kol. našli 8 různých prací, přičemž dvě práce jsou ze Singapuru, tři z Číny a tři z Evropy [11 str. 146]. Určujícími parametry jsou i zde doba měření (roční cyklus vegetace), orientace fasády, procentuální ozelenění fasády, tloušťka zelené vrstvy a samotný typ rostlin. Navíc se přidává i vlastnosti a tloušťka zeminy.

Ve zkoumaných člancích se kromě jiného řešila i schopnost vegetace změnit rychlost větru před vnitřní fasádou. Jedna práce [11 str. 157] dokázala změřit snížení rychlosti vzduchu před fasádou. 1 m před fasádou měl vítr mířící na fasádu stejnou rychlost jako 10 cm před fasádou, přesně 0,56 m/s. Ve vzduchové dutině po prostupu zelení byla však rychlost 0,1 m/s. Obdobné výsledky vyšly i u dvou předsazených zelených fasád. Taktéž byla nalezena práce [11 str. 158], která vyhodnotila, že je lepší mít vzduchovou mezeru uzavřenou, nevětranou. Byly provedeny testy na různé tloušťky této vrstvy. Výsledky indikují, že vzduchová vrstva napomáhá celkové izolaci konstrukce, ale taktéž kupodivu platí, že čím užší vzduchová vrstva je, tím lépe.

Celkové hodnoty tedy byly nalezeny opět pro oblast C, a to od 12 do 20,8 °C v létě a 5-16 °C na podzim. Největší teplotní redukce proběhla na jihozápadní a východní fasádě [11 str. 164].

5.1.4 Vertikální lesy

Ačkoliv Perez nezahrnul do své práce vertikální lesy se stejnou pečlivostí jako v předchozích kapitolách, je zde k nalezení několik informací ohledně tepelně technických vlastností charakteristických pro výsadbu stromů před objektem. Jak už je v této rešerši uvedeno, je přímá souvislost mezi tloušťkou zelené vrstvy a rozdílem teplot (viz. 5.1.1), kdy při tloušťce 45 cm byl rozdíl teplot před a za fasádou 9,5 °C. Koruna středně vzrostlého stromu by tedy měla mít velmi dobré stínící a chladící vlastnosti. Taktéž se ale musí vzít v potaz souvislost mezi procentuálním ozeleněním (pokrytím) fasády (viz 5.1.2). Je tedy nutno uvážit rozmístění stromů po fasádě tak, aby zakryly co největší procento fasády. Zároveň se musí vzít v potaz abnormálně vysoká schopnost evaporace. Stromy dle uvedených informací dokáží zvýšit absolutní vlhkost o 1-2 kg/m³ [11 str. 162].

Jedna zmíněná práce [11 str. 162] tyto hypotézy podporuje, stromy umístěné před fasádou domu vytvořily rozdíl v teplotě 11-15 stupňů, snížení rychlosti větru o 13-16 % a snížení energetické náročnosti o 26-47 %. Při vhodnějším rozmístění vegetace by se ale jistě dala tato čísla ještě zvýšit.

Třetím a asi nejaktualnějším zdrojem je práce E. Giacomello & M. Valagusa [16], která se zaměřila na první vertikální les svého druhu, tedy Bosco Verticale (viz kapitola 6). V této práci využili jiný způsob kvantifikace vlastností, díky užšímu zaměření byl využit software Energy plus, který simuluje energetickou náročnost budovy. Do tohoto softwaru byly vloženy modely 6. patra budovy E (větší ze dvou výškových budov). V modelu se pro vliv zelené fasády využil Leaf Area Index (LAI), kterým se zhodnotilo zakrytí fasády vegetací. Byly vymodelovány 3 typy fasád, fasáda s vykonzolovanými balkóny a se stromy (A), fasáda s balkóny (B) a klasická fasáda bez balkónů (C).

Simulace proběhla pro celý rok, takže bylo možno udělat roční bilanci všech tří typů fasád. V zimních měsících byly fasády A a B z důvodu menšího přísunu světla do vnitřního prostoru energeticky náročnější, naopak

v letních měsících předsunuté konstrukce výrazně snižovaly energetickou zátěž, která byla vynaložena na ochlazení budovy.

Sezónní nároky na vytápění byly u fasády A 23,2 kWh/m², u fasády C pouhých 16,9 kWh/m², tedy nárůst 37,3 %. Naopak, nároky na chlazení u fasády A byly pouhých 7 kWh/m², pro fasádu C 22,0 kWh/m², což je pokles 68 %. Tyto hodnoty specifikují potřebu energie na vykrytí ztrát/přebytků od sluneční radiace v zimní a letní sezóně, celkové reálné náklady na vytápění a chlazení jsou rozdílné. Roční nároky na chlazení a vytápění jsou u fasády C, tedy klasické fasády bez balkónů, 13,7 kWh/m², u fasády A, tedy fasády vertikálního lesa, 12,7 kWh/m². Celkový pokles nákladů na energii je tedy okolo 7,5 %.

Je ale nutno zmínit, že výsledné hodnoty varianty B, tedy varianty s balkóny, ale bez vegetace, vyšly díky nižším nárokům v zimě a poměrně dobrým vlastnostem odstínění v létě obdobně jako u varianty A. Nicméně autoři argumentovali nižší hodnotou koeficientu LAI, stromy byly tedy v době měření tohoto indexu na fasádě pouze rok, a tento koeficient by se měl v budoucnosti výrazně zvýšit, tedy i rozdíl mezi fasádami A a B by měl být výrazný.

5.2 Akustika

Hlavním pramenem pro akustické vlastnosti fasád je práce N.H. Wonga & kol. [17], která vytvořila sadu 8 různých zelených fasád. Zároveň je tato práce doplněna o další výzkumy od Z. Azkorra & kol. [18] a R. Thomazelli & kol. [19], jejichž výsledky měření živých stěn jsou mírně odlišné od výsledků Wonga.

Všechny práce se soustředily na analýzu dvou základních parametrů využívaných v aplikované akustice budov a prostředí, a to na zvukovou izolaci souvrství a zvukovou pohltivost materiálů. Prvním se měří prostup zvuku (růžového šumu) skrz konstrukci. Zaznamenaný úbytek výkonu (dB)

se měří v třetinooktávovém kmitočtovém pásmu (cca 100 Hz – 10 kHz, podle studie). Pohltivost se ve všech třech případech zjišťovala v dozvukové místnosti (reverberation chamber), ve které byl na obdobných frekvencích (u Wongova výzkumu byla nejvyšší hodnota 50 kHz) měřena doba dozvuku, ze kterého se dá zjistit pohltivost zkoušeného materiálu. Dvě ze tří prací [17] [18] uvedly i shodný použitý vzorec:

$$\alpha_s = \frac{A_t}{S} = \frac{V}{S} \left[55,3 * \left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - 4(m_2 - m_1) \right]$$

kde: A_t je ekvivalentní absorpční plocha, S je plocha vzorku, V objem dozvukové místnosti, c značí rychlost zvuku, T čas dozvuku a m zeslabovací koeficient zvuku podle EN - ISO 9613-1 [18] nebo BS - ISO 13472-1 (British Standard Method) [17]. Indexy značí typ měření, číslo 1 je místnost prázdná, číslo 2 je měřena se zelenou fasádou. Třetí práce výpočtový vzorec neuvedla.

Všechny výše zmíněné práce poukazují na to, že zatímco vyšší frekvence nad 1 kHz pohlcuje hlavně samotná vegetace, nižší frekvence jsou pohlcovány substrátem. Už toto zjištění indikuje, že všechny typy extenzivních zelených fasád (kap. 4.1) budou mít automaticky nižší schopnost absorpce a odrazu hluku v nižších kmitočtech. Taktéž má na schopnost vegetace akusticky izolovat vliv samotná velikost, zahuštění a natočení listů. Také zemina má vliv na akustiku stěny, pórovitost pohltivost zvyšuje, saturace jí naopak snižuje. Velmi zajímavá je i nelinearita pohltivosti zeminy v poměru s mocností media. Substrát o tloušťce 50 mm vykazuje koeficient pohltivosti (při 1000 Hz) přibližně 0,9, při zvyšování tloušťky se koeficient zvedá na maximum tohoto koeficientu, tedy hodnotu 1 [18 str. 48].

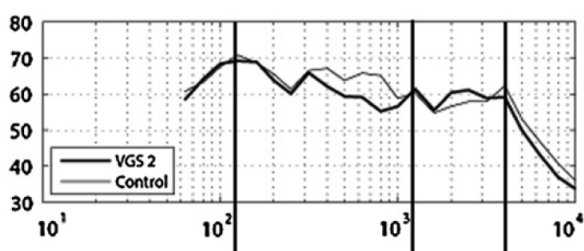
5.2.1 Neprůzvučnost konstrukcí

5.2.1.1 Extenzivní zelené fasády

Pro srovnání se tato práce zabývá analýzou pouze vybraných typů vertikálních zelených systémů, které ve své práci měřil Wong. [17]. Jako

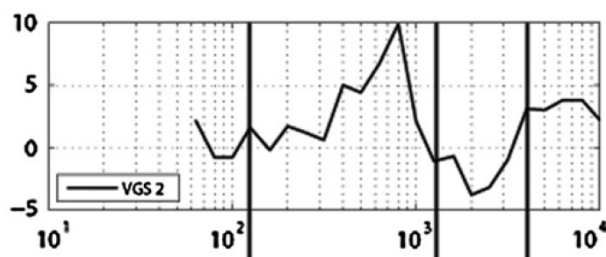
typického zástupce zelených fasád byla zvolena stěna 2, která byla určena jako typ popisovaný v podkapitole 4.1.2, extenzivní zelená fasáda s podpůrnou konstrukcí. Bohužel se většina vědeckých prací soustředí na analýzu pokročilejších systémů VGS, data pro tuto práci pocházejí z jediného zdroje.

Obecně tedy platí výše uvedené tvrzení o rozdělení sfér vlivu jednotlivých komponentů na frekvence, díky absenci substrátu by měřená stěna neměla být dobrým izolantem v nižších frekvencích. Nicméně dle výsledků měření je v oblasti 800 Hz absorpce až 9,9 decibelu, viz obrázek 10. To ale samotný autor přisuzuje kompozici měření, zdroj ruchu byl umístěn na zemi, stejně tak jako poměrně masivní květináč, který pravděpodobně pohltil tyto nižší frekvence. V reálném provedení by tak dobrých výsledků s velkou pravděpodobností nedosáhl. Velmi nízké frekvence pod 125 Hz se taktéž díky typu měření nepřenášely pouze skrz konstrukci, ale i okolo konstrukce, výsledky na reálné konstrukci by naopak byly lepší. Ve vyšších frekvencích (okolo 2,5 kHz) zelená fasáda utlumuje hluk až o 3,8 dB.



Obrázek 10 - porovnání zelené fasády číslo 2 a kontrolní betonové stěny (dB)

Zdroj: [17 str. 415]



Obrázek 9 - rozdíl neprůzvučností zelené fasády a kontrolní stěny (dB)

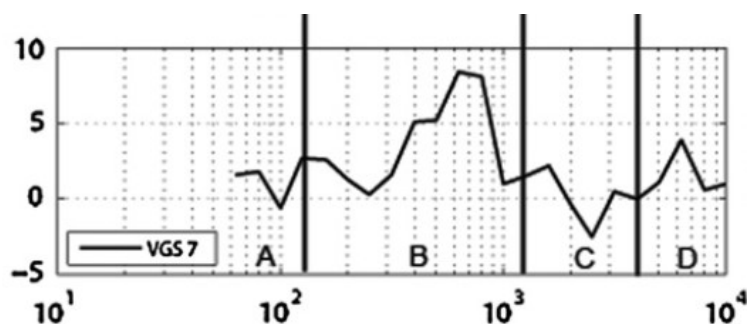
Zdroj: [17 str. 416]

Je tedy třeba dalších měření, neboť Wongova práce se soustředila na pokrytí co nejvíce typů VGS, kvantita měřených stěn tedy snížila kvalitu provedení jednotlivých měření. Zdá se ale, že vliv klasických zelených fasád na neprůzvučnost je, ač v některých frekvencích slyšitelný i lidským uchem, v celkovém výsledku marginální, viz obrázek 9.

5.2.1.2 Intenzivní živé stěny

Zde jsou už měření zajímavější, hlavně díky většímu počtu měření si lze udělat lepší představu o benefitech těchto konstrukcí na poli neprůzvučnosti. Nicméně i zde je třeba pracovat s různými výsledky prací.

Dle výsledků Wonga & kol [17] (systém 7 nejvíce odpovídá typické modulové živé stěně) se dá jasně pozorovat vliv substrátu na stěně, protože v druhém pásmu 100-1000 Hz dochází k výraznému snížení akustického výkonu po prostupu souvrstvím, a to až 8,4 dB na 630 Hz, viz obrázek 11. Autoři zároveň uznávají, že vzhledem k jen částečnému zakrytí plochy substrátem s vegetací (konstrukcí prochází ocelové příčky, které podporují textilní kapsy se substrátem), mohly by být výsledky ještě lepší. Taktéž přiznávají, že vegetace rostoucí ze stěny měla velmi tenké listy, hodnota neprůzvučnosti ve vyšších frekvencích by mohla být lepší než naměřených 3,9 dB. [17 str. 416]



Obrázek 11 - rozdíl neprůzvučností živé stěny a kontrolní stěny (dB)

Zdroj: [17 str. 416]

Práce Azkorra & kol. [18] byla výrazně přesnější, a to už jen díky jiné metodě měření neprůzvučnosti. Na rozdíl od Wonga, který prováděl měření v exteriéru, Azkorra využil dvou spojených komor, mezi které dal měřenou živou stěnu. Změna akustického výkonu před a po prostupu touto překážkou byla tedy přesnější. Byla taktéž použita modulární živá stěna. Výsledky byly výrazně vyšší než u výzkumu ze Singapuru, index vážené neprůzvučnosti R_w je roven 15 dB. [18 str. 52] Podstatná změna je zaznamenána na všech frekvencích, viz tabulka 1. Navíc došlo při následném vyplnění netěsností způsobených jednotlivými prvky modulární stěny k dalšímu zlepšení R_w na 18 dB s korekcí -1 dB pro růžový šum.

f (kHz)	R (dB)
0.100	12.9
0.125	13.3
0.160	9.7
0.200	12.9
0.250	14.6
0.315	15.4
0.400	15.8
0.500	16.4
0.630	17.1
0.800	16.3
1.000	14.7
1.250	12.5
1.600	13.0
2.000	13.5
2.500	15.1
3.150	15.1
4.000	14.8
5.000	17.1

Tabulka 1
neprůzvučnost živé stěny na
třetinooktávovém frekvenčním pásmu

Zdroj: [18 str. 52]

Zároveň ale autoři jasně uvedli, že hodnoty typických stavebních materiálů mají stavební neprůzvučnost výrazně vyšší; například 100 mm tlustá příčková zeď má obvykle R_w okolo 44 dB. Nicméně se dá říct, že při aplikaci živé stěny na betonovou konstrukci došlo k progresivnímu zkvalitnění akustické pohody v místnosti s přijímačem.

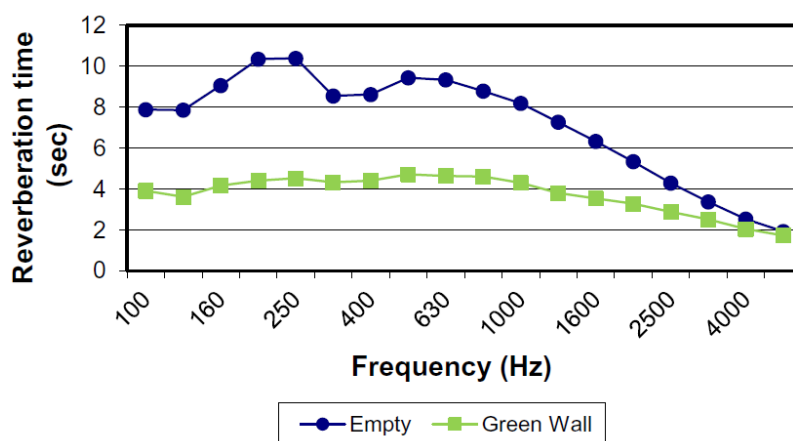
Taktéž je ale třeba uvést hodnoty třetí práce od R. Thomazelli & kol. [19], která měřila z exteriéru do interiéru, jedná se tedy pravděpodobně o test nejbližší reálnému stavu, kdy byl celkový rozdíl naměřených hodnot před a po instalaci živé stěny na betonovou stěnu pouhé 2 dB. [19 str. 9] V pracích

je tedy velký rozdíl, ačkoliv by se daly některé výsledky označit za relativně působivé, je třeba přistupovat i k zeleným stěnám jako zvukovému izolantu interiéru s určitým skepticismem.

5.2.2 Zvuková pohltivost

Všechny práce využily pro změření doby dozvuku živou stěnu, bohužel se nepodařilo dohledat test zvukové pohltivosti jednoduché zelené fasády. Kladné je ale to, že se všechny práce ve výsledcích shodují.

Živé stěny mají i v poměru k ostatním běžným materiálům velmi vysokou pohltivost. Doba dozvuku je u všech tří prací výrazně nižší, přestože ve vyšších frekvencích nad 3000 Hz začíná být rozdíl méně výrazný. Například u Azkorry vyšla doba dozvuku při použití živé stěny o rozměru 10,08 m² v dozvučné místnosti o ploše 211 m² ve většině kmitočtů poloviční oproti místnosti prázdné, viz obr. 12.

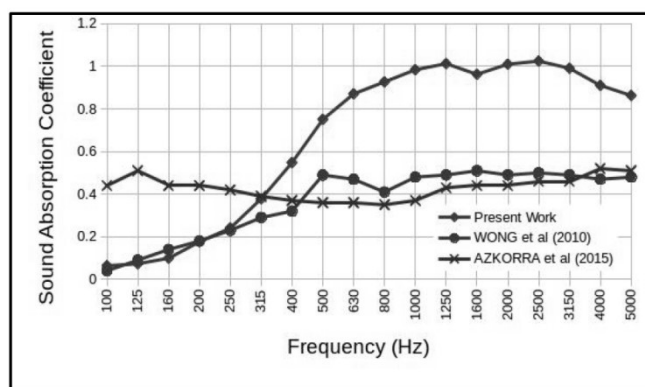


Obrázek 12 - porovnání času dozvuku dle Azkorry

Zdroj: [18 str. 54]

5 Vlastnosti zelených fasád

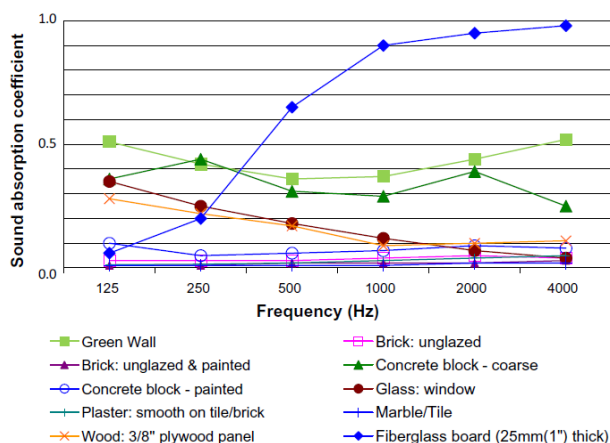
Jedna z prací dokonce dává do porovnání zbylé dvě zde uvedené práce s výsledky svými. Jsou zde výchyly oproti ostatním pracím v nižších frekvencích u práce Azkorry a ve vyšších frekvencích u práce Thomazelliho, nicméně jde o výchyly kladné. Z výsledného grafu je tedy jasně vidět velký potenciál těchto stěn při užití jak v interiéru pro snížení doby dozvuku pro různá fóra a haly, tak hlavně v exteriéru pro pohlcování hluku města, jakým je například autodoprava, viz obrázek 13.



Obrázek 13 - porovnání koeficientu zvukové absorpce jednotlivých výzkumů

Zdroj: [19 str. 9]

Na závěr je určitě zajímavé porovnat tyto vlastnosti s ostatními běžnými stavebními materiály. Koeficient dozvuku u těchto materiálů bývá povětšinou horší, například Azkorra & kol. využili dat z předchozích výzkumů a zelená stěna z nich vyšla jako jedna z nejvhodnějších konstrukcí pro potlačení doby dozvuku, viz obrázek 14.



Obrázek 14 - porovnání absorpce zvuku jednotlivých stavebních materiálů

Zdroj: [18 str. 55]

5.2.3 Vertikální lesy a jejich vliv na akustiku

Ačkoliv se běžně v intravilánu využívá stromů jako akustického izolantu (pás stromů o šířce 50 metrů sníží hladinu akustického výkonu o 8-9 dB [17 str. 412]), je hodnota jedné řady stromů zanedbatelná. Hodnoty by sice měly vycházet lépe než u jednoduchých zelených stěn, ale celkový vliv na akustickou izolaci je malý.

5.3 Ekologie

Jedním ze základních předpokladů vývoje systémů VGS je logicky jejich vliv na ekologii. Současná společnost si (pověětšinou) uvědomuje potřebu řešit vliv výstavby a obecně člověka na životní prostředí. Trend je tedy tyto vlivy alespoň snížit. V této části rešerše jsou tedy popsány hlavní ekologické benefity zelených vertikálních systémů na životní prostředí.

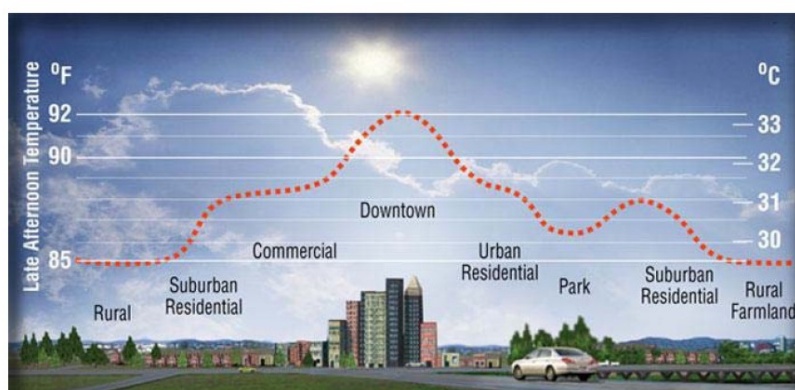
Pro potřeby rešerše je interpretována práce E. Elgizawy [12], která sumarizovala vliv zelených fasád na životní prostředí. Ačkoliv se zabývala výhradně zelenými fasádami, dají se její poznatky aplikovat i na živé stěny a vertikální lesy. Dokonce by se dalo uvažovat, že bude vliv těchto pokročilejších systémů na ekologii ještě větší než u tohoto základního způsobu ozelenění fasády. Také se ale musí vzít v potaz větší environmentální zátěž v průběhu realizace těchto komplikovanějších systémů, hlavně živých stěn. [12 str. 124]

Ekologická pozitiva aplikace VGS do městského prostoru by se dala rozdělit do pěti hlavních skupin, a to redukce městských tepelných ostrovů, práce se srážkovou vodou, zvýšení biodiversity, kvalita vzduchu a snížení hluku.

5.3.1 Redukce městských tepelných ostrovů

Fenomén městských tepelných ostrovů se dá poměrně snadno dokázat, intenzivní zástavba ploch způsobuje lokální zvýšení teploty oproti

přilehlým oblastem (např. venkovu), viz obrázek 15. Je třeba nezaměňovat tento efekt s globální změnou klimatu, ačkoliv je mezi těmito termíny určitá souvislost, není to jedno a totéž. Je dokázáno, že vysazování zeleně dokáže velmi efektivně zmírnit tento efekt zvýšené teploty, a díky minimální prostorové náročnosti se aplikace VGS zdá ideální volbou. Jak implikuje kapitola 5.1, zelené vertikální systémy díky zastínění, evaporaci a snížení odrazu světla potvrzeně snižují teplotu v městské zástavbě. [12 str. 125]



Obrázek 15 - profil městského tepelného ostrova

Zdroj: [12 str. 125]

Problematika městského tepelného ostrova se řeší celosvětově, důkazem je i evropský program UHI (urban heat island), do kterého se zapojila i Praha. Soustřeďuje se na kvalifikaci, kvantifikaci a na samotné potlačení faktorů, díky kterým vzniká. Na tomto výzkumu spolupracuje i ČZU v Praze, která vyvíjí rostlinou skladbu vertikálních zahrad, a Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy, která vytváří modely a i samotné pokusy se zelení v pražských Holešovicích. [20]

5.3.2 Využití srážkové vody

Většina vyspělých států si stále palčivěji uvědomuje potřebu lépe pracovat se srážkovou vodou, která je povětšinou bezvýsledně svedena bez jakéhokoliv užítku do stokových sítí. Například i v České republice se začaly objevovat snahy o lepší hospodaření s touto vodou, podporovanou jak vládou, tak Evropskou unií. Nicméně ve velkých městech je variant, jak tuto

vodu udržet v krajině, omezené množství. Opět se tedy nabízejí vertikální zelené fasády, které se mohou stát přirozeným zadržovatelem a zpětným distributorem této vody zpět do ovzduší. [12 str. 125]

5.3.3 Zvýšení biodiversity a životního prostoru

Celosvětový úbytek biodiversity druhů jak flory, tak fauny v důsledku vzniku velkých lidských společenství se taktéž stál problémem řešeným v jak vědeckých kruzích, tak i laickou veřejností. Zelené fasády by mohly navrátit do městského prostoru rostlinné druhy, které poté můžou poskytnout vodu, potravu, přirozenou ochranu a místo pro vyvedení potomků pro druhy živočišné, jako například různé druhy ptáků a hmyzu. [12 str. 124]

5.3.4 Kvalita vzduchu

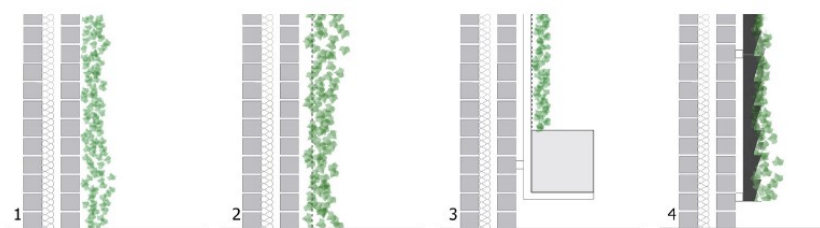
Znečištění vzduchu je velkým problémem novodobých megapolí. Znečištění atmosféry mikro nebo makročásticemi má prokazatelně negativní vliv na zdraví lidí. Vegetace funguje jako výjimečně dobrý filtr ovzduší a dokáže na povrchů listů zachytávat a v některých případech i eliminovat škodliviny. Studie dokonce uvádí, že jedna čtvereční stopa (asi 0,1 m²) ozeleněné stěny dokáže filtrovat vzduch pro kancelář o 100 čtverečních stopách (asi 10 m²). [12 str. 126]

5.3.5 Snížení hluku

Jak je analyzováno v kapitole 5.2, vertikální zelené systémy mají pozitivní vliv na snížení hluku jak v interiéru, tak v exteriéru budovy. I když je vliv na interiér spíše menší, snížení odrazivosti ploch by mělo výrazně snížit hluk v ulicích měst, ať už od dopravy nebo jiných zdrojů městského hluku.

5.4 Ekonomická udržitelnost

Tato pro investora hlavní vlastnost VGS je z pochopitelných důvodů obtížně klasifikovatelná. Tato rešerše se opírá o velmi precizní ekonomickou analýzu dvojice K. Perini a P. Rosascoa z Ženevské univerzity [13], která se pokusila navrhnout a později spočítat cenu a návratnost jednotlivých typů VGS. Čtyřpatrovou budovu umístili do Ženevy, jižní stěna byla definovaná jako zelená. Vytvořili 6 prototypů VGS, jednu tradiční zelenou fasádu, 2 předsazené zelené fasády, 2 předsazené zelené fasády se substrátem umístěným nad hranou země a jednu živou stěnu, viz obrázek 16.



Obrázek 16 - typy analyzovaných VGS

Zdroj: [13 str. 112]

Dále určili životnost všech fasád na 50 let, společně s dalšími předpoklady, jakými je například nutnost výměn částí fasád, doba nutná k vzrůstu vegetace a zakrytí fasády (tradiční zelená fasáda – 15 let) a tak dále. [13 str. 114] Hlavní faktory ovlivňující udržitelnost rozdělili do dvou typů: osobní a společenské náklady a benefity.

1) **Osobní náklady a benefity** – zde se nachází všechny náklady projekce a realizace stavby, náklady na údržbu a taktéž na likvidaci. Osobními benefity je zvýšení ceny objektu, který se projeví například v ceně nájmu, energetické úspory a ochrana vnitřní fasády před erozí způsobenou UV, kyselými dešti atd. Posledním benefitem je snížení daně, jelikož některé státy podporují výstavbu zelených projektů. Ve Švýcarsku, kde se studie provedla, ale toto zvýhodnění nemá, je tedy zmíněna, ale zanedbána. [13 stránky 114-118]

2) **Společenské náklady a benefity** – Kvantifikovat tyto veličiny je obecně velmi obtížné. Zmíněné přínosy jsou zlepšení kvality vzduchu, snížení hladiny CO₂, vytvoření prostoru vhodného pro rozvoj fauny, estetičnost a zmírnění městského tepelného ostrova. Bohužel se podařilo kvantifikovat pouze zlepšení kvality vzduchu a snížení hladiny CO₂ (a to pouze přesnou zákonem danou hodnotu odstranění znečištění škodliviny z ovzduší - 20 €/tunu CO₂). Hodnoty společenského přínosu jsou tedy z hlediska peněžního velmi malé. Společenské náklady nejsou v práci uvedeny. [13 stránky 118-119]

Type of green facade	Net present value (NPV) (€)			Internal rate of return (IRR) (%)			Pay back period (PBP) (number of years)		
	Worst	Middle	Best	Worst	Middle	Best	Worst	Middle	Best
1	9500	21,140	30,139	7.7	9.4	10.7	24	19	16
2A	-12,749	2061	14,713	2.9	5.2	5.8	33	33	16
2B	-28,915	-9800	3349	0.0	4.3	4.7	42	35	16
3A	-36,263	-18,748	289	0.0	0.0	4.5	>50	35	16
3B	-69,311	-49,497	-22,872	0.0	0.0	0.0	>50	>50	16
4	-116,488	-92,846	-61,027	0.0	0.0	0.0	>50	>50	>50

Tabulka 2 - indikátory ekonomické udržitelnosti

1 – tradiční zelená fasáda, 2A – předsazená zelená fasáda s HDPE sítí, 2B – předsazená zelená fasáda s ocelovou konstrukcí, 3A – předsazená zelená fasáda s HDPE květináči a HDPE sítí, 3B – předsazená zelená fasáda s ocelovými květináči a sítí, 4 – živá stěna

Zdroj: [13 str. 119]

Z výsledků je jasně vidět, že hlavní roli v otázce udržitelnosti hrají hlavně instalace a údržba VGS. Taktéž není řešena ekonomická udržitelnost vertikálních lesů, dalo by se ale odůvodnit, že bude instalační cena nižší než u živých stěn, náklady na údržbu budou vyšší, taktéž společenský benefit bude vyšší. Samotné výsledky jednotlivých typů fasád se tedy výrazně liší, jsou proto rozděleny do 3 podkapitol, viz níže.

Autoři ale zdůraznili možnost snížení daní při zelených projektech, které by mohly výrazně změnit pohled na ekonomickou udržitelnost VGS. Jako příklad uvedli italský zákon 83/2012, který odpouští z daně cca 50-55 %. Zároveň jsou tyto zákony v souladu s Kyotským protokolem, tedy mezinárodní smlouvou OSN zasazující se o snížení množství skleníkových

plynů. Dá se tedy očekávat, že další země budou následovat příkladu Itálie a poskytnou úlevy v případě projektování VGS.

5.4.1 Tradiční zelené fasády

Tyto systémy jsou z hlediska udržitelnosti nejméně náročné. Jejich instalační cena je okolo 30-45 €/m², přičemž roční náklady na údržbu se blíží 3 €/m². Z výsledné tabulky 2 se dá jasně vyčíst, že i při nejhorším možném případě je návratnost 24 let. [13 stránky 115,120-121]

5.4.2 Předsazené zelené fasády

Zde jsou výsledky podobné jako u fasád tradičních, nicméně návratnost je delší. To je důsledkem dražší pořizovací ceny fasády (40-75 €/m²), stejnou cenou údržby a obdobnou kvantifikací společenských benefitů. Zároveň je zde počítáno s šestinásobně vyššími likvidačními náklady, tedy okolo 191 €/m². Návratnost těchto systémů je 16-33 let u síťovaných HDPE konstrukcí a 16-42 let u konstrukcí ocelových [13 stránky 115, 120-121]. Typ předsazených zelených fasád s květináči je zde taktéž hodnocen, jejich návratnost je nižší a ocelový typ se dokonce jeví jako ekonomicky nevýhodný.

5.4.3 Živé stěny

Živé stěny vycházejí z hlediska ekonomické udržitelnosti jako nevýhodné. Velká pořizovací hodnota (přes 400 €/m²) a náklady na údržbu (25 €/m²) jasně převážily nad osobními i společenskými benefity. [13 stránky 115,120-121]

5.5 Ostatní vlastnosti

Jak je naznačeno v kapitole 5.4, mezi další zajímavé vlastnosti patří zvýšení hodnoty pozemku a budovy. Některé prameny [16 str. 16] udávají zvýšení až o 20 %. V práci, ze které vychází kapitola o udržitelnosti, pracovali se zvýšením 8-20 % [13 str. 116]. Měla by se taktéž vzít v potaz snížená daňová sazba v některých vyspělých státech, které podporují výstavby tohoto typu.

Další výhodou je i ochrana vnitřní fasády, díky vegetaci je fasáda ochráněna před erozními vlivy UV a kyselých dešťů. Taktéž se jedná o velmi účinnou ochranu fasády proti vandalismu. Zelené fasády by měly odrazovat snahy jedinců o poškození objektu. [21]

Některé výhody VGS ale nejsou tak snadno kvantifikovatelné. Je potvrzeno, že vegetace ve městě má pozitivní vliv na lidskou psychiku. Taktéž se uvažuje o takzvaném psycho-akustickém efektu vegetace, kdy se pracuje s různým příjmem stejného zvuku v různém prostředí. Například v prostředí obklopeného vegetací lidský mozek přijímá informace o hluku se stejnou intenzitou jako v městském prostoru tlumeněji.

6 Případová studie – Bosco Verticale



Obrázek 17 - Bosco Verticale

Zdroj: [30]

Bosco Verticale, první vertikální les svého druhu, je asi nejambicióznějším realizovaným projektem pracujícím s vertikálně uloženou vegetací. V roce 2015 získala cenu nejlepší výškové budovy světa, kdy porazila například 541 metru vysoké One World Trade Center v New Yorku. [22] Zároveň položila základy úplně nové formě propojení města a přírody, návrhy vertikálních lesů se tedy začínají objevovat po celém světě. Z toho důvodu bude v přiměřeném měřítku rozebrána i v této rešerši.

Jako zdroj je vybrána práce E. Giacomellové & M. Valagusa [16], kteří s ní vyhráli prestižní cenu CTBUH Award (The Council on Tall Buildings and Urban Habitat). Práce rok dokumentovala řešení zelené fasády na těchto dvou unikátních výškových budovách, přesněji od června 2013 do června 2014, tedy ještě v době výstavby.

6.1 Základní informace

Architekt:

Stefano Boeri Architetti (Stefano Boeri, Gianandrea Barreca, Giovanni La Varra) [23]

Investor: Hines Italia [24]

Hlavní zhotovitel: ZH General Construction [24]

Lokalita: Porto Nuova, Milán, Itálie

Doba výstavby: 2008-2014 [24]

Otevření: 17. říjen 2014 [23]

Počet budov: 2 (budova D a E, viz obrázek 18)

Rozměr budov

- Budova D: výška 85 m, půdorys 32x26 m
 - Budova E: výška 117 m, půdorys 41x26 m
- [16 stránky 22-23]

Počet pater

- Budova D: 18
 - Budova E: 27 + 3 podzemní
- [16 str. 19]

Celková užitná plocha: 40 000 m² [24]

Užitná Plocha:

- Budova D: 500 m²
 - Budova E: 660 m²
- [16 str. 19]

Funkce budovy: Rezidenční bydlení

Počet bytových jednotek na patro:

- Budova D: 2-3 na patro
 - Budova E: 2-4 na patro
- [16 str. 19]

Cena za m²: 3 000 - 12 000 € [23]

Konstrukční systém:

Monolitický železobetonový skelet se ztužujícím jádrem

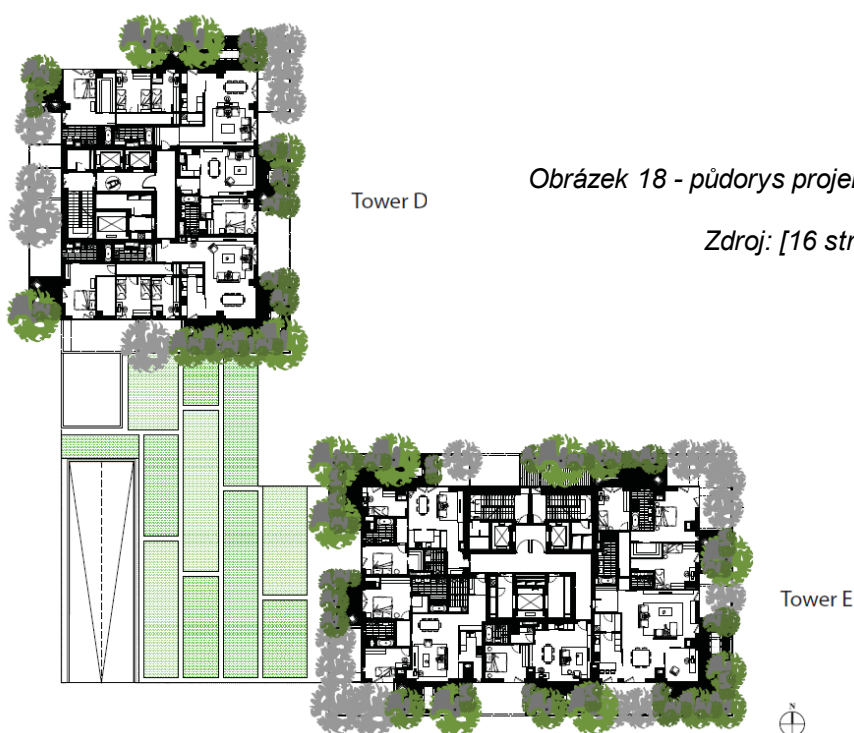
Počet vysazených rostlin: > 20 000 [25]

Počet vysazených druhů rostlin: > 150 [16 str. 20]

Počet vysazených stromů: 800 [25]

Celková plocha fasády: 25 538 m² [16 str. 23]

Celkové ozelenění fasády: 40 % (10 142 m²) [16 str. 23]



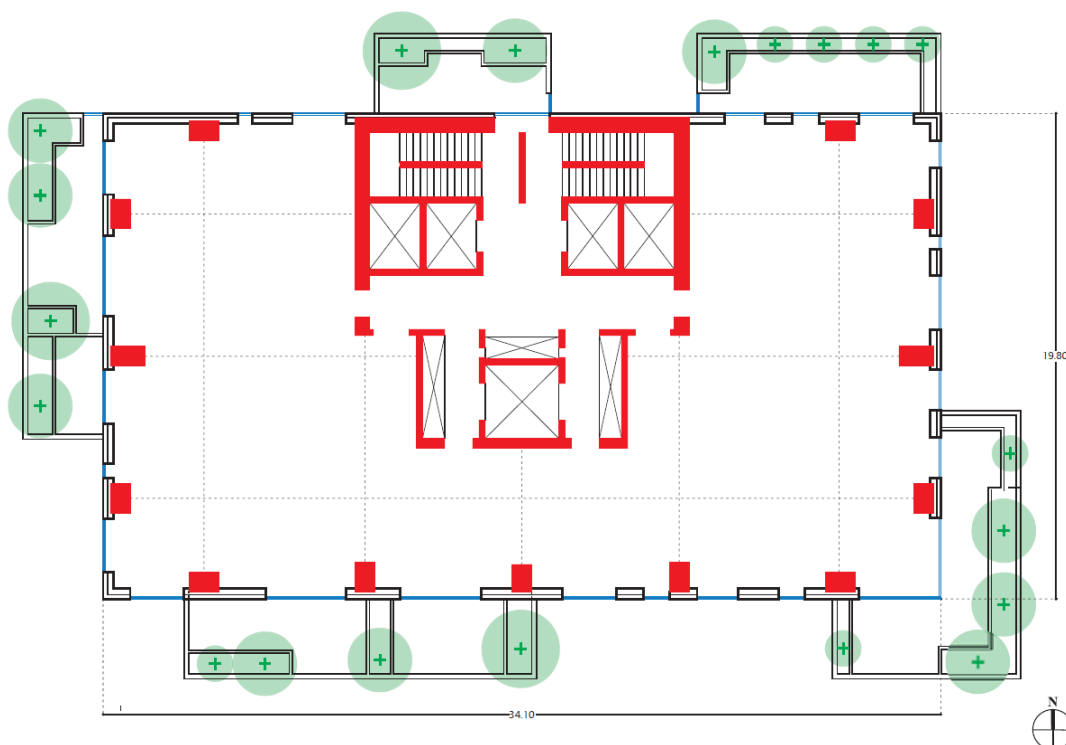
Obrázek 18 - půdorys projektu Bosco Verticale

Zdroj: [16 str. 19]

6.2 Konstrukční řešení

Analyzovaná Budova E je z hlediska statického řešena jako železobetonový monolitický skelet se ztužujícím jádrem u severní fasády. Rozměry typického podlaží bez balkonů jsou 34,1 x 19,8 metrů. Po obvodu fasády (ne v rozích budovy) se nachází 13 sloupů o rozměrech přibližně 80x120 cm. Další 2 sloupy jsou u ztužujícího servisního jádra.

ŽB jádro má plochu cca. 160 m² a zabírá 24 % podlaží. Bohužel se nepodařilo dohledat přesnou tloušťku stěn, z plánu (viz obrázek 19), který do práce [16] dodala architektonická společnost Boeri Architetti, by se ale dalo uvažovat o tloušťce přibližně 80 mm. V jádru se nacházejí tři výtahové šachty a pět šachet pro systémy TZB.



Obrázek 19 - půdorys 6. patra budovy E

Zdroj: [16 str. 24]

Desky jsou tlusté 285 mm a jsou z dodatečně předpínaného železobetonu. Jak je vidět z řezu a fotografií od firmy Peri [26], která spolupracovala s hlavním developerem (ZH General Construction) na zhotovení betonové nosné konstrukce, hranu budovy obíhá masivní průvlak (650x850 mm), který spojuje jednotlivé sloupy a dodává potřebnou tuhost, viz obrázek 20.



Obrázek 20 - obvodový průvlak napojený na sloupy

Zdroj: [26]

Obvodové nenosné konstrukce jsou z lehčených cihelných bloků, které jsou, stejně jako stěny z ŽB jádra, obaleny zvenku termoizolační vrstvou z minerální vlny. Mezi tmavě šedým obkladem, který je z (pravděpodobně umělého) kamene, je provětrávaná mezera. [16 str. 28]

Okna i dveře jsou ve stejném barevném provedení jako obklad. Jak dveře, tak okna jsou roztaženy od podlahy po strop, zvyšuje se tak propojení fasády a interiéru budovy, viz obrázek 22.

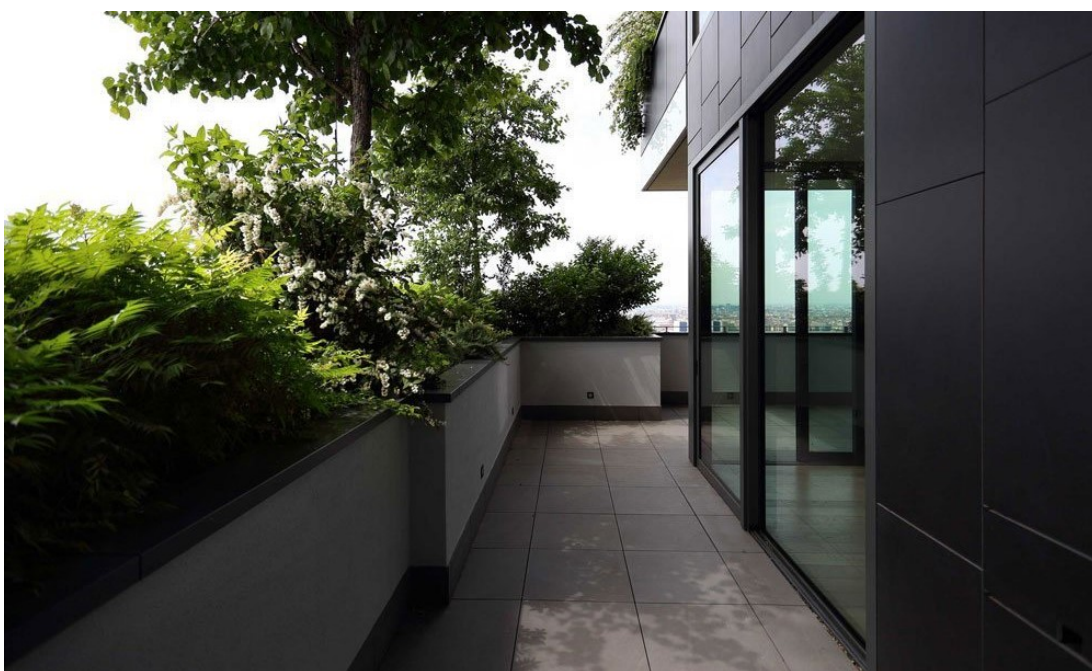
6 Případová studie – Bosco Verticale

Samotné balkóny jsou z železobetonu stejné tloušťky jako vnitřní deska. Jejich přesah za fasádu je 3,35 m. Rozmístění balkonů se opakuje každých 6 pater, součástí monolitické konstrukce je i vertikální stěna na perimetru balkónu. Tepelná izolace je vedena okolo celé desky balkónu. Nad touto vrstvou je vrstva hydroizolace a vrstva lehčeného betonu (pravděpodobně ve spádu směrem ke květináčům). Finální obklad je, stejně jako u fasády, z kamenných desek, ale světlejší barvy. Pohled balkónu je z dvojité vrstvy sádrokartonu. [16 str. 28]



Obrázek 21 - řez fasádou s balkónem

Zdroj: [16 str. 25]



Obrázek 22 - fasáda a vykonzolovaný balkón

Zdroj: [25]

6.3 Vývoj statického modelu zelené fasády

Výpočet musel pracovat s několika druhy zatížení. Mezi ty základní patří samozřejmě tíha konstrukce a hlavně květináčů naplněných zeminou a samotnou vegetací. Stromy jsou rozmístěny po vzdálenostech 3 metrů, zbytek květináče je doplněn keři a menší vegetací.

Největším problémem, který statici řešili při výrobě výpočtového modelu fasády, byl vliv stromů ve vyšších patrech přenášejících nárazy větru do konstrukce. Tento vliv byl dokonce vyšší než vliv samotné tíhy fasády. Jak sdělil Lucca Buzzoni, statik pracující na Bosco Verticale, definovat dynamickou zátěž bylo základní podmínkou celého statického návrhu. Proto se rozhodli získat hodnoty jak na testu na zmenšeném modelu fasády, tak i na modelu o skutečné velikosti.

Jakmile byla určena druhová selekce stromů, zaměřená na definování maximálního rozměru koruny, bylo důležité určit gravitační střed stromů a permeabilitu vzduchu okolo vegetace. Byl proto vytvořen model 1:100, který byl testován ve větrném tunelu v Politecnico de Milano. Hlavním cílem tohoto pokusu bylo definovat proudění vzduchu okolo fasády.

Druhý test byl uskutečněn na Florida International University, kde sídlí International Hurricane Center. Toto zařízení vlastní soustavu 12 ventilátorů, nazývaných také jako "Wall of Wind", nejsilnější zařízení svého druhu, které dokáže simulovat povětrnostní podmínky při hurikánu pátého stupně. Zde byly testovány varianty uchycení stromů k nosné konstrukci, což na zmenšeném modelu nebylo možné.

Výsledkem těchto dvou testů, provedených v dubnu 2012, byla poměrně přesná představa o aerodynamickém koeficientu koruny stromů různé velikosti, potvrzující návrhové hodnoty zatížení a hodnoty zatížení, které musí úchytné systémy přenášet do konstrukce. Výsledné návrhové parametry jsou dimenzovány pro rychlost větru 67 m/s, která je v oblasti Milána považována za extrémní. [16 str. 24] [27]

6.4 Řešení zelené fasády

6.4.1 Konstrukce fasády

Jak je vidět na řezu fasádou (viz obrázek 21), květináče nejsou součástí primární konstrukce budovy. Jsou to prefabrikované ŽB vany různých rozměrů. Horní hrana každého květináče je 1,1 m nad zemí. Tloušťka těchto van je 12 cm. Hloubka a šířka je rozdílná podle jednotlivých typů vegetace do nich osazených. Pro velké stromy je využita celá možná hloubka květináče, tedy 1,1 metru. Šířka vany je taktéž 1,1 metru. Květináče na menší rostliny (keře atd.) jsou alespoň 0,5 metru hluboké a široké. Zajímavé je, že jsou tyto různě velké typy květináčů po délce propojené, aby byla voda lépe distribuována po perimetru balkónu, viz obrázek 23. [16 str. 28]

Samotné květináče jsou zevnitř pokryty několika dalšími vrstvami. Na betonu je vrstva asfaltové hydroizolace s úpravou, která brání prorůstání skrz tuto izolaci. Po této vrstvě následuje souvrství složené ze dvou filtrů z netkaných textilií, mezi kterými je 2 cm tlustá vrstva vláken z polyamidu, která brání stlačení a odděluje konstrukci od substrátu. Tento systém byl vyhodnocen jako efektivnější varianta klasických odvodňovacích násypů, už kvůli nižší váze a tloušťce. Souvrství je vytažené až nad hranu substrátu, takže zajišťuje cirkulaci vzduchu na styku konstrukce a zeminy. Poslední vrstvou je svařovaná ocelová mříž na dně květináče, na který se naváže kořenový systém stromů. [16 stránky 29-30]



Obrázek 23 - přechod mezi jednotlivými květináči

Zdroj: [16 str. 28]

Dalším konstrukčním systémem na fasádě je upevnění stromů na konstrukci květináčů. Byly vyprojektovány 3 způsoby uchycení: dočasné, základní a zesílené (*temporary, basic, redundant bind*).

Dočasný systém má pomoci stromu uchytit se na ocelovou mříž na dně vany. Pásky z textilie jsou podvlečeny pod mříží a obepínají zvrchu kořenový systém stromu. Tah v těchto pásech by měl postupně vymizet, jde tedy opravdu jen o dočasnou metodu důležitou hlavně pro prvních pár let po instalaci. [16 stránky 25-26]

Základní uchycení je složené z ocelového lana připevněného na jednom konci k vnitřní straně vnější stěny květináče. Druhý konec je uchycen v desce balkónu, který se nachází v patře nad uchycenou rostlinou. Na tuto konstrukci je napojen elastický pás, který obepíná kmen stromu a zároveň mu nebrání v přirozeném průhybu v případě větru. [16 str. 26]

Zesílené uchycení bylo aplikováno pro stromy ve vyšších patrech budovy a v rozích budov. Zde byl dle modelů popisovaných v předchozí kapitole základní záchytný systém nedostatečný, jedná se o totiž místa s vyšším zatížením od větru. Konstrukce se skládá z ocelové klece, která obepíná celý kořenový systém a brání vyvrácení stromu, viz obrázek 24. [16 stránky 26-27]



Obrázek 24 - zesílené uchycení kořenového systému

Zdroj: [16 str. 27]

6.4.2 Vegetace a údržba fasády

Jak je zmíněno v první podkapitole, na Bosco Verticale je vysazeno přes 20 000 kusů rostlin 90 rozdílných druhů. Jedná se přesněji o 800 stromů a přibližně 4 500 keřů a 15 000 bylin. Celková rozloha odpovídá 20 000 m² klasického lesa. [25]

Nejzajímavějším elementem této fasády je vysazení předpěstěných stromů. Celkem jsou stromy rozděleny do 3 velikostních skupin, a to podle výšky. Nejmenší stromy by neměly přesáhnout výšku 3 metry, střední výška je 6 metrů, a ty největší by se měly blížit 9 metrům výšky. [25] Platí, že do horních pater byly umístěny menší stromy, a to z důvodu horších povětrnostních podmínek. Všechny stromy byly v době výsadby do fasády alespoň 15 let staré a bylo zde velmi dbáno na dobrý stav rostlin. Zároveň byly vybírány ty kusy, které měly ideální tvar horní i dolní části stromu. Hlavně správná kultivace kořenového systému byla klíčová. Maximální průměr bálu mohl být 90 cm, pro střední a menší stromy pouhých 70 cm.

Druhově byly vybírány stromy, které dobře snášejí větrné podmínky, nemají velké plody (na fasádě je několik olivovníků a třešní), jsou odolné vůči parazitům a dobře snášejí prořezávání. Žádný z vysazených stromů by neměl vyvolávat alergickou reakci. Bylo taktéž třeba vzít v potaz osvětlení jednotlivých fasád. Na jižní fasádě jsou vysazeny stromy dobře snášející expozici slunečnímu záření, naopak na straně severní jsou stromy schopné růst i v příšeří a obecně chladnějších podmínkách, které fasáda vytváří. [16 stránky 30-32]

Výsadba stromů na fasádu proběhla bez ztráty jediné rostliny. Výsadba probíhala od roku 2013 do roku 2014. V době analýzy fasády interpretovanou prací bylo osazeno vegetací 18 z 27 pater budovy E a 14 z 18 pater budovy D. Stromy byly vysazeny v roce 2012, V roce 2013 byly stromy analyzovány jako zdravé, v roce 2014 jeden strom vykazoval známky špatného zdraví. Celková životaschopnost vegetace se tedy blíží 100 %. To potvrzují i výsledky hlubšího zkoumání, které bylo v interpretované práci

provedeno [16 stránky 34-49]. Tato práce se ale nebude touto částí příliš zabývat, změřené hodnoty substrátu, chlorofylu v listech a dalších parametrů jsou v normě. Jediné, co se mírně vymyká z normálu, je hodnota některých těžkých kovů (zinku a mědi), hodnoty ale nejsou toxické. [16 stránky 45-46]

Co se týče údržby fasády, rostliny jsou logicky majetkem budovy, ne vlastníků bytů. Je zakázáno, aby na nich vlastníci prováděli bez předchozí konzultace jakékoliv úpravy. Odhadované nutné úpravy budou probíhat dvěma způsoby. 3-6krát ročně bude fasáda kontrolována a upravována přímo z balkónů, 1-2krát za rok bude třeba provést úpravy (prořezání koruny atd.) z vnějšku. Proto je na střeše každé budovy umístěno teleskopické rameno s možností rotace o 360°. Pro zásahy do vegetace fasády byly budovy rozděleny do tří výškových skupin. Cenové odhady průřezů korun stromů jsou odhadované na 3-5 násobek ceny průřezu stejného stromu na zemi. Prořezání jednoho stromu by mělo trvat 5krát déle. [16 stránky 62-64]



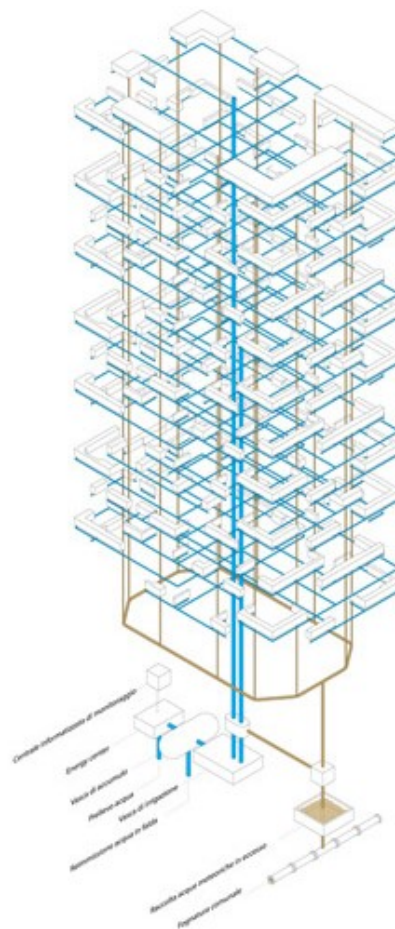
Obrázek 25 - teleskopické rameno pro údržbu fasády

Zdroj: [16 str. 62]

6.4.3 Závlahový systém fasády

Vytvoření inteligentního zavlažovacího systému byla jedna z hlavních podmínek realizace projektu Bosco Verticale. Zavlažovací systém se dá rozdělit na čtyř části: páteřní systém, kontrolní skupiny v květináčích, distribuční systém v květináčích a kontrolního systému.

Páteřní systém získává vodu ze země, přesněji z podzemní vody. V podzemí každé budovy se nachází zásobníky této vody, která je neustále doplňována. V případě problému je ale napojena do městské kanalizace, která by měla případný výpadek přísunu podzemní vody pokrýt. Voda je hnána po potřebné výšce soustavou pump, přičemž je objekt opět rozdělen podle výšky. Nižší budova D je rozdělena na 2 úseky a pracuje s dvěma skupinami pump, které tlakují vodu 2 různými hydraulickými tlaky. Budova E je vyšší, je tedy rozdělena na tři tlakové sektory a má 3 sady pump. Každá série pump má maximální průtok 6 m³/hod. Mezi nádrží a pumpami je fertilizační zařízení, které do vody přidává potřebné živiny. Přebytečná voda z fasády je svedena zpět do retenční nádrže. Protože jsou trubky vedeny hlavně po fasádě, je nutné je v případě mrazu vypustit. Tento proces je automatický a voda se vrací do trubek při překročení teploty 5-6° C.



Obrázek 26 - závlahový systém fasády

Zdroj: [22]

Kontrolní skupiny v květináči získávají vodu z páteřního systému a v závislosti na získaných dat pouštějí svými ventily do distribučního systému. Každá skupina se skládá z elektromagnetického ventilu, filtrační jednotky a tlakového regulátoru. Každá skupina je tedy nezávislým kontrolorem přísunu vody do květináče.

distribuční systém v květináčích je jednoduchá trubka, která je umístěna na horním povrchu substrátu a zásobuje květináč vodou. Tato trubka je co 20-35 cm penetrována, aby zajistila rovnoměrnou distribuci podzemní vody.

Kontrolní systém je řídicí program, spravuje všech 280 ventilů rozmístěných v květináčích po celé fasádě. Každý ventil může díky tomuto systému pracovat samostatně a upravit průtok vody do květináče. Tento systém je kontrolován průmyslovým počítačem, který řídí všechna zařízení a systémy v budově. V každém květináči se tedy z toho důvodů nachází dva senzory vlhkosti. Jeden kontroluje vlhkost poblíž distribučního systému a druhý naopak místo nejdlejší. Kontrolní systém by měl po kalibraci nejen plánovat pravidelnou závlahu zeminy, ale i detekovat chyby a odhalovat závady závlahového systému.

6.5 Následné výstavby vertikálních lesů

Architektonická firma okolo Stefana Boeriho si díky úspěchu jejich prvního vertikálního lesa očividně zajistila zakázky na obdobné stavby na několik let dopředu. Druhá obdobná stavba vzniká od roku 2017 ve Švýcarském Lausanne (117 m, viz obrázek 27), následovaná další v Nizozemském Utrechtu (91 m, viz obrázek 28), která by se měla začít stavět v roce 2019. Systém fasády by měl mít podobné řešení jako na Bosco Verticale. [28] [29]



Obrázek 27 - vertikální les v Lausanne

Zdroj: [28]



Obrázek 28 - vertikální les v Utrechtu

Zdroj: [27]

V dubnu 2017 společnost Stefano Boeri Architetti oznámila, že navrhne projekt dvou výškových budov pro čínský Nanjing. Tento vertikální les by měl být složen z 1100 stromů. Ale asi nejzajímavější je zpráva z června stejného roku, kdy společnost ohlásila, že začala pracovat na návrhu lesního města (*Forest City*) v Čínském Liuzhou. Měl by zde vzniknout komplex budov se zelenými intenzivními fasádami, které by měly poskytnout prostor pro 40 000 stromů, viz obrázek 29. Dle dostupných zdrojů by se mělo začít stavět v roce 2020. [28] [30]

Jsou to finančně velmi náročné projekty a obecně by se k takovýmto vizím mělo přistupovat s určitým nadhledem, ale kde jinde než v Číně, která je známa jak svou láskou k megalomanským projektům, tak ohromným znečištěním ovzduší, by takové to projekty měly mít šanci na úspěch.



Obrázek 29 - Forest City v čínském Liuzhou

7 NÁVRH VLASTNÍ KONSTRUKCE

Tato část práce se zabývá návrhem konstrukce (balkónu) podle kapitoly 6. Konstrukce má obdobné rozměry jako rohový balkón v jihovýchodní části budovy E v 6. patře Bosco Verticale, situována je na pražském Pankráci.

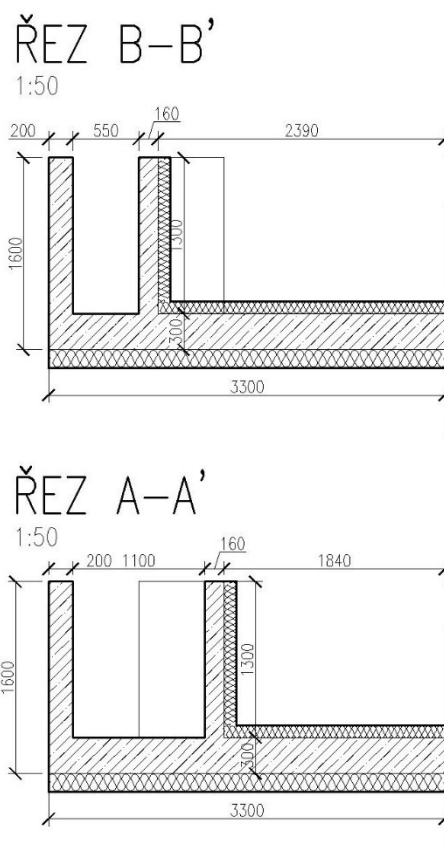
Navrhovaný balkón je na jihozápadním rohu budovy, je tedy vystaven maximálním poryvům větru ze západu. Konstrukce byla navrhována v programu SCIA Engineer v17.

7.1 Konstrukční řešení

Konstrukce byla navržena jako obdoba rohového balkónu na Bosco Verticale ve výšce 100 metrů nad povrchem. Monolitická ŽB konstrukce se skládá z vykonzolované desky tloušťky 300 mm, obvodových stěn 200 mm a vnitřních stěn 160 mm. Stěny jsou 1300 mm vysoké. Jsou zde navrženy 2 typy květináčů, jeden o šířce 1100 mm a druhý o šířce 550 mm (viz obrázek 30). Délka vykonzolování je 3300 mm.

Na fasádě jsou 3 stromy, které jsou ve vzdálenosti 2500 mm od sebe. Stromy jsou v širších květináčích a jsou ke konstrukci přichyceny ocelovou klecí. Pro tyto stromy bylo stanoveno zatížení větrem, zatížení z koruny je přenášeno do konstrukce jako moment na rameni 3,65 m. Vliv menších rostlin (keřů) je zanedbán.

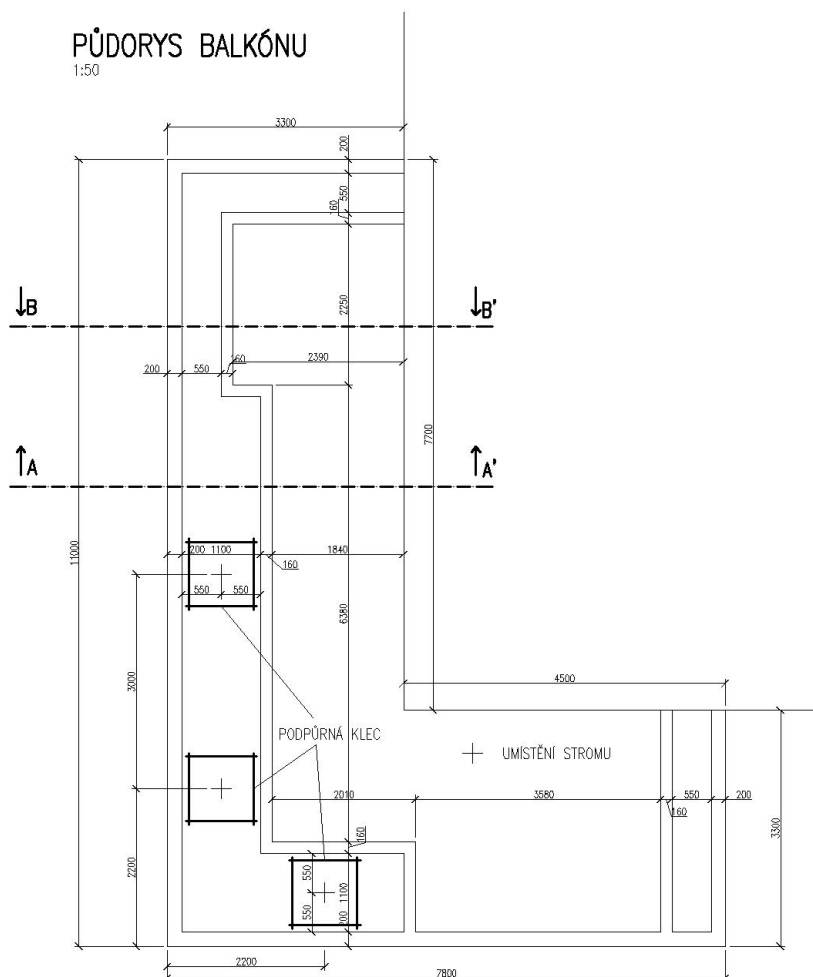
Balkón je izolován minerální vlnou, která obaluje konstrukci po celé šířce. Délka od počátku zateplení po hranu fasády je dostatečná, tepelný most by tedy neměl mít vliv na obálku konstrukce.



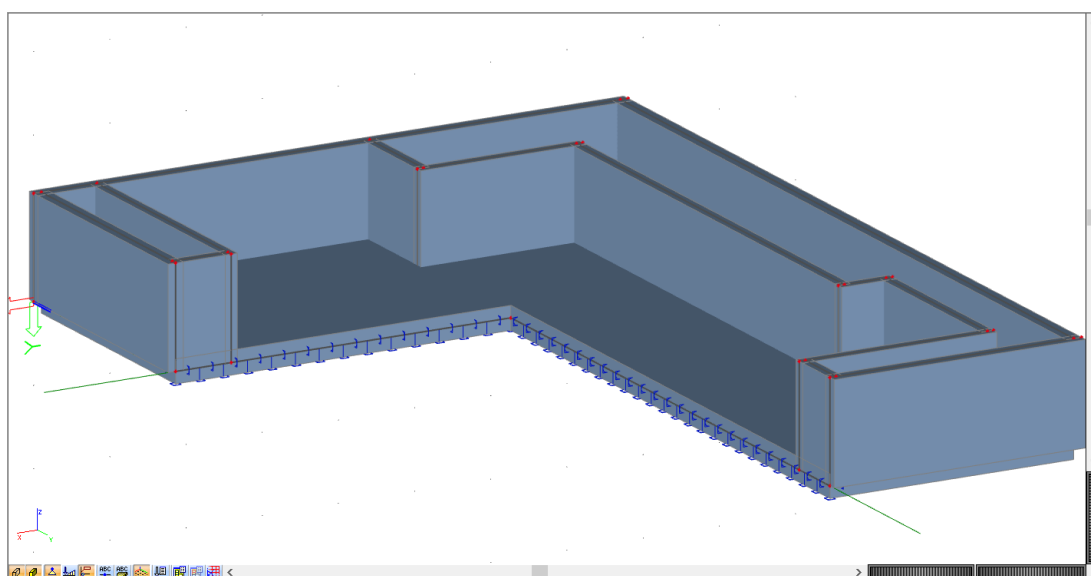
Obrázek 30 - řezy balkónem

7 NÁVRH VLASTNÍ KONSTRUKCE

Beton je navržený třídy C40/50 se základním krytím 30 mm, maximální profil kameniva 21 mm. Výztuž je ocelová, třídy B 500 B.



Obrázek 31 - půdorys balkónu



Obrázek 32 - vykonzolování konstrukce

7.2 Zatížení

OSTATNÍ STÁLÉ A UŽITNÉ ZATÍŽENÍ

NÁVRH DLE ČSN EN 1991-1-1, ČSN EN 1997-1

STÁLÉ ZATÍŽENÍ - KVĚTINÁČE

objemová hmotnost zeminy ρ_{zem}

hlinitá zemina střední plasticity (F5)

$$\gamma_{zem,sat} = 21 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi_{zem,ef} = 25^\circ$$

květináč 1 $d_1 = 1,3 \text{ m}$

a) dno

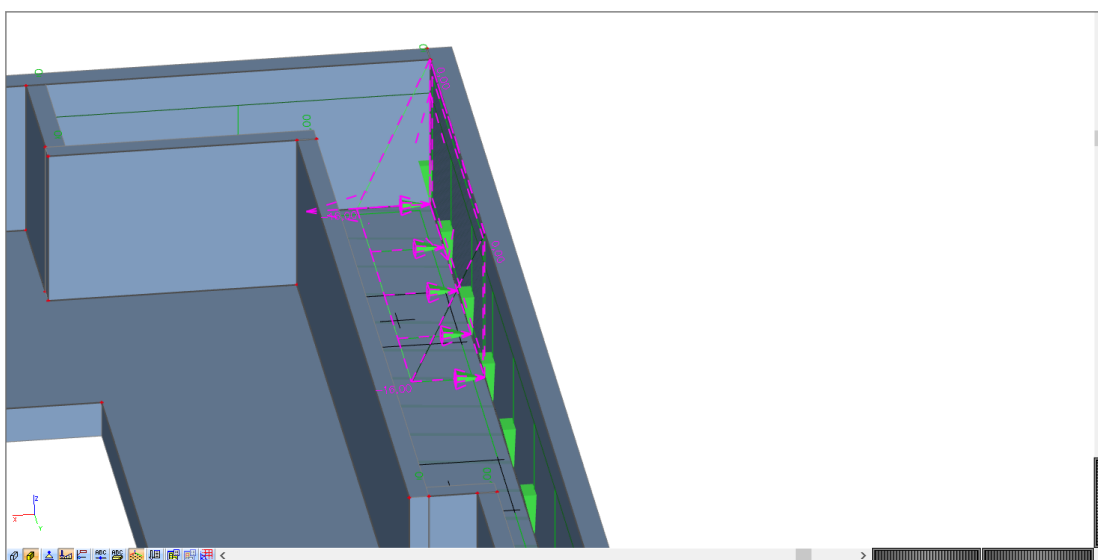
$$\sigma_{zem,dno,1,k} = \gamma_{zem,sat} * d_1 = 21 * 1,3 = 27,3 \text{ kN/m}^2$$

b) stěny

uvažován zemní tlak v klidu

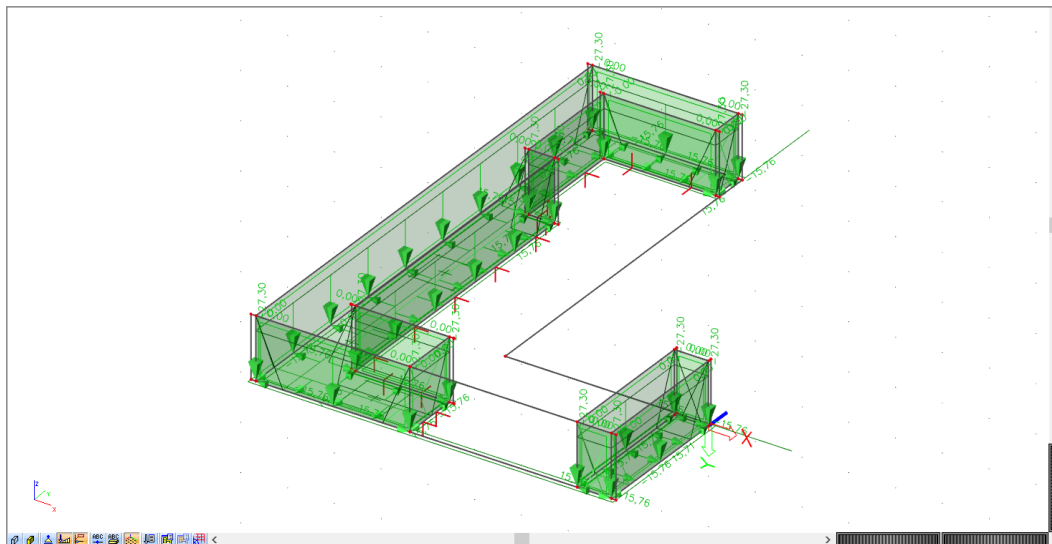
$$K_0 = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(25^\circ) = 0,6$$

$$\sigma_{zem,st,1,k} = \gamma_{zem,sat} * d_1 * K_0 = 21 * 1,3 * 0,6 = 15,7625 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 33 - zemní tlak na stěnu

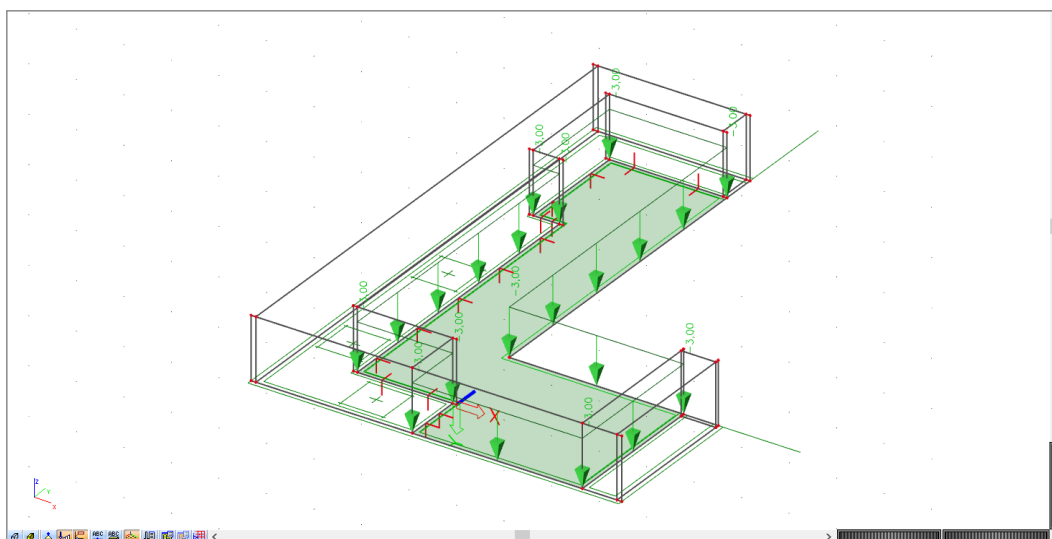
7 NÁVRH VLASTNÍ KONSTRUKCE



Obrázek 34 - výsledné zatížení od zeminy

ZATÍŽENÍ DESKY

	skladba podlahy balkónu	tloušťka [mm]	kN/m ³	kN/m ²
STÁLÉ	betonová mazanina vylehčená	100	16	1,6
	nášlapná vrstva - kamenné desky	20	25	0,5
			$\Sigma g_k =$	2,1
	UŽITNÉ	-	$\Sigma q_k =$	3



Obrázek 35 - užitné zatížení

ZATÍŽENÍ SNĚHEM

NÁVRH DLE ČSN EN 1991-1-3

1) charakteristická hodnota zatížení sněhem s_k

SNĚHOVÁ OBLAST: II $s_k = 1 \text{ kN/m}^2$

2) návrhové zatížení sněhem s

tvarový součinitel μ_i

obecně

$$0^\circ < \alpha < 30^\circ \quad \mu_1 = 0,8$$

návěje na hraně květináčů

$$u_2 = \gamma * h / s_k = 2 * 1,1 / 1 = 2,2$$

$$\text{omezení: } 0 \leq u_2 \leq 2 \quad \mu_2 = 2$$

vzdálenost od hrany k počátku návěje l_s

$$l_s = 2 * h = 2 * 1,1 = 2,2 \text{ m}$$

součinitel expozice C_e

$$C_e = 1$$

tepelný součinitel C_t

$$C_t = 1$$

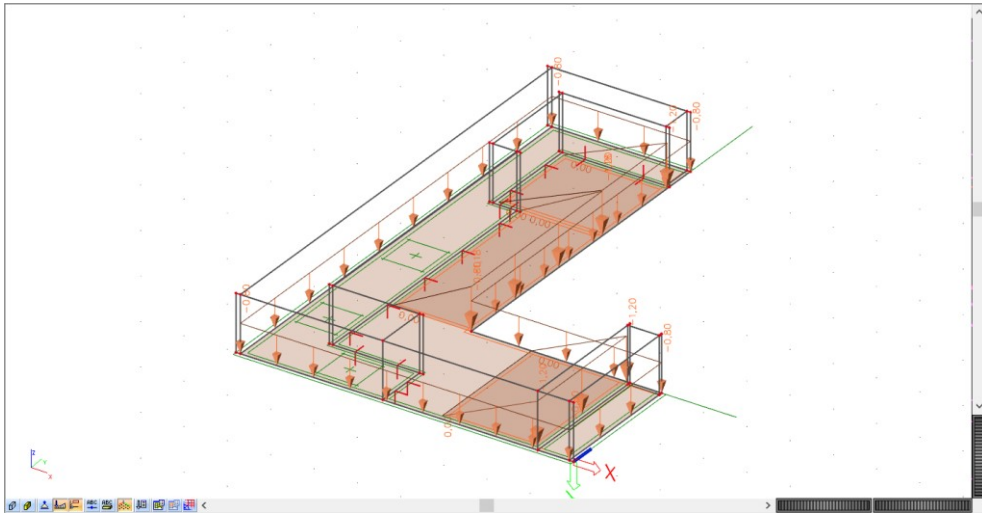
pro μ_1 :

$$s_1 = \mu_1 * C_e * C_t * s_k = 0,8 * 1 * 1 * 1 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

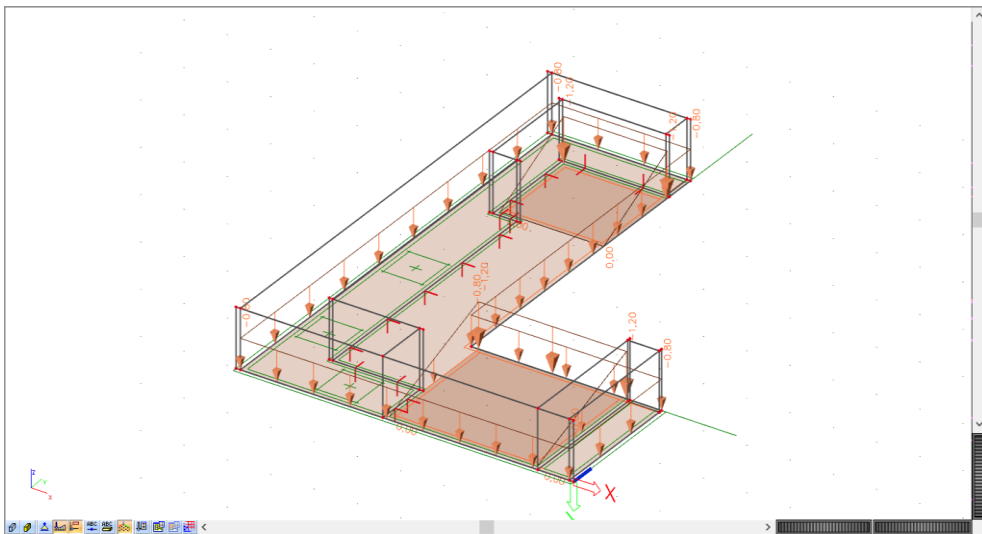
pro μ_2 :

$$s_2 = \mu_2 * C_e * C_t * s_k = 2 * 1 * 1 * 1 = 2 \text{ kN/m}^2$$

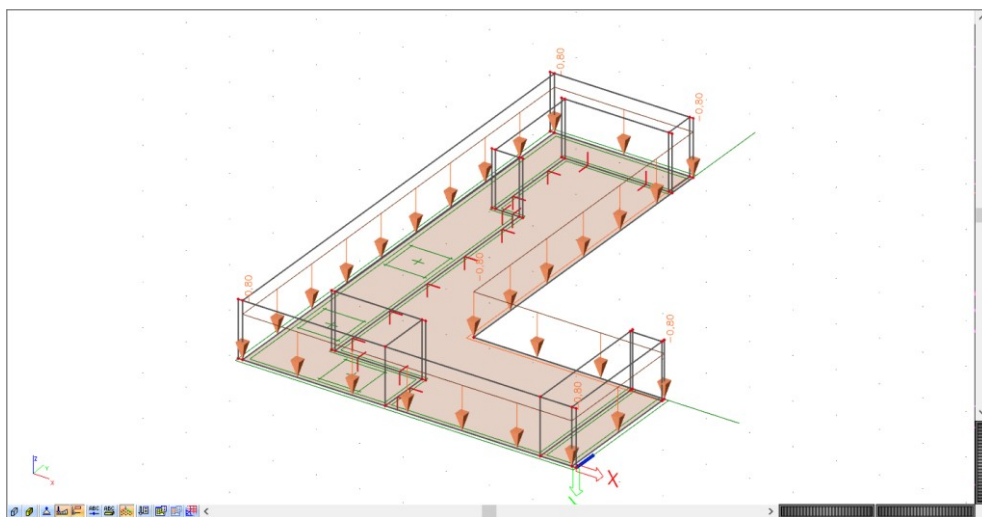
7 NÁVRH VLASTNÍ KONSTRUKCE



Obrázek 36 - zatížení sněhem (západ)



Obrázek 37 - zatížení sněhem (jih)



Obrázek 38 - zatížení sněhem (obecně)

ZATÍŽENÍ VĚTREM

NÁVRH DLE ČSN EN 1991-1-4

UMÍSTĚNÍ STAVBY

Praha 4 - Pankrác
severní hrana Centrálního parku
50°3'3.154"N, 14°25'58.069"E

RYCHLOST VĚTRU A DYNAMICKÝ TLAK

ZÁPADNÍ STRANA

1) základní rychlost větru v_b

$$v_b = 25 \text{ m/s}$$

2) charakteristická střední rychlost větru v_m a) součinitel drsnosti terénu $c_r(z)$

$$z = 100 \text{ m}$$

$$z_0 = 1 \text{ m (IV. kat. terénu)}$$

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{1}{0,05} \right)^{0,07} = 0,23433$$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m (II. kat. terénu)}$$

$$c_r(100) = k_r * \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,234 * \ln \left(\frac{100}{1} \right) = 1,07912$$

b) součinitel orografie $c_o(z)$

analyzovaný úsek - Podolí - Pankrác

$$L_u = 1000 \text{ m}$$

$$H = 73 \text{ m}$$

$$\phi = L_u/H = 73/1000 = 0,073 > 0,05$$

$$Le = Lu = 1000 \text{ m} \quad z/Le = 0,1$$

$$X = 0 \quad X/L_u = 0$$

$$s = 0,8 \text{ (viz. graf na obr. A.2)}$$

$$c_o(100) = 1 + 2 * s * \phi = 1 + 2 * 0,8 * 0,073 = 1,1168$$

$$v_m(100) = c_r(100) * c_o(100) * v_b = 1,079 * 1,117 * 25 = 30,1291 \text{ m/s}$$

7 NÁVRH VLASTNÍ KONSTRUKCE

3) turbulence větru

$$k_l = 1$$

$$l_v(100) = \frac{k_l}{c_o(100) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1}{1,1168 \cdot \ln(100/1)} = 0,19444$$

4) dynamický tlak větru

$$q_p(100) = [1 + 7 \cdot l_v(100)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2(100) =$$
$$[1 + 7 \cdot 0,19444] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 30,129^2 = 1339,55 \text{ N/m}^2$$

$$1,33955 \text{ kN/m}^2$$

OSTATNÍ SVĚTOVÉ STRANY

1) základní rychlost větru v_b

$$v_b = 25 \text{ m/s}$$

2) charakteristická střední rychlost větru v_m

a) součinitel drsnosti terénu $c_r(z)$

$$z = 100 \text{ m}$$

$$z_0 = 1 \text{ m (IV. kat. terénu)}$$

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{1}{0,05} \right)^{0,07} = 0,23433$$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m (II. kat. terénu)}$$

$$c_r(100) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,234 \cdot \ln \left(\frac{100}{1} \right) = 1,07912$$

b) součinitel orografie $c_o(z)$

$$L_u = 1000 \text{ m}$$

$$H = \text{cca } 20 \text{ m}$$

$$\phi = L_u/H = 20/1000 = 0,02 < 0,05$$

$$c_o(100) = 1$$

$$v_m(100) = c_r(100) \cdot c_o(100) \cdot v_b = 1,079 \cdot 1 \cdot 25 = 26,9781 \text{ m/s}$$

7 NÁVRH VLASTNÍ KONSTRUKCE

3) turbulence větru

$$k_t = 1$$

$$l_v(100) = \frac{k_t}{c_o(100) * \ln(z/z_0)} = \frac{1}{1 * \ln(100/1)} = 0,21715$$

4) dynamický tlak větru

$$q_p(100) = [1 + 7 * l_v(100)] * \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(100) =$$

$$[1 + 7 * 0,21715] * \frac{1}{2} * 1,25 * 26,98^2 = 1146,33 \text{ N/m}^2$$

$$1,14633 \text{ kN/m}^2$$

ZATÍŽENÍ PRVKŮ VĚTREM

PŘEDPOKLADY:

- 1) koeficienty konstrukcí $c_s d_s = 1$
- 2) koruny stromů mají koeficienty tlaku c_{pe} shodné s hranou fasády

BALKÓNOVÉ SVISLÉ STĚNY + STROMY

modelová situace - 7.1 svislé stěny

referenční plocha maximální stromové koruny = 6 m²

$c_{pe,1} / c_{f,0}$	světová strana dynamický tlak	w_e [kN/m ²]		F_w [kN]	
		Z	S, J, V	Z	S, J, V
-1,4	A	-1,875	-1,605	-11,252	-9,629
-1,1	B	-1,474	-1,261	-8,841	-7,566
-0,5	C	-0,670	-0,573	-4,019	-3,439
1	D	1,340	1,146	8,037	6,878
-0,7	E	-0,938	-0,802	-5,626	-4,815

$$w_e = c_s d_s * q_p(100) * c_{pe,1} \quad F_w = c_s d_s * q_p(100) * c_{f,0} * A_{ref}$$

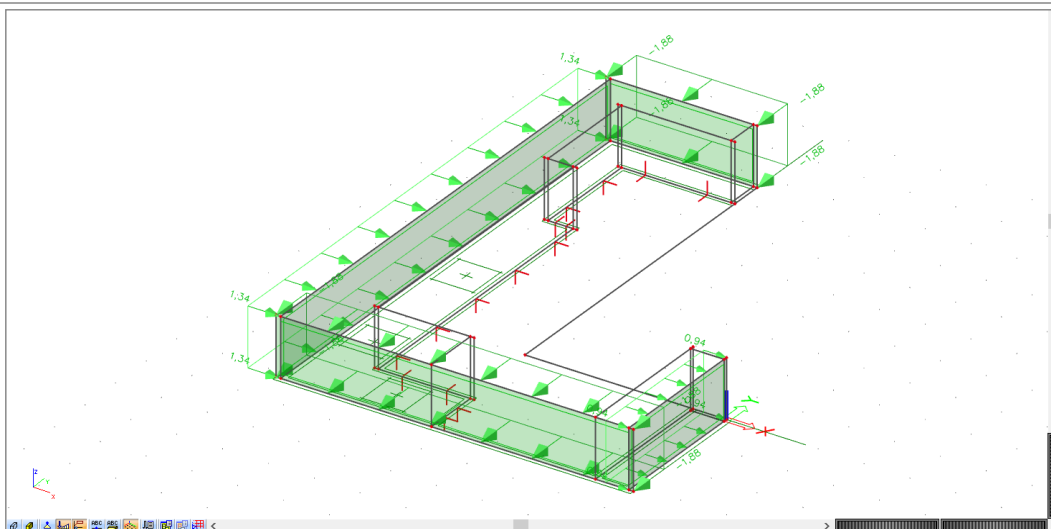
BALKÓNOVÉ DESKY

modelová situace - 7.3 přístřešky

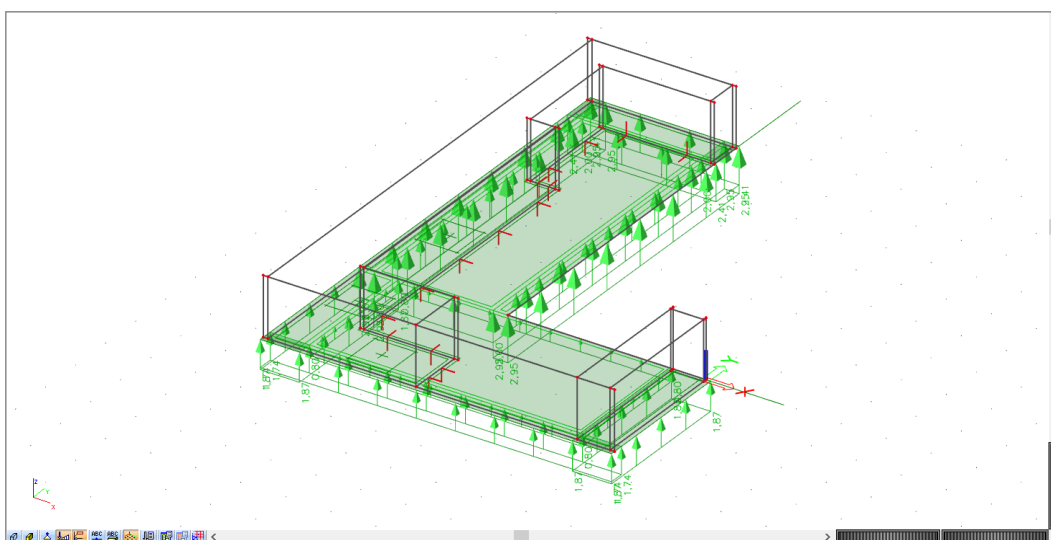
$$\varphi = 1^\circ \quad \varphi = 0^\circ$$

$c_{p,1}$	$c_{p,0}$	světová strana dynamický tlak	$w_{e,p,1}$ [kN/m ²]		$w_{e,p,0}$ [kN/m ²]	
			Z	S, J, V	Z	S, J, V
-1,5	-0,6	A	-2,0093	-1,7195	-0,8037	-0,6878
-1,8	-1,3	B	-2,4112	-2,0634	-1,7414	-1,4902
-2,2	-1,4	C	-2,947	-2,5219	-1,8754	-1,6049

7 NÁVRH VLASTNÍ KONSTRUKCE



Obrázek 39 - zatížení stěn od větru (západ)

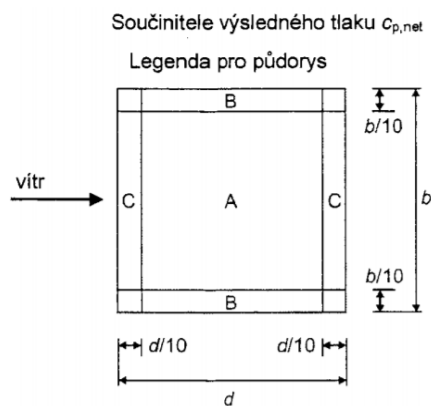


Obrázek 40 - zatížení balkónové desky od větru (západ)

Poznámky k modelu

Obr. 39 – tlak na severní (zadní) stěně stěně je obdobný sání na stěně jižní

Obr. 40 – zatížení desky bylo vytvořeno kombinací koeficientů (viz obr. 41) pro přístřešek volný (vítr protéká skrz – volné části fasády) a zaplněný (vítr se kumuluje na překážce – fasádě)



Obrázek 41

zóny koeficientů dle EN ČSN 1991-1-4

ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÉ STROMY

VLASTNÍ TÍHA

váha stromu 2000 kg

a) dno

roznášecí plocha: 1,1 x 1,1 m

$$w_{strom,g,k} = m * g / A_{roz} = \frac{2000 * 9,81}{1,1 * 1,1} = 16214,9 \text{ N/m}^2$$

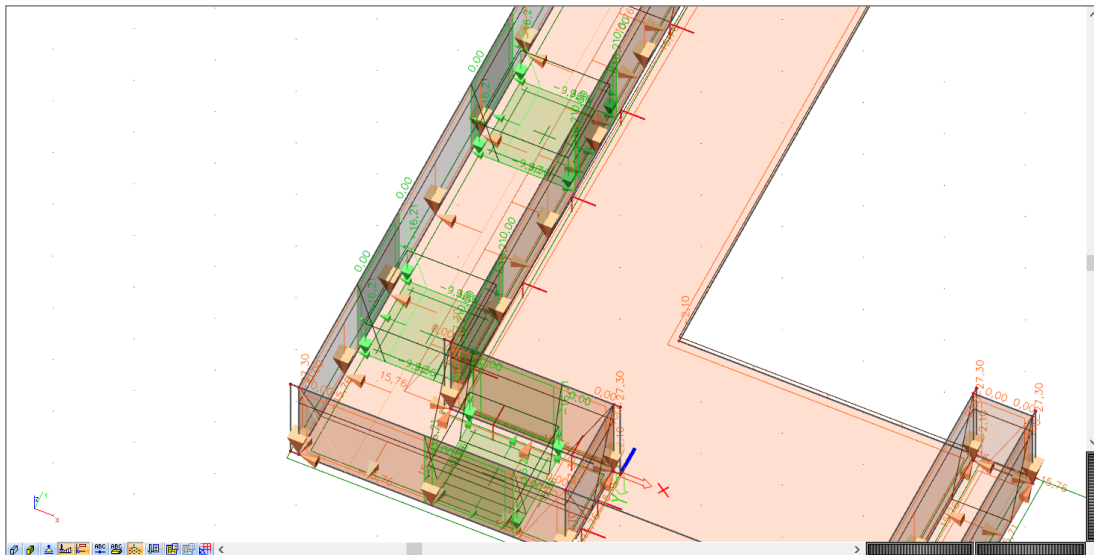
16,2149 kN/m²

b) stěny

uvažován zemní tlak v klidu

$$K_0 = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(25^\circ) = 0,6$$

$$W_{strom,stena,g,k} = w_{strom,g,k} * K_0 = 16,21 * 0,6 = 9,36217 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 42 - zatížení od vlastní tíhy stromů působící na desku i na stěny

ZATÍŽENÍ OD VĚTRU

předpoklady: 2 typy přenášení sil - květináč, ocelová klec

distribuce sil: květináč 30%
 ocelová klec 70%

1) květináč

předpoklad: na květináč působí pouze posouvající síla

roznášecí plocha: 1,3 x 1,1 m

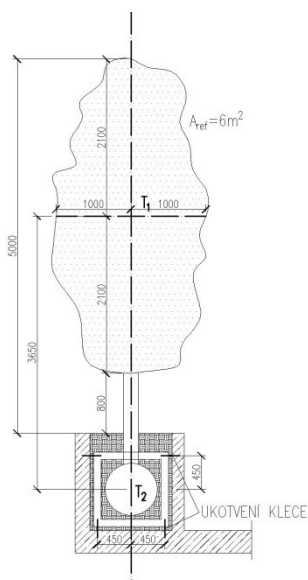
	F_w [kN]		$w_{w,kv,k}$ [kN/m ²]	
	Z	S, J, V	Z	S, J, V
A	-11,252	-9,629	-2,361	-2,020
B	-8,841	-7,566	-1,855	-1,587
C	-4,019	-3,439	-0,843	-0,721
D	8,037	6,878	1,686	1,443
E	-5,626	-4,815	-1,180	-1,010

$$w_{w,kv,k} = 0,3 * F_w / A_{roz}$$

2) ocelová mříž

rameno sil od těžiště koruny do těžiště kořene h_1 3,65 m

rameno od těžiště kořene do ocelového trnu h_2 0,45 m



Obrázek 43

Moment od koruny stromu

	F_w [kN]		$M_{w,kl,k}$ [kNm]	
	Z	S, J, V	Z	S, J, V
A	-11,252	-9,629	-28,750	-24,602
B	-8,841	-7,566	-22,589	-19,331
C	-4,019	-3,439	-10,268	-8,787
D	8,037	6,878	20,535	17,573
E	-5,626	-4,815	-14,375	-12,301

$$M_{w,kl,k} = 0,7 * F_w * h_1$$

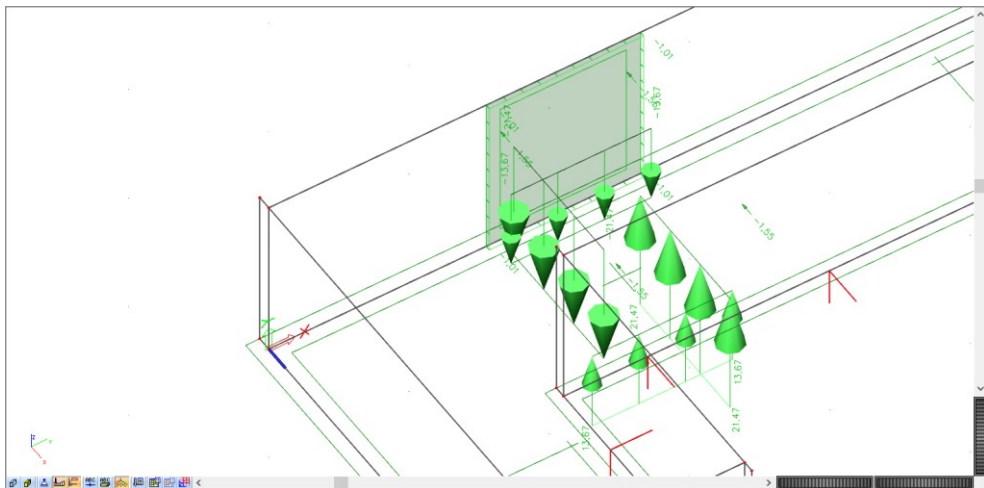
geometrie modelového stromu a klece

7 NÁVRH VLASTNÍ KONSTRUKCE

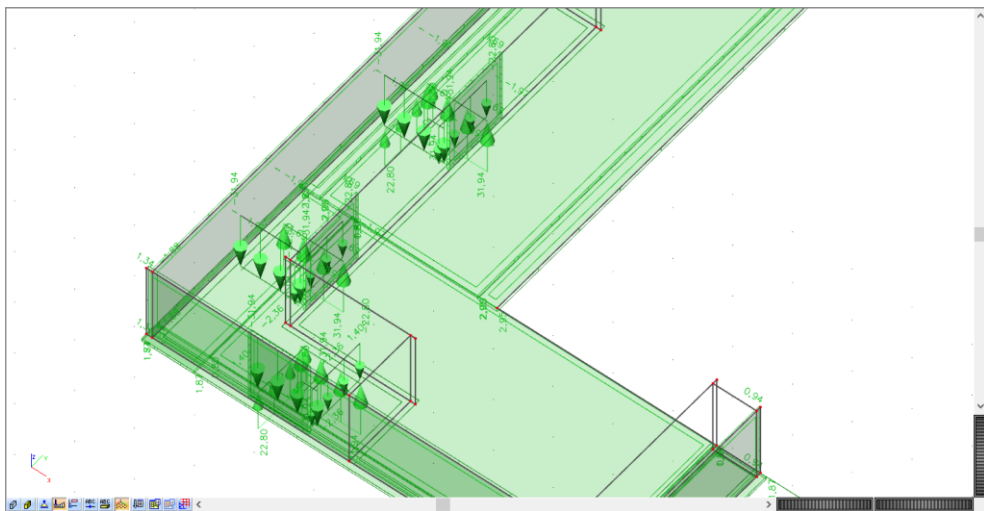
- předpoklady: 1) klec je v horní části uchycena bodově - 4x
2) klec je v dolní části uchycena liniově - 1m

	stěny F_1 [kN]		dno f_2 [kN/m]	
	Z	S, J, V	Z	S, J, V
A	-1,969	-1,685	-31,944	-27,336
B	-1,547	-1,324	-25,099	-21,478
C	-0,703	-0,602	-11,409	-9,763
D	1,407	1,204	22,817	19,526
E	-0,985	-0,843	-15,972	-13,668

$$F_1 = 0,7 * F_w / 4 \quad F_2 = \frac{M_{w,kl,k}}{2 * h_2}$$



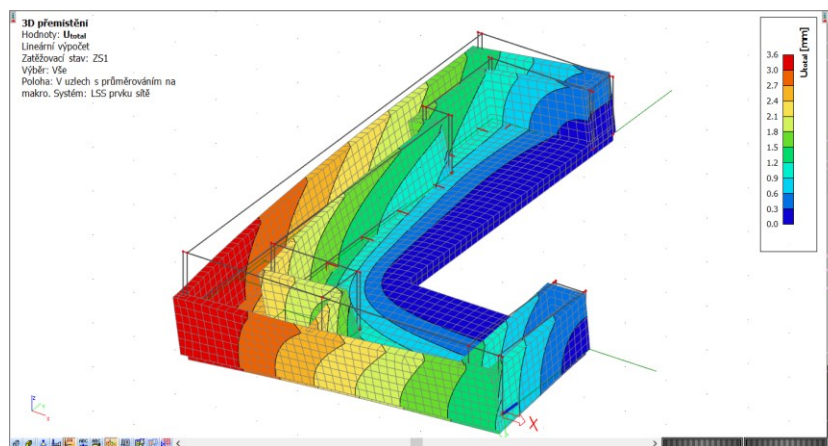
Obrázek 44 - zatížení ocelové klece a stěny od větru (východ)



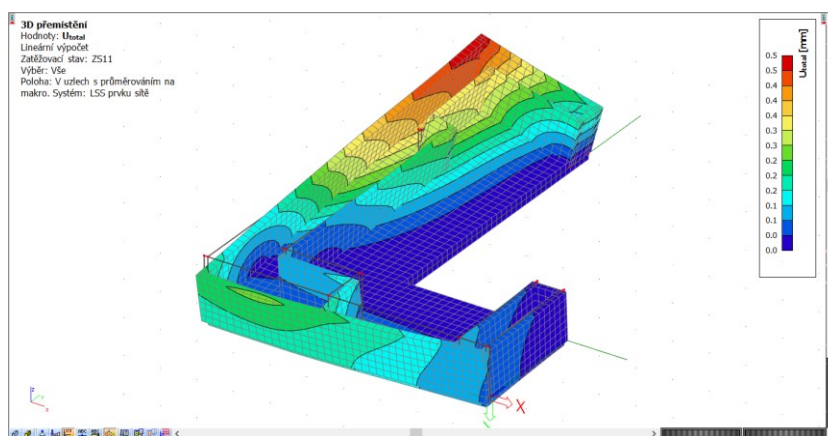
Obrázek 45 - výsledné zatížení od větru (západ)

7.3 Kontrola výpočtu

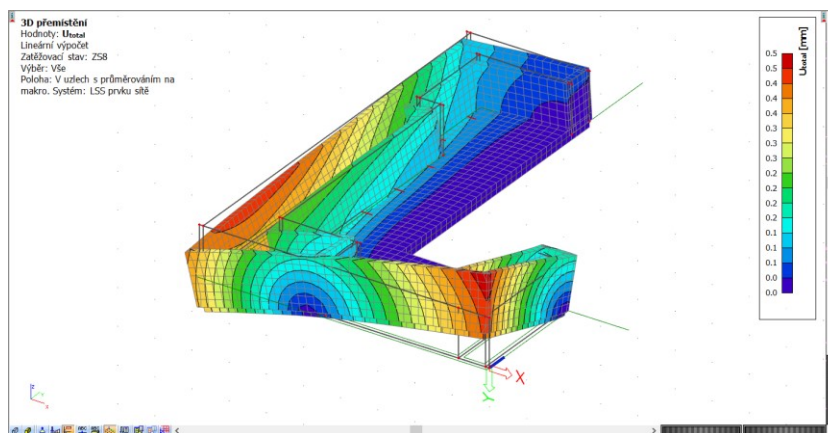
Kontrola byla provedena dvěma způsoby. První byla kontrola přemístění konstrukce od jednotlivých zatěžovacích stavů. Grafické znázornění vyšlo uspokojivě, modelové deformace odpovídají předpokládaným reálným deformacím.



Obrázek 46 - 3D deformace od vlastní tíhy



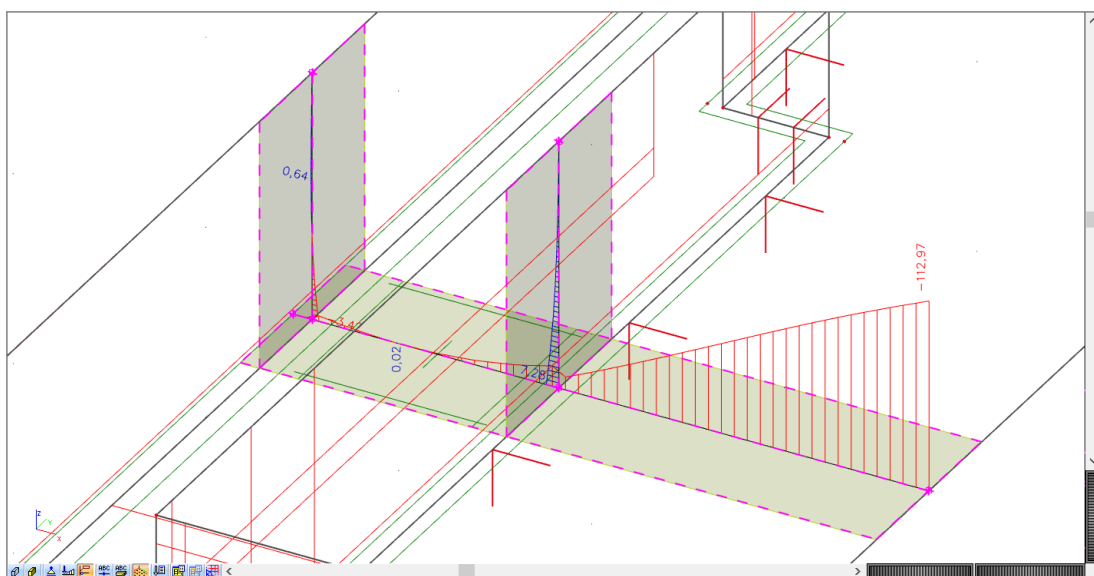
Obrázek 47 - 3D deformace od západního větru



Obrázek 48 - 3D deformace od jižního větru

7 NÁVRH VLASTNÍ KONSTRUKCE

Druhým způsobem kontroly je provedení ručního výpočtu, který potvrdí výsledky, stanovené pomocí softwaru. Bylo tedy třeba vytvořit integrační pásy skrze celou konstrukci. Tyto pásy byly provedeny ve verzi SCIA Engineer v16 a starší, nová verze tuto výpočetní metodu nenabízí. Výsledkem je přiložený výstup z programu (viz obrázek 49). Jako referenční byl zvolen zatěžovací stav "ostatní stálé", jelikož je to poměrově největší zatížení s největším množstvím jednotlivých zatížení. Od tlaku zeminy vzniká lichoběžníkové zatížení na všech stěnách, konstantní zatížení na spodní desce v květináči a zároveň zatížení od podlahových konstrukcí v místech blíže k fasádě.



Obrázek 49 - Vnitřní síly na integračních pásech (M_y)

Hodnoty momentů na stěnách vycházejí poměrně přesně, působí zde dvě trojúhelníková zatížení, jedno od vlastní tíhy stromu (9,38 kN/m) a druhé od vlastní tíhy zeminy (15,76 kN/m). Výsledný moment na hraně je tedy:

$$M_{y, \text{stěna}} = 1/6 * (15,76 + 9,38) * 1,3^2 = 7,08 \text{ kNm}$$

Výsledek se přibližně shoduje s výsledkem z programu (7,28 kNm), odchylka je zapříčiněna tím, že ruční výpočet předpokládá chování stěny jako konzoly, ale stěny jsou ve skutečnosti podporovány z boku ostatními stěnami konstrukce.

7 NÁVRH VLASTNÍ KONSTRUKCE

Výsledek v patě konzoly (u fasády) se skládá z dvou stěnových momentů, které by se teoreticky měly vyrušit, a dále z momentů vyvolaných zatížením na desce. V místě květináčů opět působí zatížení od vlastní tíhy stromu (16,21 kN/m) a zeminy (27,3 kN/m), a to na délce 1,1 m. Dále se na integračním pásu nachází zatížení od podlahové konstrukce (2,1 kN/m) na délce 1,84 m. Celková délka konzoly je 3,3 m. Výsledný moment je tedy:

$$M_{y,deska}=(27,3+16,21)*1,1*(3,3-1,1/2)+2,1*1,84^2/2=135,17 \text{ kNm}$$

Výsledný moment se taktéž přibližně shoduje s momentem, který spočítal software (112,97 kNm). Rozdíl je pravděpodobně způsoben redistribucí zatížení po šířce desky, taktéž platí, že řez byl veden skrze prostor umístění stromu, tato síla by se nepřenášela pouze do nejbližšího bodu konzoly, ale do celé konstrukce.

7.4 Kombinace zatížení

Bylo vytvořeno 11 zatěžovacích stavů, které byly rozděleny do 4 skupin zatížení:

Zatěžovací stav	Skupina zatížení	Typ skupiny zatížení
Stálé	SZ1 - stálé	STANDARD
Ostatní stálé		
Užitné	SZ2 - proměnné	STANDARD
Sníh - západ	SZ3 - sníh	VÝBĚROVÉ
Sníh - sever		
Sníh - východ		
Sníh - jih		
Vítr - západ	SZ4 - vítr	VÝBĚROVÉ
Vítr – sever		
Vítr – východ		
Vítr – jih		

Na tomto principu byly vytvořeny kombinace pro MSP a MSÚ, ve kterých bude vždy díky nastavení skupin zatížení vždy maximálně jeden vítr a jeden sníh. Zároveň je třeba zmínit, že sníh – východ a sníh – sever jsou identické, a to kvůli tomu, že se balkón nachází v těchto směrech v zadních částech konstrukce, možnost návějí byla zanedbána.

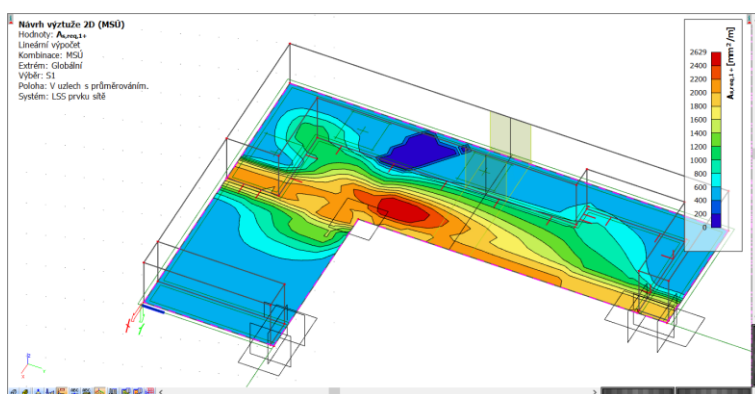
Na tomto principu vznikla kombinační obálka, která obsahuje 49 kombinací zatížení. Na tuto obálku byla navržena výztuž (kombinace MSÚ) a posuzován normový průhyb a šířka trhlin (kombinace MSP).

7.5 Vyztužení konstrukce

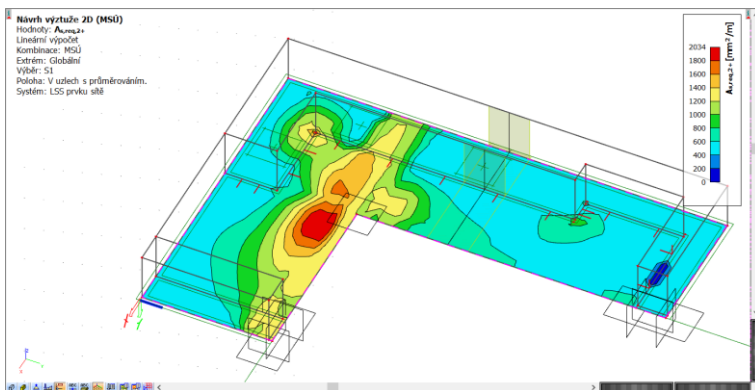
7.5.1 Vyztužení desky

Do modelu desky musely být vloženy průměrovací pásy, a to v místech krajů vykonzolování a hrany fasády, vznikaly zde nerealisticky vysoké nároky na výztuž. Model totiž uvažuje podporu jako bodovou, což v realitě není pravda. Deska je uložena na masivní průvlak, který distribuuje zatížení na ploše.

Deska o tloušťce 300 mm je tažena u horního povrchu, spodní povrch je povětšinou tlačěn. Při dolním povrchu se tedy nachází pouze síť 12x150x150, která vyhoví. Horní výztuž je tažena, je zde tedy navržena síť 16x150x150, která je v místech u konzol zesílena pruty (kolmými k vykonzolování) o průměru 16 mm a délce 1,5 m, viz obrázky 50 a 51. Další výztuž byla vložena do místa rohu vnitřních stěn u hrany balkónu. Toto místo se dá obecně považovat za problematické, a to hlavně z hlediska trhlin, viz kapitola 7.6.1.



Obrázek 50 - nutná výztuž desky (směr x, horní povrch)

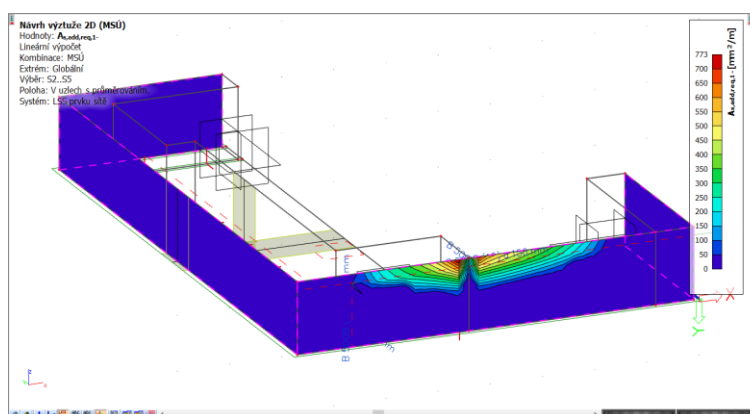


Obrázek 51 - nutná výztuž desky (směr y, horní povrch)

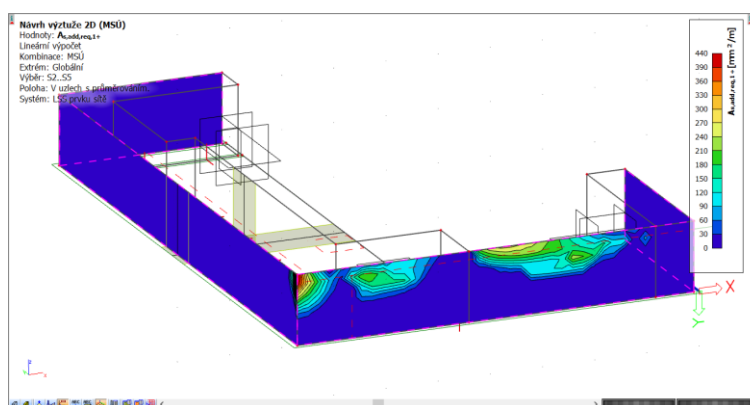
7.5.2 Vyztužení stěn

U stěn byla do všech stěn navržena síť 12x150x150 u obou povrchů. Do této sítě byly vkládány síť 12x150x150, 16x150x150 a v místech největších napětí 22x150x150.

Obvodové stěny o šířce 200 mm byly méně namáhané, pouze jižní a východní stěna potřebovala přídatnou podélnou výztuž v místě rohu balkónu a v místě napojení vnitřní stěny. Stačilo přidat síť o průměru výztuže 12 mm, viz obrázky 52 a 53.



Obrázek 52 - nutná přídatná výztuž (podélná, vnější líc)

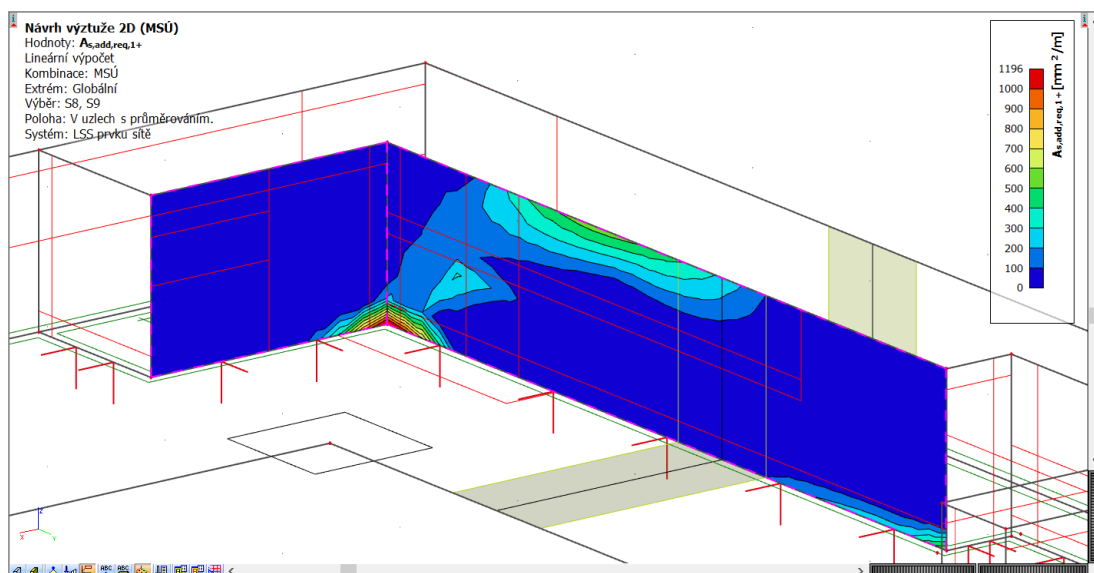


Obrázek 53 - nutná přídatná výztuž (podélná, vnitřní líc)

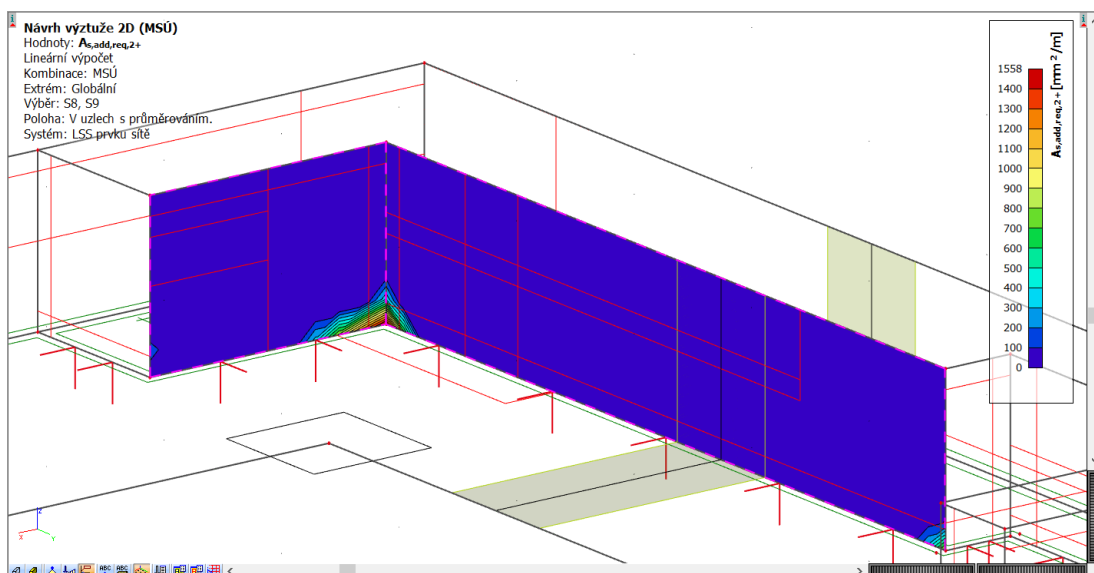
V místech, kde se květináře přibližují fasádě, vzniká v obvodových stěnách modelu nadměrné napětí, které je třeba pokrýt svislou výztuží, bylo zde třeba přidat síť o průměru 22 mm. To samé platí pro vnitřní stěny a okrajové stěny ve stejných místech.

7 NÁVRH VLASTNÍ KONSTRUKCE

Nejvíce vyztužovaná je část vnitřní stěny u květináčů na stromy. V těchto místech bylo třeba původní výztužnou síť 12x150x150 dovyztužit ve styku dvou stěn sítí 22x150x150, viz obrázek 55. Dále bylo třeba u delší stěny (gss směr y) dovyztužit podélnými pruty průměru 16 mm horní část u obou líců, viz obrázek 54. Tyto stěny totiž, jak se zdá, přenáší velkou část napětí od průhybu rohové části konzoly. Ostatní vnitřní stěny stačilo v určitých místech (hlavně dolní hrana - styk s deskou) vyztužit pruty o průměru 12 mm.



Obrázek 54 - nutná přídavná výztuž vnitřních stěn (vnější líc, podélná výztuž)



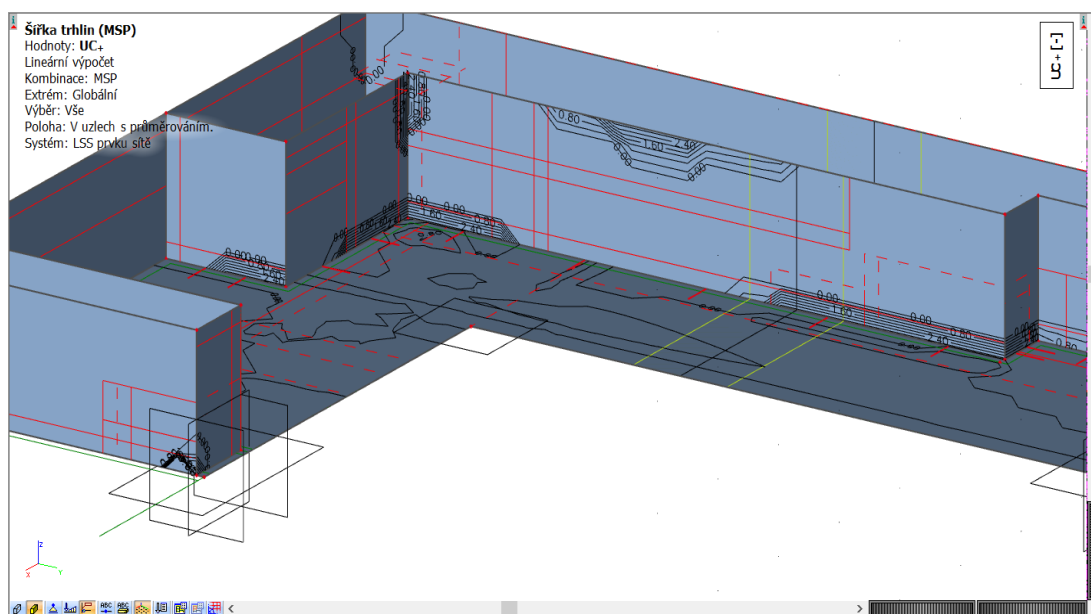
Obrázek 55 - nutná přídavná výztuž vnitřních stěn (vnější líc, svislá výztuž)

7.6 Posouzení MSP

7.6.1 Šířka trhlin

Program dokáže vyhodnotit šíření trhlin v konstrukci. Na kombinaci MSP byla uvažována maximální šíře trhliny 0,3 mm. Výsledky jsou povětšinou příznivé, deska i obvodové stěny nejsou náchylné ke vzniku trhlin. V místech, kde se obvodové stěny květináčů přibližují fasádě, vznikají lokální trhliny, které mnohokrát přesahují dovolenou šířku, nicméně jedná se o chybu modelu (obdobně jako u řešení podpor, program uvažuje bodové styky), v realitě by se zde takové napětí nevyskytovalo.

Problém vzniká v místech vnitřních stěn. Jak je psáno výše, tyto stěny přenášejí poměrně značné zatížení z nejvíce exponované části konzoly, vznikají zde velká tahová napětí. V patách stěn vznikají trhliny, které přesahují hodnotu 0,3 mm. Nicméně geometrie konstrukce byla řešena na osu, tyto trhliny vznikají uvnitř desky, což je nesmysl. Tyto trhliny jsou tedy zanedbány.

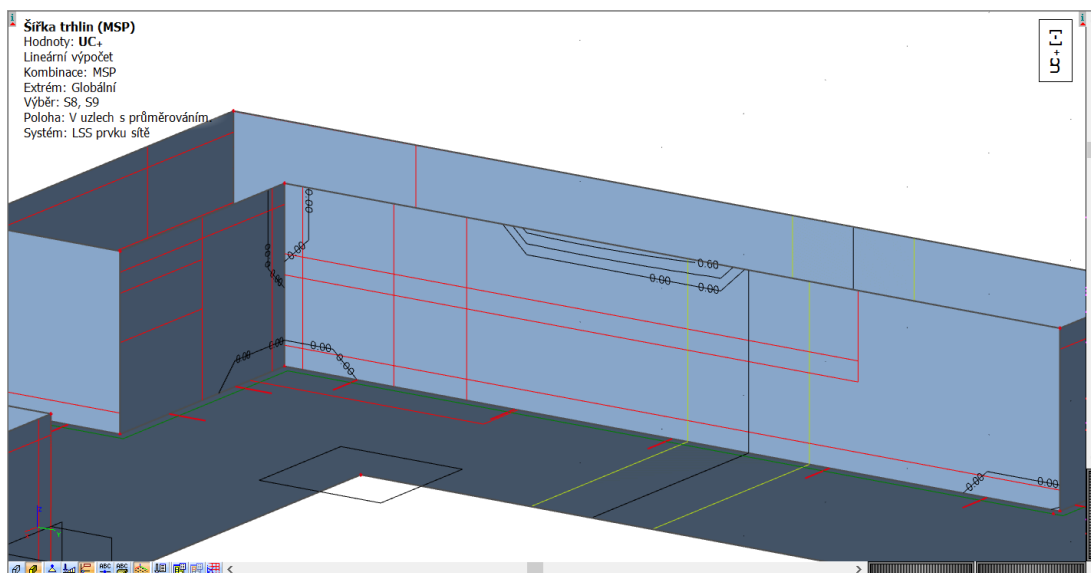


Obrázek 56 - trhliny na vnějším líci vnitřních stěn (vně květináčů, před úpravou)

7 NÁVRH VLASTNÍ KONSTRUKCE

Zároveň ale v těchto stěnách vzniká několik shluků trhlin, které nemohou být zanedbány nebo vyloučeny. Prvně bylo třeba zesílit vyztužení horního líce delší hrany, a to na 22x150x150 mm. Poté byly trhliny v tomto místě už v normě.

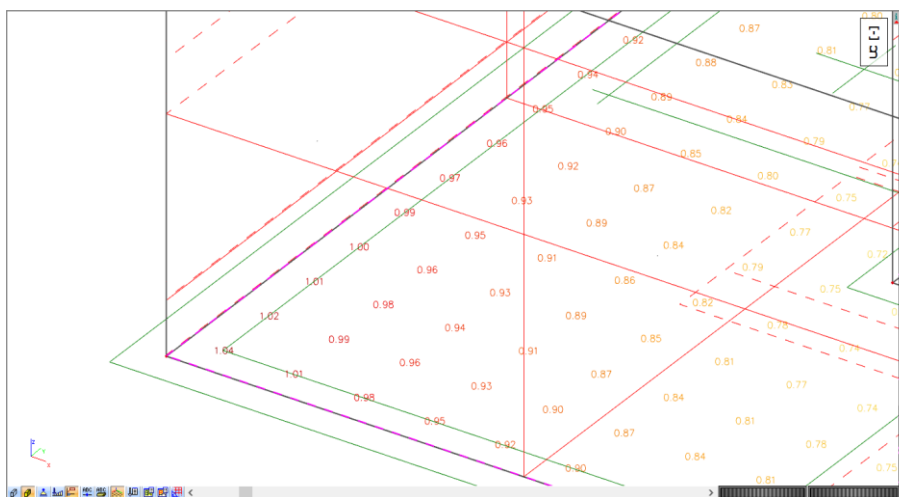
Druhým a nejproblematictější místem je napojení dvou stěn do sebe. Tato rohová oblast má největší shluky trhlin na vnějších horním líci a spodním vnitřním líci květináče. Byla proto zvýšena původní síť na 16x150x150. Nicméně samotný roh už je vyztužený příložkami o průměru 22 mm, další vyztužování už by atakovalo hodnoty maximálního vyztužení desky ($A_{s,max}=0,04 \cdot A_c=0,04 \cdot 160 \cdot 1300=8320$ mm, $A_s=7740$ mm, min. sv. vzdálenost výztuže je 56 mm), bylo tedy třeba změnit geometrii prvku, přesněji zvýšit tloušťku desek ze 160 na 200 mm. Poté trhliny vyhoví a prvek zároveň není poměrově tak vyztužený.



Obrázek 57 - trhliny na vnějším líci vnitřních stěn (vně květináčů, po úpravách)

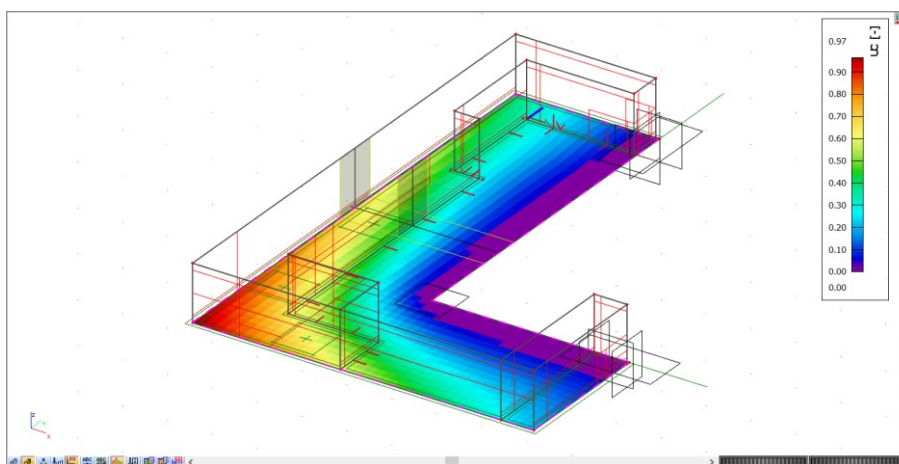
7.6.2 Normově závislý průhyb

Vzhledem k časové náročnosti výpočtu normově závislého průhybů při jednotlivých kombinacích byla v programu spočtena pouze hodnota průhybu desky. V nastavení SCIA v17 je přednastavena limitní hodnota $l/250$, která byla uvažována i zde. Původní návrh nevyhověl na průhyb v nejvzdálenějším místě fasády, tedy v rohu balkónu.



Obrázek 58 - normově závislý průhyb před úpravou

Nicméně nevyhověl pouze o 4 %, stačilo pouze protáhnout výztuž ve směru x (západní část balkónu vytváří větší zatížení) až do kraje konzoly. Průhyb po této úpravě už vyhoví.



Obrázek 59 - výsledný průhyb desky

8 Závěr

Tato bakalářská práce nejprve zmapovala historii ozeleňování fasád se zjištěním, že se jedná o záležitost poměrně novou, první pionýrské pokusy ze začátku minulého století jsou spíše raritní, hlavní rozvoj nastal až v posledních 40 letech. Bylo zjištěno, že typologie zelených fasád není v odborné komunitě nijak pevně ustálena a existuje mnoho variant, jak klasifikovat jednotlivé typy konstrukcí. Nicméně se dá vysledovat určitá tendence rozdělovat fasády do dvou hlavních směrů, tradičních zelených fasád s popínavými rostlinami a moderních živých stěn (nebo taktéž vertikálních zahrad), které rostou z vertikálně umístěného zdroje živin. V posledních letech se začala na fasádách objevovat i náročnější vegetace, jako například keře a hlavně stromy. Tento typ konstrukce se označuje za vertikální les.

V další části práce zpracovala co největší množství dat týkajících se vlastností zelených fasád důležitých pro jejich následné využití ve výstavbě. Bylo zjištěno, že všechny typy zelených fasád mají velmi dobré výsledky v oblasti tepelně technických vlastností, a je to jedna z efektivních variant snižování energetických nároků na chlazení interiéru budov v letních měsících. Další oblast, kterou se práce zabývala, je vliv zelených fasád na akustiku prostředí. Zde je třeba další výzkum, nicméně se ze zjištěných výsledků dá usoudit, že vliv fasád na vnitřní prostředí budov je marginální, už díky velkému množství jiných materiálů, které jsou v tomto ohledu efektivnější. Velmi zajímavý je ale vliv těchto fasád na akustiku exteriéru. Hlavně zvýšená pohltivost a snížená doba dozvuku v místech vybavených těmito stěnami by mohla napomoci snížení městského hluku. Třetí oblastí, kterou musela tato bakalářská práce pokrýt, je ekologie. V tomto ohledu nabízí konstrukce zelených fasád asi nejvýznamnější klad pro moderní společnost, jejich vliv na urbanismus z hlediska životního prostředí je velmi výrazný. A to ať už se jedná o problematiku městského tepelného ostrova, zadržování srážkové vody nebo třeba filtrace škodlivin ze vzduchu. Tento konstrukční prvek se zdá být jednou z nejlepších možností zkvalitnění

městského prostředí. Zároveň ale bylo třeba vzít v potaz ekonomickou udržitelnost těchto konstrukcí. V tomto ohledu je největší slabina zelených fasád. Pořizovací cena a náklady na údržbu jsou obecně vysoké. Pozemek ale instalací fasády získává na hodnotě a prestiži a investice se tedy vrací v podobě vyšších nájmů. Podle typů fasád se ekonomická udržitelnost výrazně liší, tradiční popínavé zelené fasády mají poměrně dobrou investiční návratnost, živé stěny se zdají nerentabilní. Vertikální les v současné době existuje pouze jeden (Bosco Verticale), ale díky velké pořizovací ceně bytů a velmi kladnému ohlasu veřejnosti a hlavně investorů je pravděpodobně udržitelný. Okrajově se tato práce zajímala i o ochranu spodní fasády před erozí. Taktéž byl vzat v potaz vliv snížené pravděpodobnosti poničení vandalismem a vliv psychoakustiky.

Další částí bakalářské práce se stala případová studie prvního vertikálního lesa, dvou budov projektu Bosco Verticale v Italském Milánu. Byly zde udány základní informace o projektu, konstrukční řešení větší z budov, problematika účinku větru na výpočetní model konstrukce a samotné řešení zelené fasády. Hlavně problematika posledních dvou kapitol byla stěžejní pro úspěch projektu. Zajímavé bylo zjištění, že model fasády byl postaven na Floridě, kde byl ve speciálním simulátoru hurikánů testován na extrémní zatížení větrem. Taktéž zde byl vyvinut unikátní systém chytrého zavlažování, kdy je na fasádě přes 280 samostatných ventilů, přes které může řídicí počítač individuálně měnit vlhkost v jednotlivých květináčích v závislosti na datech, která vysílají čidla umístěná v zemině. Počítač by zároveň měl sám analyzovat chyby a závady zavlažovacího systému.

Poslední část bakalářské práce se věnovala návrhu balkónové konstrukce ve stylu Bosco Verticale. Rohový balkón byl umístěn do výšky 100 metrů nad zem, kde na něj byl za pomoci českých norem navrženo zatížení od květináčů, stromů, větru a sněhu. Zatížení od stromů bylo přenášeno do konstrukce přes ocelovou mříž obdobnou té z milánského vertikálního lesa. Poté byla provedena kontrola výpočtu a byly vytvořeny kombinace zatížení, na které byla navržena výztuž, posouzen průhyb a šířka

trhlin. Díky tomu se dá konstatovat, že konstrukci by mělo být možno navrhnout bez dodatečného předpětí desky, tedy jinak, než při realizaci italského vertikálního lesa. Nicméně je třeba dodat, že tento model je v určitých aspektech zjednodušený. Hlavně interakci stromů s fasádou by bylo vhodné modelovat na základě skutečných pokusů.

Z výše napsaného se dá usoudit, že bakalářská práce potvrdila potenciál zelených fasád jako efektivního a udržitelného nástroje úpravy prostředí moderní městské zástavby. Jejich pozitivní vliv na okolní prostředí a obecně snaha navrátit přírodní aspekt do prostoru velkoměst indikuje, že se tyto stavby budou čím dál tím častěji objevovat nejen ve studiích, ale i na běžně realizovaných stavbách. Zároveň ale musí pokračovat další výzkum a inovace těchto fasád. Například konstrukční propojení fasády a vegetace by se mohlo v dalších letech posunout trochu blíže původnímu jednoduchému pojetí tradičních popínavých fasád.

9 Bibliografie

[1]. **Přerovská, Zuzana.** Vertikální zahrady v interiéru a exteriéru - Diplomová práce. *Mendelova univerzita v Brně*. [Online] 2013. [Citace: 8. únor 2018.]

https://is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti_zp=35367;zp=35367;dinfo_jazyk=1;lang=cz.

[2]. **více autorů.** Visuté zahrady Semiramidiny. *Wikipedia.cz*. [Online] Wikimedia Foundation, 18. prosinec 2017. [Citace: 6. únor 2018.]

https://cs.wikipedia.org/wiki/Visut%C3%A9_zahrady_Semiramidiny.

[3]. —. Hanging Gardens of Babylon. *wikipedia.org*. [Online] Wikimedia Foundation, 24. prosinec 2017. [Citace: 6. únor 2018.]

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Hanging_Gardens_of_Babylon.jpg.

[4]. **McDonald, Jessica.** Nanoballs give English ivy one of nature's strongest glues. *Sciencemag.org*. [Online] Association for the Advancement of Science, 23. květen 2016. [Citace: 10. únor 2018.]

<http://www.sciencemag.org/news/2016/05/nanoballs-give-english-ivy-one-nature-s-strongest-glues>.

[5]. **Köhler, Manfred.** Green facades - A view back and some visions. *Urban Ecosystems*. Neubrandenburg, Německo : Springer US, 2008. DOI: 10.1007/s11252-008-0063-x.

[6]. **Geschichte und Theorie der Gestaltung.** garden-cult data base. *garden historic library of Berlin*. [Online] GTG der Universität der Künste Berlin (UdK). [Citace: 10. únor 2018.] <http://www.garden-cult.de/>.

[7]. **Hindle, Richard L.** A vertical garden: origins of the Vegetation-Bearing Architectonic Structure and System (1938). *Studies in the History of Gardens & Designed Landscapes*. Philadelphia : University of Pennsylvania, 2012. 32. DOI 10.1080/14601176.2011.653535.

[8]. **Blanc, Patrick.** documents - Biography. *VERTICAL GARDEN PATRICK BLANC*. [Online] [Citace: 10. únor 2018.]
<https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/documents>.

[9]. **autor neznámý.** produkty. *zelenafasada.cz*. [Online] LIKO-S, a.s. [Citace: 26. únor 2018.] <http://www.zelenafasada.cz/produkty>.

[10]. **Růžička, Vlastimil.** dům a byt - Zelené fasády na několik způsobů. *dumabyt.cz*. [Online] Sabre s.r.o., 10. červenec 2015. [Citace: 26. únor 2018.] https://mujdum.dumabyt.cz/rubriky/zahrada/zelene-fasady-na-nekolik-zpusobu_1954.html.

[11]. **Pérez, Gabriel, a další.** Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Lleida : Elsevier Ltd., 2014. 38.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.055>.

[12]. **Ebtesam M. Elgizawy.** The Effect of Green Facades in Landscape Ecology. *Procedia Environmental Sciences*. Cairo : Elsevier Ltd., 2016. 34. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.012>.

[13]. **Perini, Katia a Rosasco, Paolo.** Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment*. Ženeva : Elsevier Ltd., 2013. 70. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.012>.

[14]. **více autorů.** Tower-Flower. *wikipedia.cz*. [Online] Wikimedia Foundation, 3. březen 2016. [Citace: 3. březen 2018.]
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Tower-Flower>.

[15]. **autor neznámý.** Green Walls. *Green roof technology*. [Online] WSI WebSpecialist. [Citace: 3. březen 2018.]
http://www.greenrooftechology.com/green_walls.

[16]. **E Giacomello, M. Valagusa.** Vertical greenery. *Evaluating the High-Rise Vegetation of the Bosco Verticale, Milan*. Chicago : ARUP, Council of Tall Buildings and Urban Habitat, 2015. ISBN: 978-0-939493-42-5.

[17]. **Wong, Nyuk Hien, a další.** Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*. Singapur : Elsevier Ltd., 2009. Sv. 2, 45. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.017>.

[18]. **Azkorra, Z., a další.** Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system. *Applied Acoustics*. Španělsko, Čile : Elsevier Ltd., 2015. 89. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.09.010>.

[19]. **Thomazelli, Rodolfo, Caetano, Fernando a Bertoli, Stelamaris.** Acoustic properties of green walls: Absorption and insulation. *Sustainable Materials for Sound Absorption and Insulation: Paper* . Buenos Aires : International Congress on Acoustics, 2016. ICA2016-695.

[20]. **Vacek, Oldřich.** *ústní sdělení*. Praha, Mezifakultní centrum environmentálních věd, ČZU, 14. květen 2018.

[21]. **Růžička, Vlastimil.** Krásné vertikální zahrady zachraňují domy. Zelené fasády nikdo neničí. *idnes.cz*. [Online] 27. červec 2011. [Citace: 24. březen 2018.] https://bydleni.idnes.cz/vertikalni-zahrada-0aw-/architektura.aspx?c=A110624_111117_architektura_web.

[22]. **Weller, Chris.** These tree-covered Italian skyscrapers were just named the best tall buildings in the world. *Business Insider*. [Online] Insider Inc., 16. listopad 2015. [Citace: 21. duben 2017.] <http://www.businessinsider.com/tree-covered-skyscraper-best-tall-building-2015-10>.

[23]. **více autorů.** Bosco Verticale. *Wikipedia.org*. [Online] Wikimedia Foundation, 8. únor 2018. [Citace: 21. duben 2018.] https://en.wikipedia.org/wiki/Bosco_Verticale.

[24]. **autor neznámý.** Bosco Verticale (Vertical Forest), Milan. *Design Build Network*. [Online] Kable Intelligence Limited. [Citace: 21. duben 2018.] <https://www.designbuild-network.com/projects/bosco-verticale-vertical-forest-milan/>.

[25]. —. vertical forrest. *Stefano Boeri Architetti*. [Online] [Citace: 22. duben 2018.] <https://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/project/vertical-forest/>.

[26]. —. Il Bosco Verticale, Italy. *Peri*. [Online] Peri group. [Citace: 22. duben 2018.] <https://www.peri.com/en/projects/skyscrapers-and-towers/il-bosco-verticale.html#&gid=1&pid=5>.

[27]. **Merille, Eduardo**. Testing the world's first vertical forest. *FIU News*. [Online] 18. únor 2014. [Citace: 22. duben 2018.] <https://news.fiu.edu/2014/02/testing-the-worlds-first-vertical-forest/74502>.

[28]. **Garfield, Leanna**. A stunning new smog-eating 'vertical forest tower' will feature luxury apartments and 300 species of plants. *Business Insider*. [Online] 21. červenec 2017. [Citace: 14. květen 2018.] <http://www.businessinsider.com/holland-forest-tower-utrecht-2017-7>.

[29]. **autor neznámý**. THE SECOND VERTICAL FOREST WILL BE BORN IN LAUSANNE. *Stefano Boeri Architetti*. [Online] 24. červen 2016. [Citace: 14. květen 2018.] <https://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/news/the-second-vertical-forest-will-be-born-in-lausanne-ch/>.

[30]. **Garfield, Leanna**. China is building a smog-eating 'forest city' filled with tree-covered skyscrapers. *Business Insider*. [Online] 6. červen 2017. [Citace: 14. květen 2018.] <http://www.businessinsider.com/stefano-boeri-forest-city-liuzhou-china-2017-6>.

Zdroje obrázků

[31]. **ItaliaChiamaitalia**. Nanjing Vertical Forest, ispirato al Bosco Verticale di Milano. *italiachiamaitalia.it*. [Online] 16. březen 2017. [Citace: 22. duben 2018.] <http://www.italiachiamaitalia.it/nanjing-vertical-forest-ispirato-al-bosco-verticale-milano/>.

[32]. **autor neznámý**. green facades. *urban green-blue grids*. [Online] GROENBLAUW. [Citace: 26. únor 2018.]
<http://www.urbangreenbluegrids.com/measures/green-facades/>.

[33]. —. Tower Flower. *edouardfrancois.com*. [Online] [Citace: 26. únor 2018.]
http://www.edouardfrancois.com/en/projects/housing/details/article/145/tower-flower/#.Wr_nvlhuZPY.

[34]. **Choe, Jonathan**. FLOWER TOWER PARIS.
<http://www.urbanarchnow.com>. [Online] 21. březen 2012. [Citace: 26. únor 2018.] <http://www.urbanarchnow.com/2012/03/flower-tower-paris.html>.

[35]. **White, Stanley Hart**. US patent 2113523A. *google.com*. [Online] 5. duben 1938. [Citace: 16. únor 2018.]
<https://patents.google.com/patent/US2113523>.

10 Seznam obrázků a tabulek

10.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 – ilustrace Visutých zahrad Semiramidis z 19. století	9
Obrázek 2 - břechťanová zelená fasáda	10
Obrázek 3 - patent 2,113,523 S. H. Whitea	11
Obrázek 4 - šikmá zelená stěna u OC Anděl	12
Obrázek 5 - zelená fasáda tradiční a s podpůrnou konstrukcí	14
Obrázek 6 - živá stěna v Madridu od Patricka Blanca + detail	16
Obrázek 7 – Tower-Flower v Paříži	18
Obrázek 8 – detail desky Tower-Flower	18
Obrázek 9 - rozdíl neprůzvučností zelené fasády a kontrolní stěny	27
Obrázek 10 - porovnání zelené fasády a betonové stěny	27
Obrázek 11 - rozdíl neprůzvučností živé stěny a kontrolní stěny	28
Obrázek 12 - porovnání času dozvuku dle Azkorry	30
Obrázek 13 - porovnání koeficientu zvukové absorpce	31
Obrázek 14 - porovnání absorpce zvuku stavebních materiálů	31
Obrázek 15 - profil městského tepelného ostrova	33
Obrázek 16 - typy analyzovaných VGS	35
Obrázek 17 - Bosco Verticale	39
Obrázek 18 - půdorys projektu Bosco Verticale	41
Obrázek 19 - půdorys 6. patra budovy E	42
Obrázek 20 - obvodový průvlak napojený na sloupy	43
Obrázek 21 - fasáda a vykonzolovaný balkón	44
Obrázek 22 - řez fasádou s balkónem	44

Obrázek 23 - přechod mezi jednotlivými květináči	46
Obrázek 24 - zesílené uchycení kořenového systému	47
Obrázek 25 - teleskopické rameno pro údržbu fasády	49
Obrázek 26 - závlahový systém fasády	50
Obrázek 27 - vertikální les v Lausanne	52
Obrázek 28 - vertikální les v Utrechtu	52
Obrázek 29 - forest city v Čínském Liuzhou	53
Obrázek 30 - řezy balkónem	54
Obrázek 31 - vykonzolování konstrukce	55
Obrázek 32 - půdorys balkónu	55
Obrázek 33 - zemní tlak na stěnu	56
Obrázek 34 - výsledné zatížení od zeminy	57
Obrázek 35 - užité zatížení	57
Obrázek 36 - zatížení sněhem (západ)	59
Obrázek 37 - zatížení sněhem (jih)	59
Obrázek 38 - zatížení sněhem (obecně)	59
Obrázek 39 - zatížení stěn od větru (západ)	63
Obrázek 40 - zatížení balkónové desky od větru (západ)	63
Obrázek 41 - zóny koeficientů dle EN ČSN 1991-1-4	63
Obrázek 42 - zatížení od vlastní tíhy stromů	64
Obrázek 43 – geometrie modelového stromu a klece	65
Obrázek 44 - zatížení ocelové klece a stěny od větru (východ)	66
Obrázek 45 - výsledné zatížení od větru (západ)	66
Obrázek 46 - 3D deformace od vlastní tíhy	67
Obrázek 47 - 3D deformace od západního větru	67

Obrázek 48 - 3D deformace od jižního větru	67
Obrázek 49 - Vnitřní síly na integračních pásech (My)	68
Obrázek 50 - nutná výztuž desky (směr x, horní povrch)	71
Obrázek 51 - nutná výztuž desky (směr y, horní povrch)	71
Obrázek 52 - nutná přídavná výztuž (podélná, spodní líc)	72
Obrázek 53 - nutná přídavná výztuž (podélná, horní líc)	72
Obrázek 54 - nutná přídavná výztuž vnitřních stěn (podélná výztuž)	73
Obrázek 55 - nutná přídavná výztuž vnitřních stěn (svislá výztuž)	73
Obrázek 56 - trhliny na vnějším líci vnitřních stěn (před úpravou)	74
Obrázek 57 - trhliny na vnějším líci vnitřních stěn (po úpravách)	75
Obrázek 58 - normově závislý průhyb před úpravou	76
Obrázek 59 - výsledný průhyb desky	76

10.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 – neprůzvučnost živé stěny.....	29
Tabulka 2 - indikátory ekonomické udržitelnosti	36