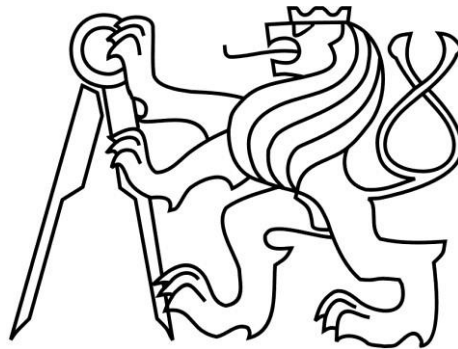


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

NOSNÁ KONSTRUKCE ZELENÉ FASÁDY

VYPRACOVALA: LUCIE MRÁZKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE: ING. MICHAELA FRANTOVÁ, PH. D.

PRAHA 2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Mrázková Jméno: Lucie Osobní číslo: 494288

Zadávací katedra: K 133 - Katedra betonových a zděných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor/specializace: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Nosná konstrukce zelené fasády

Název bakalářské práce anglicky: Load bearing structure of green facade

Pokyny pro vypracování:

- varianty řešení zelených fasád - vertikálního lesa, rešerše literatury + příklady existujících staveb
- referenční stavba - studie stavby v Praze Modřanech inspirovaná Bosco Verticale
- návrh vlastního konstrukčního řešení balkónů s ohledem na problematiku tepelných mostů (možnosti použití ISO nosníků)
- analýza a návrh výztuže vybraného balkónu

Seznam doporučené literatury:


- Giacomello, E. a Valagussa, M. (2015) Vertical Greenery: Evaluating the High-Rise Vegetation of the Bosco Verticale, Milan


Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Michaela Frantová, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 20. 2. 2023

Termín odevzdání BP v IS KOS: 22. 5. 2023

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



Podpis vedoucího práce


Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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


Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Nosná konstrukce zelených fasád zpracovala sama. Veškeré prameny a zdroje informací, které jsem použila k sepsání této práce, byly citovány a jsou uvedeny v seznamu použitých pramenů a literatury.

V Praze dne:

Podpis:

Poděkování

Ráda bych poděkovala paní Ing. Michaele Frantové, Ph. D., za vedení mé bakalářské práce, za věcné rady a připomínky a za čas strávený konzultacemi mé práce.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat všem svým blízkým, kteří mě po celou dobu studia, ať už morálně, nebo finančně podporovali.

NOSNÁ KONSTRUKCE ZELENÉ FASÁDY

LOAD BEARING STRUCTURE OF GREEN FACADE

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá tématem zelených fasád a popisuje jednotlivé způsoby, jakými lze vytvořit zelenou fasádu, až po současný trend výstavby vertikálních lesů. Práce je dále zaměřena na podrobný popis prvního vertikálního lesa, Bosco Verticale v Miláně. Popisuje konstrukční řešení budovy a samotný proces návrhu fasády, který je spojený s použitím řady technologií a výpočetních modelů. Praktická část této práce se zabývá vlastním návrhem části balkónové konstrukce podle vzoru Bosco Verticale na reálné konstrukci v českých podmínkách. Při návrhu jsou zohledněny všechny potřebné zatěžovací stavy a je posouzena možnost použití ISO-nosníku pro přerušení tepelných mostů. Konstrukce je navržena ve dvou variantách připojení k obvodové nosné konstrukci a je také proveden rozbor možného materiálového zpracování truhlíků pro vegetaci tak, aby prvky byly co možná nejsubtilnější.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ozelenění fasád, zelená fasáda, Bosco Verticale, vertikální les

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the topic of green facades and describes the different ways in which a green facade can be created, up to the current trend of building vertical forests. The thesis also focuses on a detailed description of the first vertical forest, the Bosco Verticale in Milan. It describes the structural design of the building and the facade design process itself, which involves the use of a range of technologies and computer models. The practical part of this thesis deals with the actual design of a part of the balcony structure based on the Bosco Verticale model on a real structure in Czech conditions. The design takes into account all necessary load conditions and considers the possibility of using an ISO-beam to break thermal bridges. The structure is designed in two variants of connection to the perimeter structure and the possible material treatment of the vegetation boxes is also analysed in order to make the elements as subtle as possible.

KEYWORDS

Facade greening, green facade, Bosco Verticale, vertical forest

Obsah

1. Úvod	8
2. Typologie zelených fasád	9
2.1. Zelené fasády se samopnoucími rostlinami	10
2.2. Zelené fasády s nesamopnoucími rostlinami	11
2.3. Zelené živé stěny	12
3. Bosco Verticale	17
3.1. Základní informace	17
3.2. Konstrukční řešení	18
3.3. Použité technologie	20
3.4. Konstrukční řešení fasády	21
3.5. Navazující projekty Stefana Boeriho	24
4. NÁVRH VLASTNÍ KONSTRUKCE BALKÓNU	26
4.1. GEOMETRIE BALKÓNU	27
4.2. ZATÍŽENÍ	28
4.3. VÝPOČET A OVĚŘENÍ VÝSLEDKŮ	30
4.4. NÁVRH ISO-NOSNÍKU	33
4.5. NÁVRH VÝZTUŽE	34
4.6. UCHYCENÍ STĚN KVĚTINÁČE	37
5. ZÁVĚR	40
6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	42
7. SEZNAM PŘÍLOH	45
PŘÍLOHA č .1 – Tvar balkónu	46
PŘÍLOHA č .2 – Výpočet zatížení	47
2.1. OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ	47
2.2. ZATÍŽENÍ SNĚHEM	48
2.3. ZATÍŽENÍ VĚTREM	49
2.4. UŽITNÉ ZATÍŽENÍ	51

1. Úvod

V době průmyslové revoluce přicházely nové zdroje energie, mezi něž patřilo převážně uhlí. Spalování fosilních paliv, ale odstartovalo globální oteplování planety, které je spolu se zvyšující koncentrací oxidu uhličitého jedním z největších témat dnešní doby. [1] Zároveň v důsledku nárůstu populace dochází k rozšiřování a zahušťování zástavby, která způsobuje úbytek přirozených zelených ploch. Hustá infrastruktura pak nenechává prostor pro sázení zeleně v úrovni terénu, a tak roste zájem o realizaci zelených stěn a střeš. Ty díky svým ekologickým, zdravotním a estetickým vlastnostem pozitivně ovlivňují život v městských oblastech. Například rozpálené domy a komunikace v letních vedrech pro člověka nevytváří příjemné prostředí. Nebo také dalším problémem dnešní doby je sucho a nedostatek vody, která se při deštích do takovýchto ploch nezasakuje, a naopak rychle odtéká. [2] Zeleň pak redukuje teplotu, pohlcuje světlo a hluk, zadržuje vodu a čistí vzduch.

Nejen že jsou Vertikální lesy ve všech těchto aspektech prospěšné, ale opravdu si dokáží získat pozornost člověka. Já sama jsem před rokem byla v Itálii a stavba Bosco Verticale si získala můj obdiv. Zároveň ale při pohledu na tuto pořád ještě poměrně netradiční stavbu, se mi vybavilo mnoho otázek.

Bakalářská práce je rozdělena do tří základních částí. V první části je cílem představit varianty řešení ozelenění fasád a jejich vliv na vlastnosti budovy. V druhé části je práce zaměřena na analýzu



Obrázek 1.1 . – Bosco Verticale

inovativní italské stavby Bosco Verticale. Zabývá se jejím konstrukčním řešením a řešením problematiky spojené s instalací vegetace. Praktická část pak navazuje návrhem vlastní balkónové konstrukce s vegetací na základě získaných poznatků.



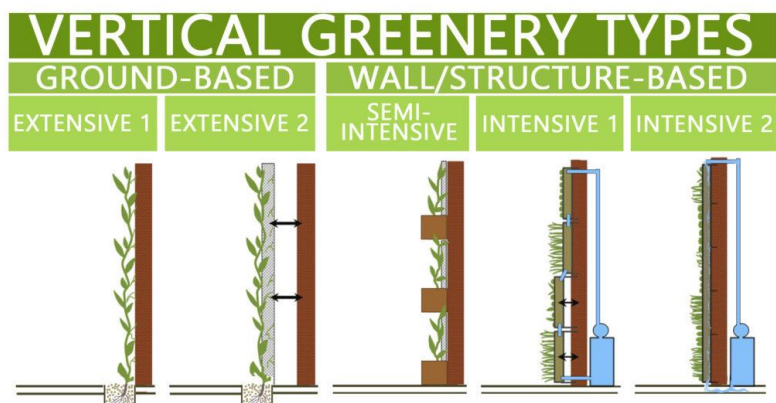
Obrázek 1.2 . - Liuzhou Forest City

2. Typologie zelených fasád

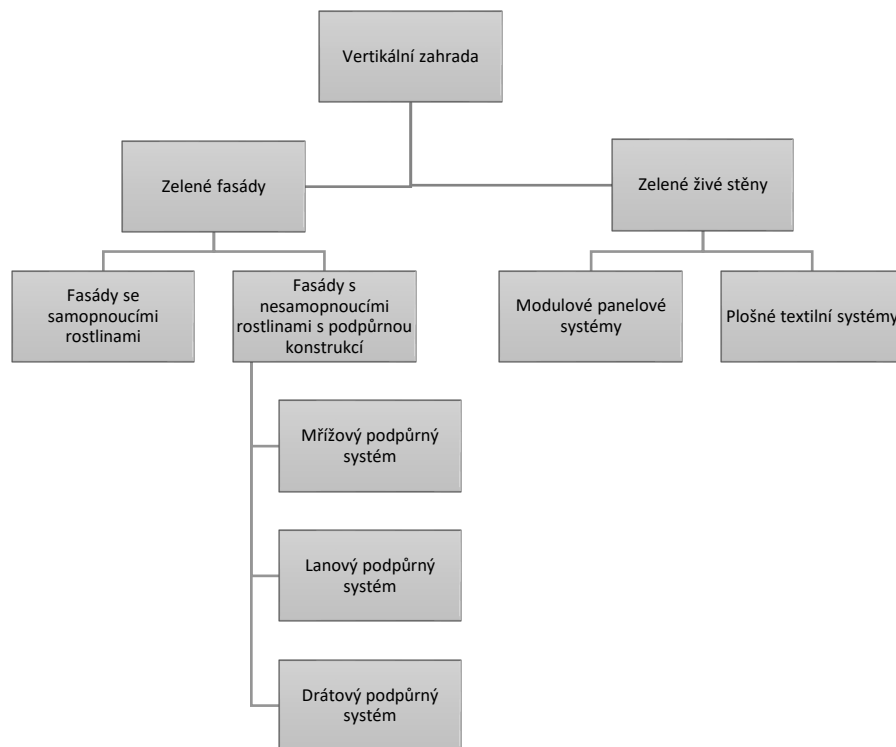
Zatím co v češtině se pro ozelenění fasád často používá zjednodušené pojmenování zelené fasády, tak v zahraničních publikacích se používá název Vertikální zahrady, které se pak dále člení.

Variant, jak rozdělit vertikální zahrady existuje několik a tato práce bude vycházet z definic uvedených v článku *The Effect of Green Facades in Landscape Ecology* publikovaného ve vědeckém časopisu *Procedia Environmental Sciences*. [3] Tento článek říká, že vertikální zahrady lze rozdělit na dvě hlavní kategorie: zelené fasády a zelené živé stěny. Zelené fasády tvoří popínavé rostliny, které rostou buď přímo na stěně, nebo mezi speciálními podpůrnými konstrukcemi. Naproti tomu zelené živé stěny se skládají z různých nádob, pěstebních medií, vegetace a zavlažovacích systémů.

Další možností je dle společnosti Green roof technology dělení obdobné, jako známe u zelených střech na extenzivní, polointenzivní a intenzivní stěny. [4] Extenzivní a polointenzivní stěny jsou tvořeny popínavými rostlinami. Rozdíl mezi nimi spočívá v tom, že u extenzivních stěn jsou rostliny zakořeněny u paty stěny (obr.2.0.1.), kdežto v případě polointenzivních stěn rostliny nerostou od země, ale jsou zasazeny do boxů připevněných k fasádě budovy (obr.2.0.1.). Intenzivní zelené stěny se skládají z modulových pěstebních buněk a rostliny jsou tak zasazeny po celé ploše fasády (obr.2.0.1.).



Obrázek 2.0.1. - Typy zelených stěn [4]



Obrázek 2.0.2. - Rozdělení vertikálních zahrad

2.1. Zelené fasády se samopnocícími rostlinami

Rostliny se pěstují buď přímo v zemi (obr.2.1.1.vlevo), nebo v květináčích umístěných u stěny (obr.2.1.1.vpravo), kde jsou i zavlažovány a hnojeny. Samopnocící rostliny mají malé úponky, díky kterým jsou schopné se ukotvit k drsnému podkladu a nepotřebují žádnou pomocnou konstrukci. Ideálním podkladem je hrubé zdivo z kamene, režných cihel, nebo hrubá omítka. Nevýhodou těchto rostlin je, že mohou narušit stěnu, mohou způsobovat potíže při údržbě budovy a nesnadno se odstraňují. Další nevýhodou pak může být doba, která se uvádí 3-5 let, než vegetace pokryje fasádu, anebo v případě požadovaného konkrétního tvaru, nutná neustálá údržba ve formě zastřihávání. Naopak výhodou tohoto systému je, že se jedná o jednoznačně nejjednodušší a nejlevnější způsob ozelenění fasády. [5] [3]



Obrázek 2.1.1. - Zelené fasády se samopnocícími rostlinami [8]

2.2. Zelené fasády s nesamopnoucími rostlinami

2.2.1. Systém mřížových panelů

Tento systém využívá trojrozměrnou konstrukci, která poskytuje rostlinám horizontální i vertikální podporu. Trojrozměrné panely jsou vyrobené z pozinkovaných svařovaných ocelových drátů a skládají se z čelní mřížky a ze sekundární vrstvy doplňkových diagonálních podpěr. Jednotlivé panely se dají spojovat a skládat na sebe, pro vytvoření velkých ploch a libovolných tvarů.

[3]



Obrázek 2.2.1. - Mřížový systém [20]

2.2.2. Kabelový a lanový systém

Kabely se většinou používají pro rychleji rostoucí popínavé rostliny, a naopak lanové sítě jsou určeny pro podporu pomaleji rostoucích rostlin, které vyžadují oporu v menších rozstupech. Systémy se skládají z ocelových lan s vysokou pevností v tahu, kotev a doplňkového vybavení. Z lan lze vytvářet téměř jakékoliv tvary a vzory pomocí křížových svorek. [3]



Obrázek 2.2.2. - Detail kotvení lan [29]



Obrázek 2.2.3. - Lanový systém [30]

2.2.3. Drátový podpůrný systém

Drátový systém je dostatečně hustý, a proto je vhodný pro jemné rostliny s pomalým růstem. Systém může být buď celoplošný, tvořený jednou drátěnou sítí pokrývající celou plochu, anebo modulový. Modulový systém je z jednotlivých čtvercových, nebo obdélníkových panelů, které se skládají vedle sebe a jsou vytvořeny z kovového rámu s drátěným výpletem.



Obrázek 2.2.4. - Drátový systém plošný [22]



Obrázek 2.2.5. - Drátový systém modulový [22]

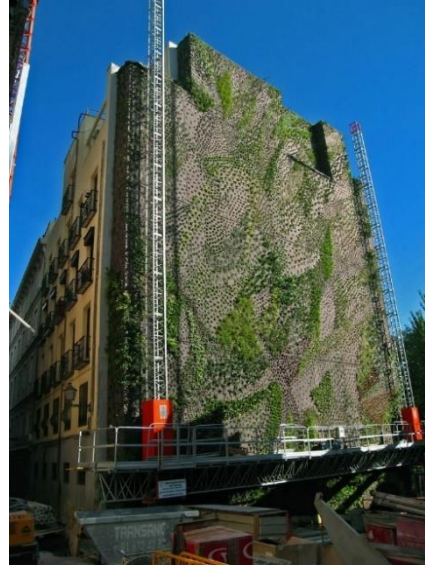
2.3. Zelené živé stěny

2.3.1. Plošný textilní systém

Průkopníkem tohoto systému je francouzský botanik Patrick Blanc a je založený na teorii, že rostliny ke svému životu nepotřebují půdu, ale stačí jim jen voda a minerály v ní rozpuštěné. Na stěnu je přichycena kovová konstrukce, která je podkladem pro PVC plachtu. Na ni jsou pak připevněny dvě vrstvy nasáklé zahradnické plstě sloužící jako podpora kořínků rostlin, které jsou uchyceny v zářezech po celé ploše stěny. Plst napodobuje mech, který roste na skalnatých stěnách a je napuštěna výživným roztokem. Systém funguje jako uzavřený okruh a je elektronicky ovládaný. Rostliny si vezmou potřebnou výživu a přebytečná vlaha je pak zachycena v odtokovém kanálku ve spodku konstrukce, odkud jde znovu do oběhu. Systém je díky tomu nenáročný na spotřebu vody a navíc jak Patrick Blanc dodává, oproti zeleným fasádám (rostliny rostou přímo z půdy a hledají v ní vláhu) u tohoto systému není riziko způsobení statických problémů a narušení konstrukce. [6]



Obrázek 2.3.1. - Muzeum Caixa Forum, Madrid [23]



Další variací je pak kombinace substrátu a textílie. Z hlediska konstrukce a upevnění je systém totožný s tím textilním, jen hlavním rozdílem je substrát uložený ve štěrbinách, nebo kruhových otvorech či kapsách pro rostliny. V podmínkách střední Evropy je tento systém spolehlivější, protože v mrazech substrát chrání rostliny před úhynem. Realizací těchto stěn se zabývá například rakouská společnost 90 DE GREEN.

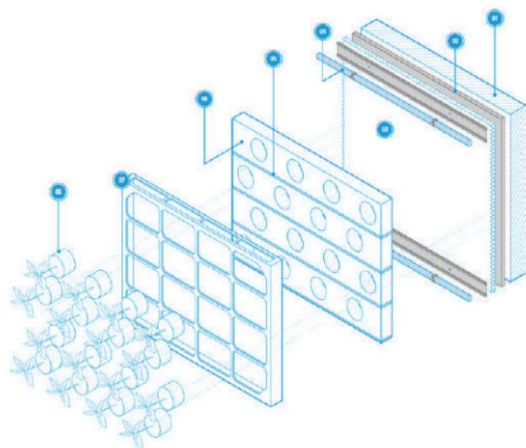


Obrázek 2.3.2. - Systém 90deGreen [24]

2.3.2. Modulové systémy

Stěna se skládá z jednotlivých modulů, v nichž je umístěný substrát pro pěstování rostlin a které lze připevnit na nosnou konstrukci systému, nebo přímo na stěnu objektu. Rostliny se často pěstují již dříve, takže po instalaci okamžitě poskytují zelený efekt. Naopak nevýhodou tohoto systému je, že vyžaduje více údržby a zavlažování, což je podstatně dražší než zelené fasády s použitím popínavých rostlin. Existuje mnoho modulových systémů a liší se například v použitém materiálu, nosné konstrukci, způsobu uložení na nosnou konstrukci, nebo výsledném vzhledu.

Jednou z variant je systém panelů, jehož ideálním příkladem je patentovaný systém BioTile české firmy Liko-S. Na stěně se vytvoří podpurná konstrukce ve formě provětrávaného roštu, na který se umístí drenážní fólie s filtrací. Pak následuje hliníková lišta, do níž se nacvakávají vegetační panely s hydrofilní minerální vlnou (obr.2.3.3.), která poskytuje rostlinám ideální podmínky pro růst a časem nedegraduje. Na závěr je přes panely nasazen plastový kryt. Výhodou tohoto systému je, že moduly lze přizpůsobit do jakéhokoli tvaru. Systém je zároveň vybavený automatickým patentovaným kapkovým zavlažováním, které je skryté uvnitř struktury živé stěny a díky němu lze pěstovat rostliny vyžadující různou úroveň závlahy hned vedle sebe. [7]



Obrázek 2.3.3. - Modulový panelový systém BioTile [7]

Druhou možností je systém poskládaný z květináčů, popř. truhlíků. Jako příklad lze použít systém Versa Wall XT americké firmy GSKy. Nosnou konstrukci tvoří hliníkový rám přikotvený přes hydroizolaci ke stěně. Na rám se pak ukotví soubor truhlíků, do nichž už se jen ukládají květináče s rostlinami (obr.2.3.4.). Výhodou tohoto systému je, že rostliny jsou předpěstované a ihned po instalaci vytváří požadovaný vzhled stěny. Naopak jako nevýhoda by se dalo brát, že většinou nelze vytvořit souvislou plochu, což ale lze cíleně použít pro dosažení určitého vzhledu. [8]



Obrázek 2.3.4. – Modulový systém Versa Wall XT [25]

2.3.3. Obvodové květináče

Jde o poměrně novou konstrukci a ne všechny zdroje ji klasifikují. Nicméně článek Vertical Greenery Systems for energy saving in buildings [9] tuto kategorii zmiňuje a řadí ji mezi intenzivní živé stěny, protože květináče jsou umístěny před fasádou a nejsou spojeny s půdou v zemi. [9] Květináče jsou projektovány na výsadbu větších rostlin, popř. stromů a dělají tak budovu určitým způsobem jedinečnou. Ovšem na rozdíl od předchozích konstrukcí způsobují velké zatížení a mají zásadní vliv na statiku budovy.

Jednou z nejstarších staveb, která má na balkónech umístěné obří květináče, je obytná budova Tower-Flower v Paříži postavená v roce 2004 (obr.2.3.5.). Jedná se o budovu se 30 byty, 10 nadzemními podlažími a třemi podzemními parkovacími podlažími. Název květinová věž vznikl díky vykonzolovaným balkónům, které jsou po celém obvodu doplněny stromy v květináčích. Na balkónech je celkem 380 květináčů, které jsou napevno zapuštěny do stropní desky (obr.2.3.6.) a kvůli redukci nadměrného zatížení jsou vyrobeny z vylehčeného betonu. V květináčích jsou zasazeny různé druhy bambusů, jejichž dlouhé listy fungují jako přírodní sluneční žaluzie a ve vánku příjemně šustí. Rostliny mají samostatný závlahový systém zabudovaný do kovového zábradlí. [10]



Obrázek 2.3.5. – Tower-Flower [26]



Obrázek 2.3.6. - Tower-Flower-detail desky [26]

Největší ohlas v posledních letech získala stavba Bosco Verticale navržená architektem Stefanem Boerim, který pozvedl vertikální zahrady na další úroveň. Stavba měla obrovský úspěch a vyvolala zájem i dalších států o výstavbu obdobných budov. Z tohoto důvodu bude Bosco Verticale podrobně popsáno v následující kapitole.

3. Bosco Verticale

Bosco Verticale je první projekt svého druhu na světě, který se nachází v Miláně v Itálii. V roce 2015 mezinárodní organizace Council on Tall Buildings and Urban Habitat vybrala Bosco Verticale jako nejkrásnější a nejinovativnější mrakodrap na světě.

Pro následující rozbor je jako zdroj zvolena výzkumná zpráva E. Giacomellové & M. Valagusa vydaná ve spolupráci s Radou pro výškové budovy a městská sídla CTBUH (The Council on Tall Buildings and Urban Habitat). Bosco Verticale bylo pozorováno a analyzováno již v rané fázi od června do října 2013 a od dubna do června 2014, kdy se stavba dokončovala.



Obrázek 3.0.1. – Bosco Verticale v Miláně [30]

3.1. Základní informace

Návrh: Ateliér Stefana Boeriho (Stefano Boeri, Gianandrea Barreca, Giovanni La Varra)

Investor: Hines Italia

Hlavní dodavatel: ZH General Construction Company

Výstavba: 2009-2014

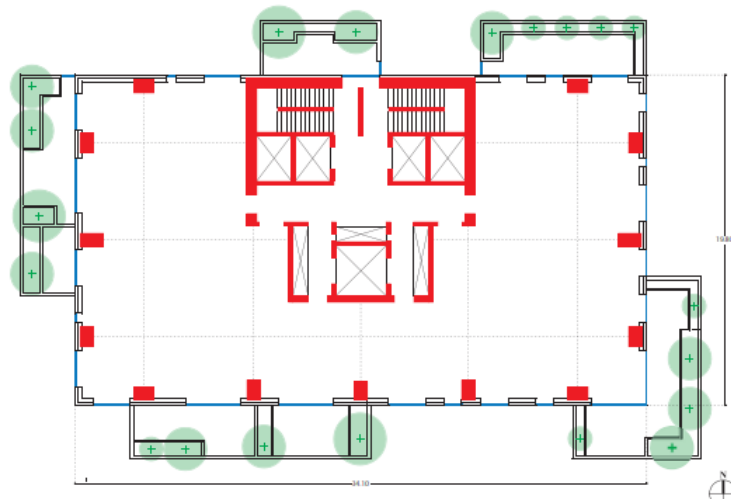
Bosco Verticale, v českém překladu vertikální zahrady, umístěné v milánské čtvrti Porta Nuova se skládá ze dvou rezidenčních věží a pro lepší orientaci jsou označeny písmeny D a E. Věž D o půdorysných rozměrech 32x26 metrů je vysoká 85 metrů a má 18 pater. Věž E má půdorysné rozměry 41x26 metrů a rovněž je i vyšší. Měří 117 metrů a má 27 podlaží plus 3 podzemní. Na balkónech bylo vysazeno celkem 900 stromů o výšce 3 a 6 m, spolu s 5 000 keři a 11 000 květinami. [11]



Obrázek 3.1.1. - Půdorys Bosco Verticale [24]

3.2. Konstrukční řešení

Analyzovaná budova E je řešena jako monolitický železobetonový skelet se ztužujícím jádrem. 13 nosných sloupů je rozmístěných po obvodě fasády, mimo rohy budovy, mají obdélníkový tvar a rozměry přibližně 80 x 120 cm. Ztužující jádro je umístěno u severní fasády a obsahuje dvě schodiště, tři výtahy a pět šachet pro mechanické, elektrické a vodovodní systémy (obr.3.2.1.). Jádro má plochu cca 160 metrů čtverečních, což představuje přibližně 24 % z celkové podlahové plochy podlaží.

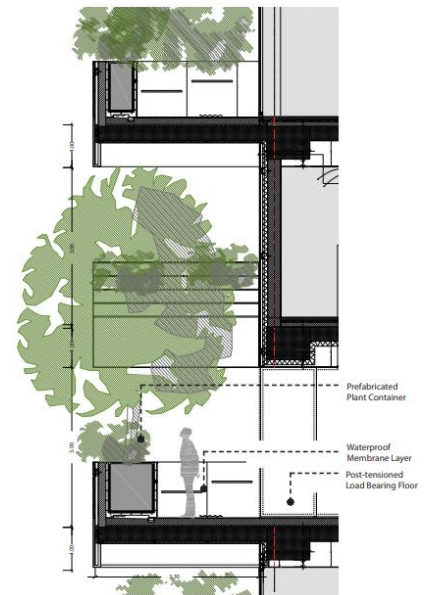


Obrázek 3.2.1. - Schéma svislých konstrukcí věže E [11]

Stropní desky jsou tlusté 28 cm a jsou z dodatečně předpínaného železobetonu. Pro dosažení potřebné tuhosti jsou nad sloupy vytvořeny průvlaky, které lze vidět v řezu (obr.3.2.3.), nebo na fotkách od firmy Peri, jejíž bednění bylo při výstavbě použito (obr.3.2.2.).



Obrázek 3.2.2. - Systémové bednění Peri [25]



Obrázek 3.2.3. - Řez balkónem [11]

Balkónová deska je stejně jako stropní deska tloušťky 28 cm a součástí je monolitická stěna na konci balkónu. Zatímco délka vykonzolování je shodně u všech balkónů 3,35 metrů, šířka se u jednotlivých tvarů balkónů liší a v některých případech je až 14 metrů. Tvar a rozmístění jednotlivých balkónů se opakuje každých 6 pater.

Obvodový plášť se skládá z lehčených cihelných bloků, tepelné izolace z minerální vlny, vzduchové mezery a šedého kamenného obkladu.

3.3. Použité technologie

I přes dobrý geologický profil a minimální vliv podzemní vody, bylo potřeba provést speciální geotechnický návrh, protože méně než 4 metry pod základy budov Bosco Verticale vedou dva tunely metra. Na základě studií, průzkumů a místních zkoušek, byla provedena analýza chování konstrukce během plánované výstavby nových budov. Během realizace pak byly tunely rovněž monitorovány, aby bylo možné kontrolovat, že chování odpovídá předpokladům a případně byly odhaleny neočekávané účinky. Dále bylo potřeba eliminovat vibrace a hluk způsobený konstrukcí metra. Proto byl navržen izolační systém ze spirálových ocelových pružin na frekvenci 3,5 Hz (obr.3.3.1.). [12]



Obrázek 3.3.1. - Izolační systém ze spirálových ocelových pružin [12]

Při stanovení nosnosti balkónu byla uvažována vlastní tíha konstrukce a tíha nejhlubšího květináče naplněného zeminou. Velké stromy jsou umístěny každé 3 metry a ve zbývajícím prostoru jsou doplněny keře a menší rostliny. Stromy ovšem mimo zatížení z hlediska hmotnosti představují zatížení především z hlediska síly větru, které přenáší na konstrukci. Zásadní součástí celého návrhu konstrukce tak bylo definovat dynamickou zátěž. Testy byly prováděny nejen na zmenšených modelech, ale i na modelu balkónu o skutečné velikosti. [11, p. 24]

Po botanické klasifikaci stromů, zaměřené zejména na určení maximální plochy koruny, bylo dalším důležitým krokem určit těžiště stromů a permeabilitu vzduchu. Experiment byl prováděn na modelu 1:100 v aerodynamickém tunelu v Polytecnico di Milano s cílem definovat místní povětrnostní jevy v okolí fasády. Dále bylo potřeba otestovat varianty uchycení stromů k nosné konstrukci. To ale nebylo na zmenšeném modelu možné, apřto další zkoušky byly prováděny v tunelu “Wall of Windy” na Floridské mezinárodní univerzitě, kde bylo možné testovat model v plném měřítku. Tento tunel obsahuje 12 ventilátorů a jedná se o největší a nejvýkonnější

univerzitní výzkumné zařízení, protože dokáže simulovat hurikán pátého stupně. Výsledkem těchto testů byl aerodynamický koeficient stromů skutečných rozměrů, potvrzující návrhové hodnoty zatížení a napětí, které bylo kladeno na úchytné systémy. Výsledné parametry byly stanoveny pro testovací rychlost 67 m/s , což je v oblasti Milána považováno za extrémní. [11, p. 24]

3.4. Konstrukční řešení fasády

3.4.1. Konstrukce fasády

Všechny balkónové desky jsou z dodatečně předpínaného železobetonu a na vnějším okraji jsou vytvořeny květináče na rostliny. Boční stěny květináče mají tloušťku 12 cm a jsou vysoké 1,1 metru od podlahy balkónu. Hloubka a šířka květináče se liší v závislosti na typu osazených rostlin. Pro velké stromy je využita maximální možná hloubka květináče 1,1 metrů a šířka je rovněž 1,1 metrů. V případě bylin je hloubka a šířka květináče minimálně 0,5 metru. (obr.3.4.1.) [11, p. 28]



Obrázek 3.4.1. - Přechod mezi různými hloubkami květináče [11] Obrázek 3.4.2. - Vrstva vláken mezi netkanou textílií [11]

Samotné květináče jsou tvořeny několika vrstvami. Vnitřní povrch betonu je celý pokrytý asfaltovou hydroizolací s fólií, která brání prorůstání kořenů. Další vrstvy tvoří dva filtry z netkané textilie, mezi kterými je vrstva vláken z polyamidu o tloušťce 2 cm (obr.3.4.2.). Tyto vlákna mají stejnou drenážní kapacitu a odolnost proti stlačení, jako běžné násypné drenážní materiály. Jejich největší výhodou je menší tloušťka a hmotnost. Poslední vrstvou je svařovaná ocelová síť na dně květináče, která slouží pro ukotvení kořenových systémů stromů. [11, p. 30]

Dalšími důležitými konstrukčními prvky jsou systémy pro upevnění stromů, které byly navrženy ve třech stupních: dočasný, základní a zesilující.

Dočasná vazba se skládá ze tří textilních lan obepínající kořenový systém stromu (obr.3.4.3.), které jsou pro ukotvení stromu provléknuty ocelovou mříží umístěnou na dně květináče. Tento systém je opravdu jen dočasný, protože pásy časem ztrácejí své napětí a jsou důležité především v počátcích životnosti, kdy kořeny stromů nejsou ještě dostatečně vyvinuté. [11, p. 25]

Základní vazba slouží jako jištění stromu proti pádu. Skládá se z ocelové lana, které je na jednom konci připevněno k vnitřní straně vnější stěny květináče a druhý konec je uchycený k desce balkónu vyššího podlaží. Součástí systému jsou ještě tři pružná lana, která jsou obepnuta okolo kmene stromu (obr.3.4.4.), tak aby strom v případě zlomení zachytily, ale zároveň mu nebránily v přirozeném kývání. [11, p. 26]



Obrázek 3.4.3. - Dočasná vazba [11]



Obrázek 3.4.4. - Základní vazba [11]

Zesilující vazba byla použita pro stromy v nejvyšších patrech, kde není možné připevnit základní vazbu a pro stromy v největrnějších polohách (obvykle rozích) stanovených na modelu ve větrném tunelu. Systém se skládá z ocelové klece (obr.3.4.5.), která obklopuje kořenový systém stromu a brání tak jeho vyvrácení. [11, pp. 26-27]



Obrázek 3.4.5. - Ocelová klec [11]



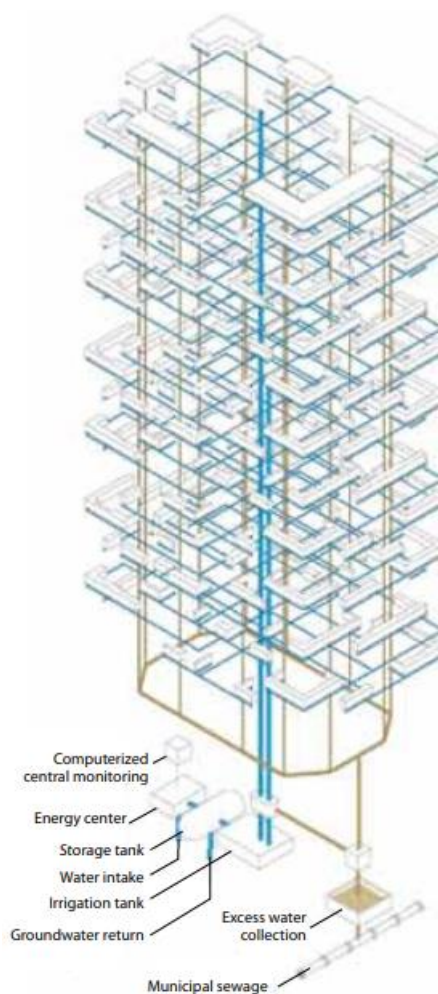
3.4.2. Zavlažovací systém

Zavlažovací systém lze rozdělit do čtyř hlavních částí: hlavní sítě, které přivádí podzemní vodu na balkóny; řídicí skupiny v květináčích, které regulují přívod vody; distribuční potrubí v květináčích a systémy kontroly vlhkosti.

Hlavní síť využívá k zavlažování podzemní vodu. V suterénu každé věže se nachází zásobníky vody, které jsou nepřetržitě doplňovány a pro případ výpadku jsou napojeny na městský vodovodní systém. Ze zásobníku je voda rozváděna do všech podlaží pomocí skupin čerpadel. Každá skupina čerpadel pak zásobuje jeden sektor. Nižší věž D je rozdělena na dva sektory, jeden s nízkým a druhý s vysokým hydraulickým tlakem. Vyšší věž E je rozdělena na tři sektory s nízkým, středním a vysokým hydraulickým tlakem. Každá skupina čerpadel má maximální průtočný výkon 6 m³/hod. Mezi zásobníkem vody a skupinami čerpadel je zařízení pro hnojení, které funguje na jednoduchém principu vyvážení dusíku, fosforu a draslíku. Každého v koncentraci 10 %. Zbytek roztoku (70 %) tvoří

voda. Zavlažovací trubky jsou vedeny po fasádě a nejsou izolovány. Proto pro ochranu před mrazem automatický systém potrubí při 0 °C vyprázdní a znovu naplní, když teplota stoupne na 5-6 °C. [11, p. 32]

Kontrolní skupiny přijímají vodu z hlavní rozvodné sítě a regulují průtok vody uvnitř květináče. Každá kontrolní skupina se skládá z elektromagnetického ventilu, filtrační jednotky a regulátoru tlaku. Tyto prvky jsou umístěny v krabici a jsou částečně zahrabány substrátem (obr.3.4.7.). Každý květináč má tedy jeden elektromagnetický ventil, který funguje nezávisle na ostatních. [11, p. 32]



Obrázek 3.4.6. - Závlažový systém fasády [27]



Obrázek 3.4.7. - Kontrolní skupina umístěná v květináči [11]

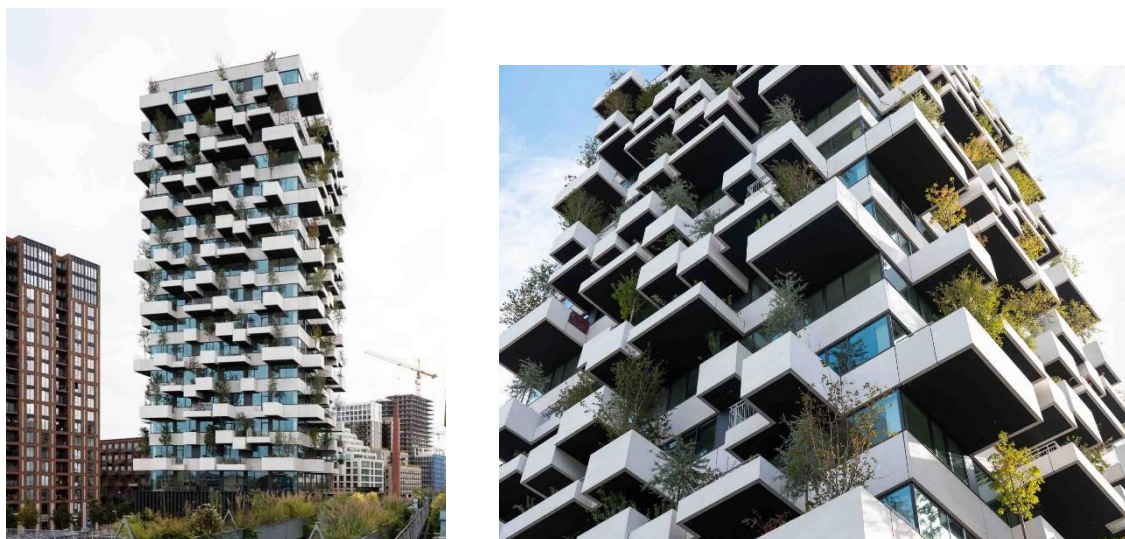
Distribuční systém v květináčích funguje na principu kapkového závlahového systému, který je tvořený jednoduchou trubicí s dírkami rozvádějící vodu na povrchu substrátu. Odkapávací potrubí je chráněno proti pronikání kořenů. [11, p. 33]

Systém regulace vlhkosti spravuje všech 280 ventilů rozmístěných v květináčích po celé fasádě. Každý ventil dostává vlastní příkazy otevřít/zavřít pro úpravu průtoku vody, které jsou řízeny průmyslovým počítačem. Z tohoto důvodu jsou v každém květináči umístěny dva senzory vlhkosti. Jeden senzor kontroluje vlhkost substrátu v blízkosti distribučního bodu a druhý je naopak na druhé straně. Systém slouží ke kontrole účinnosti zavlažovacího plánu a zároveň k odhalení případných závad závlahového systému. [11, p. 33]

3.5. Navazující projekty Stefana Boeriho

Bosco Verticale, jakožto první vertikální les, sklidilo obrovský úspěch a vzbudilo zájem i dalších zemí o obdobnou stavbu. Studio Stefana Boeriho má již na seznamu další dva dokončené projekty a pracuje na několika dalších projektech po celém světě.

Jeden z dokončených projektů je Trudo Vertical Forest (obr.3.5.1.) v nizozemském Eindhovenu, který je jako vůbec první vertikální les určený pro sociální bydlení. Věž je vysoká 70 metrů a má 19 pater v nichž je rozmístěno celkem 125 bytů. [13]



Obrázek 3.5.1. - Trudo Vertical Forest v Nizozemsku [13]

Dalším již dokončeným projektem je Easyhome Huanggang Vertical Forest City (obr.3.5.2.). Komplex, který se nachází ve městě Huanggang čínské provincie Hubei, se skládá z pěti věží z nichž dvě jsou navrženy podle modelu Bosco Verticale. Tento projekt přichází s novým typem fasády kombinující otevřené balkóny a uzavřené lodžie, které narušují pravidelnost fasády. [14]



Obrázek 3.5.2. - Easyhome Huanggang Vertical Forest City [14]

Zároveň mnoho dalších projektů je rozpracovaných. Patří mezi ně například 105 metrů vysoká věž Wonderwoods (obr.3.5.3.a), která je plánována v centru nizozemského Urechtu, The Tower of Cedar (obr. 3.5.3.b) ve švýcarském Lausanne, nebo Dubai Vertical Forest (obr.3.5.3.c).



Obrázek 3.5.3. – a) Wonderwoods; b) The Tower of Cedar c) Dubai Vertical Forest

Ovšem asi nejzajímavější je inovativní projekt prvního lesního města Liuzhou Forest City (obr.3.5.4.). Liuzhou je čínské město s asi 1,5 milionem obyvatel v hornaté provincii Kuang-si, která je kvůli přelidnění jednou z nejvíce smogem postiženou oblastí. V současné době se realizuje územní plán, který pokrývá přibližně 175 hektarů podél řeky Liujiang. [15]



Obrázek 3.5.4. - Liuzhou Forest City [15]

4. NÁVRH VLASTNÍ KONSTRUKCE BALKÓNU

Tato část práce je zaměřena na vlastní návrh železobetonové monolitické konstrukce balkónu, který bude součástí novostavby v pražské části Modřany. Jedná se o novostavbu bytového domu s 12 nadzemními podlažími, s komerčním využitím 1.NP a 2.NP a 4 podzemními podlažími garážových prostor. Objekt je založen na hlubinných základech a nosný systém budovy je převážně stěnový. Mezi 2.NP a 3.NP se mění nosný systém ze sloupového na stěnový a stěny 3.NP fungují jako železobetonové stěnové nosníky podepřené sloupy 2.NP. Stropní desky jsou navrženy jako železobetonové monolitické obousměrně pnuté. Navrhovaný balkón má horní hranu desky ve výšce +32,4 m.



Obrázek 4.0.1. - Referenční stavba-Bytový dům v Modřanech



Obrázek 4.0.2. - Schéma tvaru typického podlaží referenční budovy

Návrh se zabývá nejvýše umístěným balkónem s horní hranou desky +32,4 m. Balkónová deska tloušťky 250 mm je konzolově vyložena přes tepelně-izolační prvek (ISOPRO – Jordahl & Pfeifer) a na konci balkónu je vytvořený květináč pro rostliny. Nosnou konstrukci květináče tvoří dvě železobetonové stěny tloušťky 150 mm a výšky 1000 mm (obr.5.1.2.). Na obou stranách, 1,9 m od okraje, je zasazený strom vysoký 5 m s uvažovanou referenční plochou koruny 7 m². Stromy jsou opatřeny bezpečnostní ocelovou klecí proti vyvrácení vlivem působícího větru. Klec je uchycena bodově ke každé stěně dvěma úchyty a liniově k balkónové desce. Ve zbylé ploše květináče jsou zasazeny menší keře a květiny, jejichž vliv je zanedbán.

Materiály:

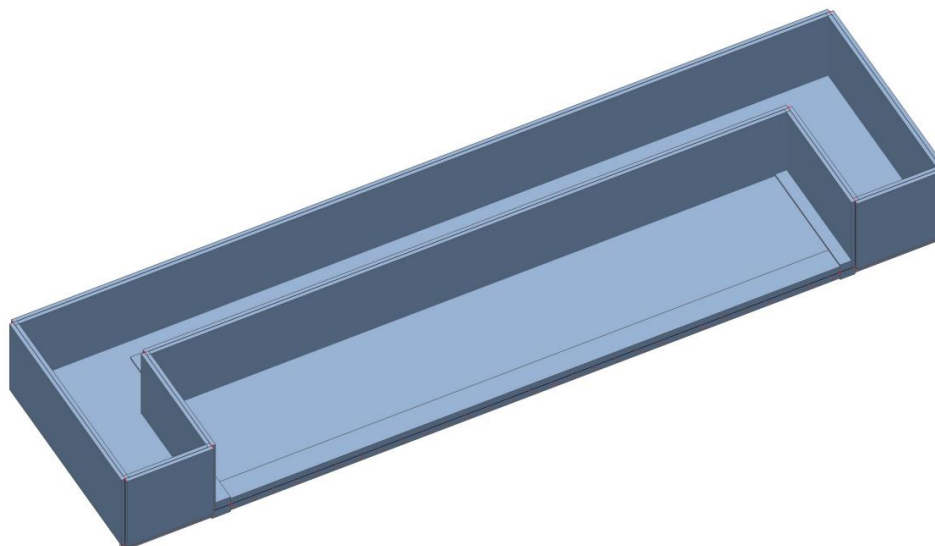
Konstrukce je navržena z betonu třídy C30/37 – XC4 – XF1 a ocelové výztuže B 500 B .

Krycí vrstva výztuže:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\} = \\ = \max\{12; 25; 10\} = 25 \text{ mm}$$

4.1. GEOMETRIE BALKÓNU



Obrázek 4.1. - Model balkónu

- Výkres tvaru viz příloha č .1

4.2. ZATÍŽENÍ

Podrobný výpočet zatížení viz příloha č .2

4.2.1. OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ

- Podlaha balkónu $g_k = 1,75 \text{ kN/m}^2$
- Zemina $\sigma_{zem,dno,k} = 20 \text{ kN/m}^2$

$$\sigma_{zem,stěny} = 12,8 \text{ kN/m}^2$$

4.2.2. ZATÍŽENÍ SNĚHEM

$$s = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

4.2.3. ZATÍŽENÍ VĚTREM

$$q_b = 0,39 \text{ kN/m}^2$$

Deska

	C_{pe}	W_e
A	-0,6	-0,6
B	-1,3	-1,3
C	-1,4	-1,4

Stěny

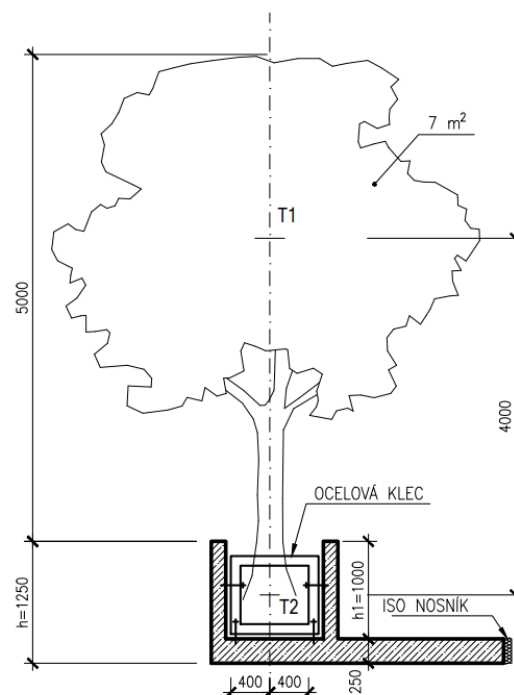
	C_{pe}	W_e
A	-1,4	-1,4
B	-1,1	-1,1
C	-0,5	-0,5
D	1	1,0
E	-0,5	-0,5

4.2.4. UŽITNÉ ZATÍŽENÍ

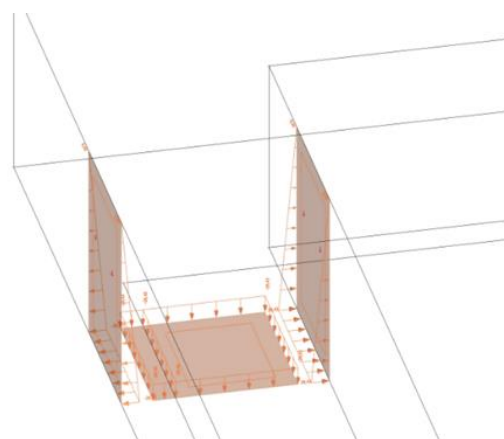
$$q_k = 3 \text{ kN/m}^2$$

4.2.5. ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÉ STROMY

- 1) Vlastní tíha stromu
 - hmotnost stromu 3 000 kg
 - roznášecí plocha $A_{rozn.} = 0,8 \times 0,8 \text{ m}$



Obrázek 4.2.1. - Řez květináčem



Obrázek 4.2.2. - Schéma zatížení květináče vlastní tíhou stromu

a) zatížení na dno květináče: $f_{strom} = \frac{m_{strom} * g}{A} = \frac{3000 * 9,81}{0,8 * 0,8} = 45,9 \text{ kN/m}^2$

b) zatížení na stěny květináče: $f_{strom, stěny} = f_{strom} * K_r = 45,9 * 0,64 = 29,4 \text{ kN/m}^2$

2) Zatížení od větru

- uvažovaná referenční plocha koruny stromu $A_{ref} = 7 \text{ m}^2$

$$v_m = 1,045 * 1,0 * 25 = 26,13 \text{ m/s}$$

$$c_r(z = 38,4) = 0,215 * \ln\left(\frac{38,4}{0,3}\right) = 1,045$$

$$q_p(z = 38,4) = [1 + 7 * 0,214] * \frac{1}{2} * 1,25 * 26,17^2 = 0,39 \text{ kN/m}^2$$

$$I_v = \frac{1,0}{1,0 * \ln\left(\frac{38,4}{0,3}\right)} = 0,206$$

	C_{pe}	w_e	F_{we}	M_{we}
A	-1,4	-1,46	-10,21	-35,75
B	-1,1	-1,15	-8,02	-28,09
C	-0,5	-0,52	-3,65	-12,77
D	1	1,04	7,29	25,53
E	-0,5	-0,52	-3,65	-12,77

$$w_e = q_p(z) * c_p$$

$$F_{w,e} = c_s * c_d * w_e * A_{ref}$$

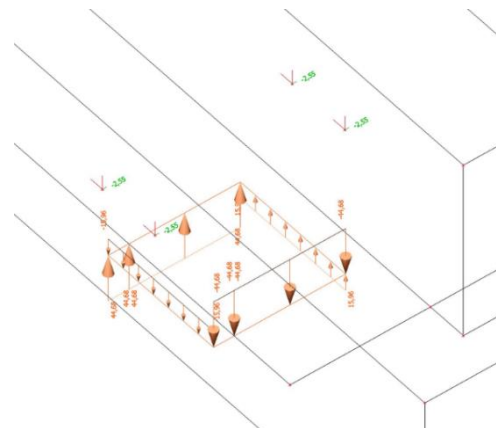
$$M_w = F_{w,e} * 4,0$$

- předpoklady kotvení klece:

1) klec je 2x na každé straně bodově uchycena ke stěně květináče $\rightarrow F_1 = \frac{F_{w,e}}{4}$

2) klec je liniově uchycena ke spodní desce květináče $\rightarrow f_2 = \frac{M_w}{2 * h_t}$

	F1	f2
A	-2,55	-44,68
B	-2,01	-35,11
C	-0,91	-15,96
D	1,82	31,92
E	-0,91	-15,96



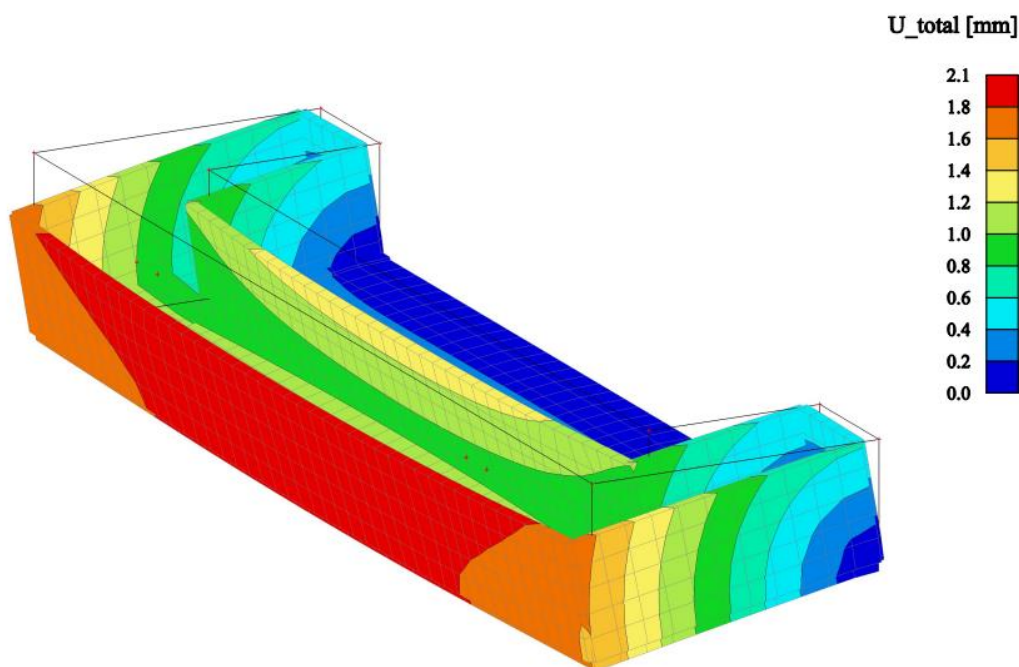
Obrázek 4.2.3. - Zatížení ocelové klece

4.3. VÝPOČET A OVĚŘENÍ VÝSLEDKŮ

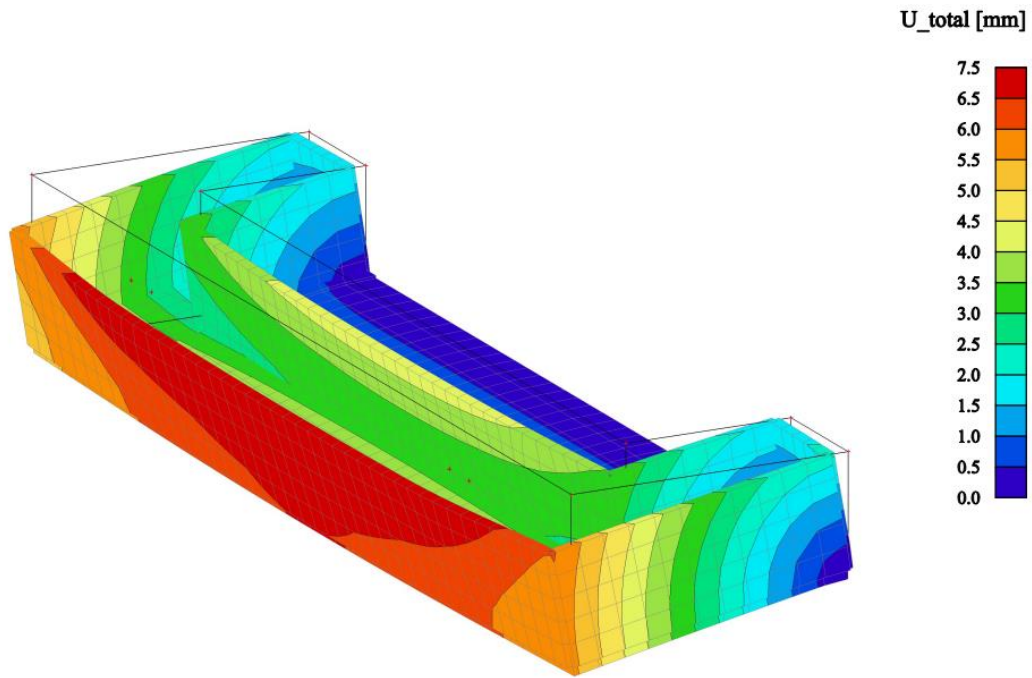
Výpočet byl proveden v programu Scia Engineer 21.1 . a byly vytvořeny kombinace pro MSÚ a MSP. Zatížení bylo rozděleno do 8 zatěžovacích stavů, které byly dále rozděleny do 4 skupin zatížení.

Zatěžovací stav		Skupina zatížení
Ozn.	Název	
ZS1	Vlastní tíha	Stálé
ZS2	Podlaha balkónu	
ZS3	Zemina	
ZS4	Tíha stromu	
ZS8	Užitné	Proměnné
ZS5	Sníh	Sníh
ZS6	Vítr	Vítr
ZS7	Vítr působící na strom	

Pro kontrolu správného zadání konstrukce do programu bylo použito grafické znázornění deformace od jednotlivých zatěžovacích stavů a celková deformace konstrukce. Grafické znázornění vyšlo dle předpokládaných reálných deformací a lze s výsledky pokračovat v dalších výpočtech.



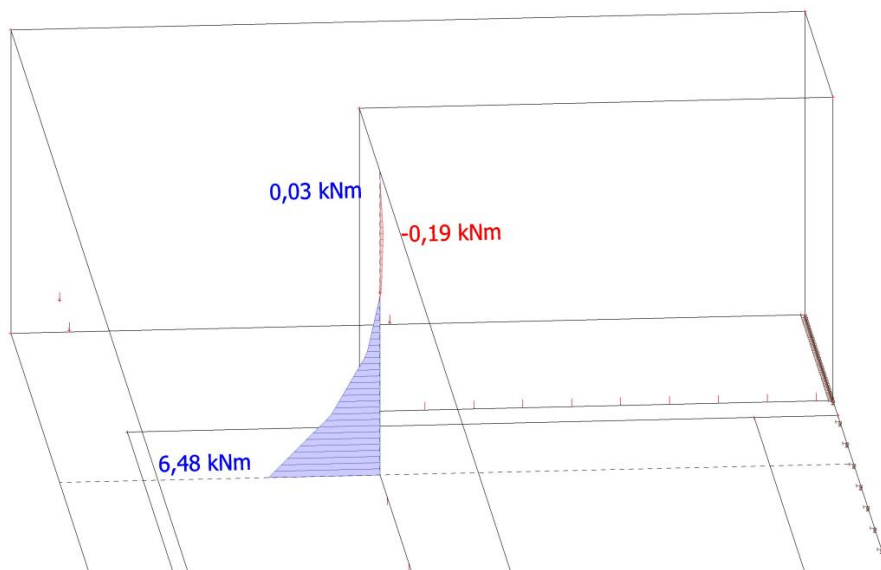
Obrázek 4.3.1. - Deformace od vlastní tíhy



Obrázek 4.3.2. - Celková deformace

Další možností kontroly je provedení ručního výpočtu a porovnání s výsledky softwaru, které byly získány vytvořením integračního pásu. Pro porovnání byl pás umístěn v místě stromu a byla zvolena zatěžovací skupina stálého zatížení, protože obsahuje největší množství dílčích zatížení. Na stěny květináče působí trojúhelníkové zatížení od vlastní tíhy zeminy $f_{zem, stěny} = 12,8 \text{ kN/m}^2$ a zatížení od vlastní tíhy stromu $f_{strom, stěny} = 29,4 \text{ kN/m}^2$.

$$M_{y, stěna} = \frac{1}{6} * (12,8 + 29,4) * 1,0^2 = 7,03 \text{ kNm}$$

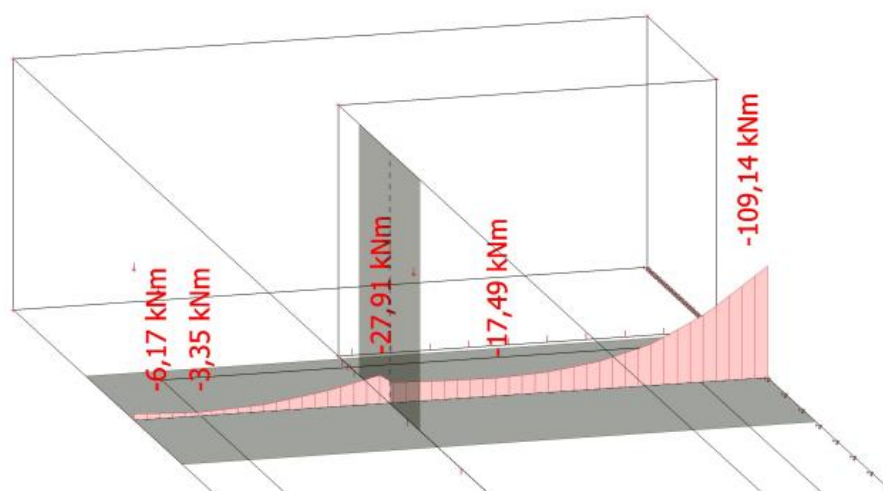


Obrázek 4.3.3. - Průběh M_y na integračním pásu stěny květináče

Ručně vypočítaný moment 7,03 kNm se přibližně shoduje s hodnotou získanou v programu 6,48 kNm. Odchylka může být způsobena tím, že v ručním výpočtu byla uvažována konzola, ale ve skutečnosti stěna spolupůsobí s okolními konstrukcemi.

Pro kontrolu momentu na desce v místě vykonzolování byl vykreslen moment od stálého zatížení zeminou a podlahou balkónu. Výsledný moment se skládá z momentů vyvolaných zatížením na desce a z dvou momentů ze stěn, které mají stejnou velikost, ale opačnou orientaci, takže by se měli navzájem teoreticky vyrušit. V místě květináče rovněž působí na desku zatížení od vlastní tíhy zeminy $f_{zem,deska} = 20,0 \text{ kN/m}^2$ a vlastní tíhy stromu $f_{strom,deska} = 45,9 \text{ kN/m}^2$ v délce 1,0 m. Dále na desku působí zatížení od podlahy $f_{podlaha} = 1,75 \text{ kN/m}^2$ balkónu na délce 1,7 m. Celková délka konzoly je 3,0 m.

$$M_{y,deska} = (20,0 + 45,9) * 1,0 * \left(3,0 - \frac{1,0}{2}\right) + 1,75 * \frac{1,7^2}{2} = 135,4 \text{ kNm}$$

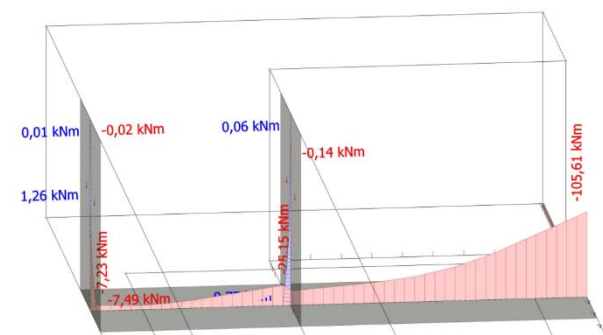


Obrázek 4.3.4. - Průběh M_y na integračním pásu desky

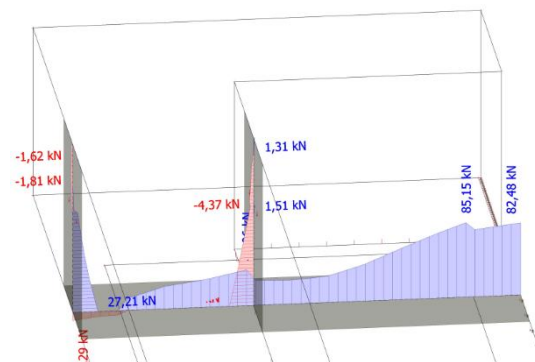
Výsledný moment 135,4 kNm se mírně liší od výsledné hodnoty programu 109,14 kNm, což může být způsobeno tím, že zatížení vlastní tíhou stromu je ve skutečnosti roznášeno do celé konstrukce.

4.4. NÁVRH ISO-NOSNÍKU

Železobetonová balkónová deska tloušťky 250 mm je napojena na stropní konstrukci pomocí Jordahl & Pfeifer ISO-nosníku ISOPRO A -IP, který zajišťuje přerušování tepelného mostu a přenesení vnitřních sil. Dle momentu a posouvající síly působící ve vetknutí pro kombinace MSÚ a MSP byl navržen ISO-nosník ISOPRO A - IP 100. Tento nosník byl dále posouzen dle podkladů výrobce. [16]



Obrázek 4.4.1. - Průběh M_y pro kombinaci MSÚ



Obrázek 4.4.2. - Průběh V_z pro kombinaci MSÚ

4.4.1. POSOUZENÍ PRVKU

Vnitřní síly vyvolané zatížením: $m_{Ed} = 105,6 \text{ kNm}$

$$V_{Ed} = 82,5 \text{ kN}$$

Prvek ISOPRO A -IP 100 Q8, cv 35, h = 250 mm: $m_{Rd} = 114,4 \text{ kNm} > m_{Ed} = 105,6 \text{ kNm}$

$$V_{Rd} = 92,7 \text{ kN} > V_{Ed} = 82,5 \text{ kN}$$

Dalším důležitým bodem je dilatace. Dle katalogu výrobce je pro nosník ISOPRO A -IP 100 Q8 maximální přípustná délka dílce 11,3 m. Navrhovaná konstrukce balkónu je dlouhá 11,0 m a nebylo tedy potřeba navrhovat dilatační spáru.

MAXIMUM PERMISSIBLE CLEARANCE BETWEEN EXPANSION JOINTS

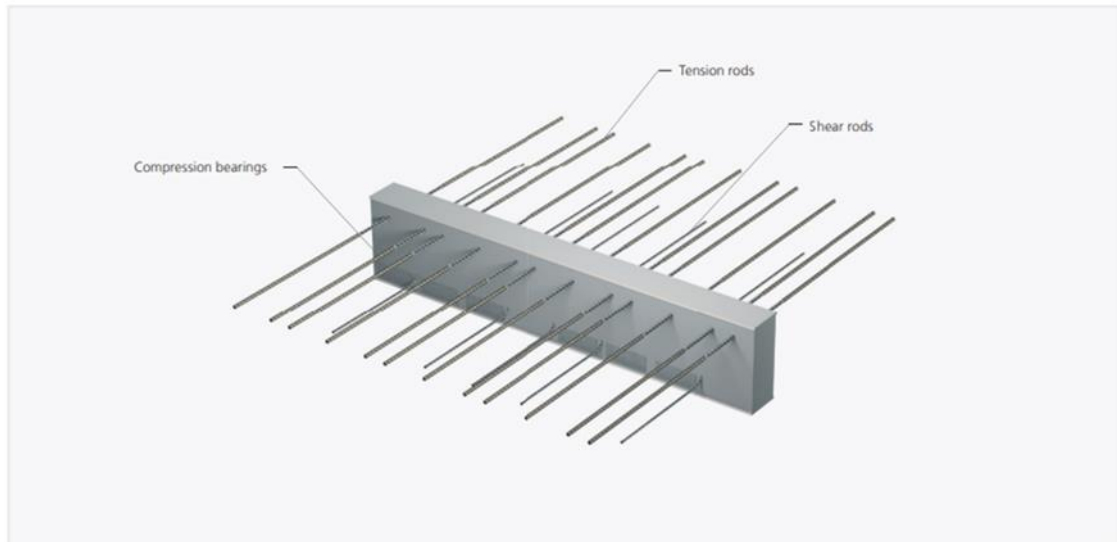
ISOPRO®	A-IP 10 to A-IP 80		A-IP 85 to A-IP 100	A-IPT 110, A-IPT 150	A-IPT 160
Shear force capacity	Standard to Q10, Q8X, Q10X	Q12	Standard to Q12 Q8X, Q10X	Q10 to Q14	Q10 to Q14, Q12X
Clearance between joints e [m]	13,00	11,30	11,30	10,10	9,2

Obrázek 4.4.3. - Maximální délka dílce

4.5. NÁVRH VÝZTUŽE

4.5.1. Výztuž ISO-nosníku

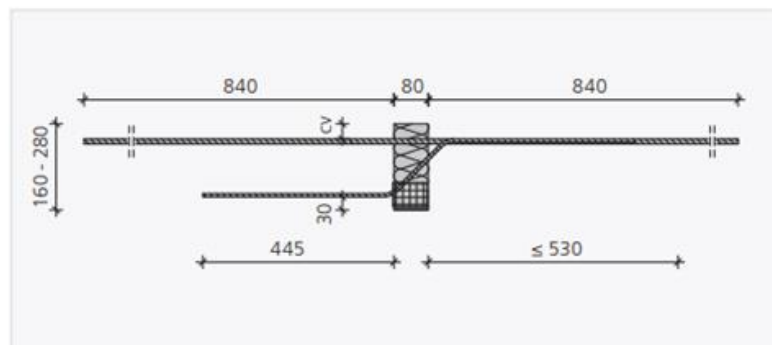
ISOPRO® A-IP



Obrázek 4.5.1. - ISO-nosník ISOPRO A-IP

Množství výztuže ISO-nosníku vztahené na jeden metr je dáno výrobcem. Taženou výztuž tvoří 14 prutů průměru 12 mm, smykovou výztuž tvoří 6 prutů \varnothing 8 mm a další součástí ISO-nosníku je 8 tlakových ložisek.

ISOPRO® A-IP 85 TO A-IP 100

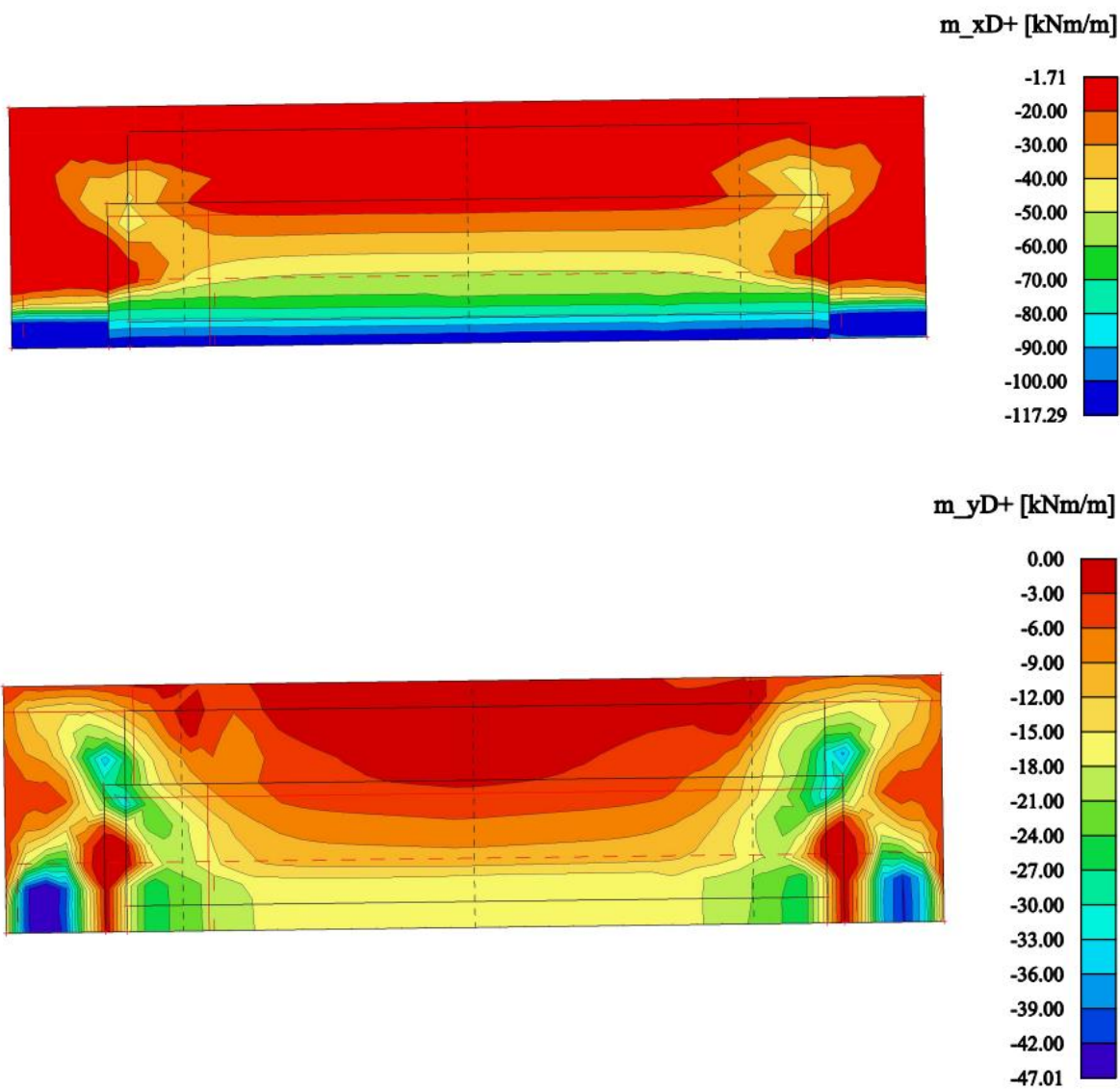


ISOPRO® A-IP 85 to A-IP 100 – Shear force capacity standard, Q8
Tension rod \varnothing 12 – Shear rod \varnothing 8

Obrázek 4.5.2. - Struktura ISO-nosníku

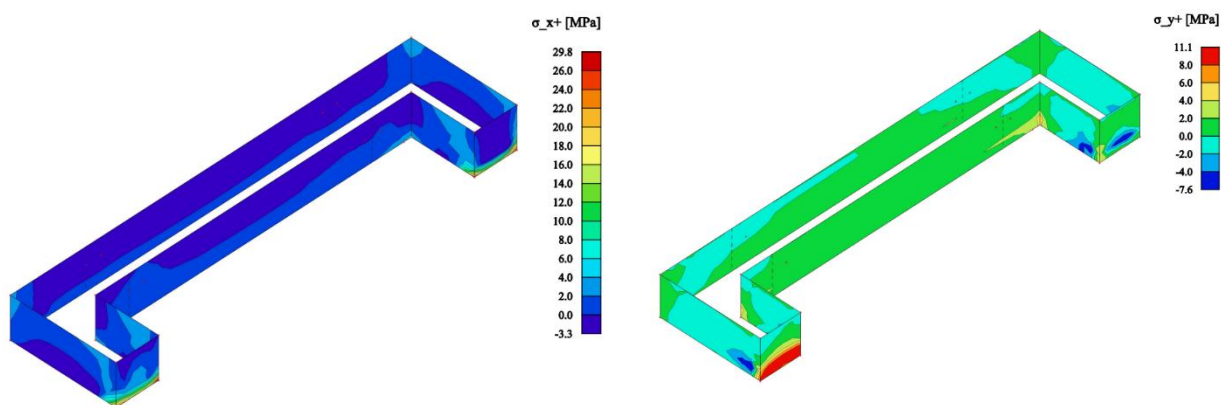
4.5.2. Výztuž desky

Výztuž desky byla navržena rovněž pomocí programu Scia Engineer na kombinaci zatížení MSÚ. Zásadní je návrh výztuže u horního povrchu, protože tam je deska tažená. Spodní povrch desky je tlačný a vyhoví síť 12x150x150 mm. Pro horní povrch desky bylo nutno zvýšit průměr a navrhnout síť 14x150x150 mm.

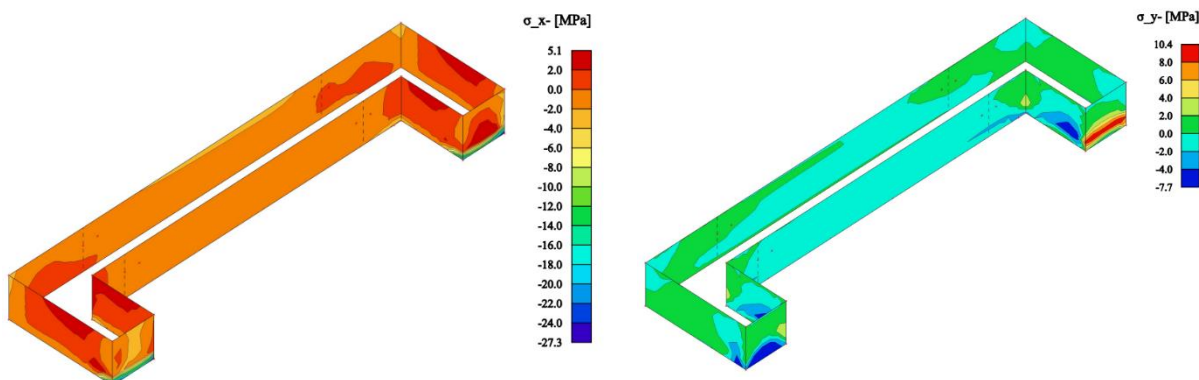


Obrázek 4.5.3. – Návrhový moment ve směru x a y při horním povrchu

4.5.3. Výztuž stěn květináče



Obrázek 4.5.4. - Napětí na vnitřním povrchu stěn květináče



Obrázek 4.5.5. - Napětí na vnějším povrchu stěn květináče

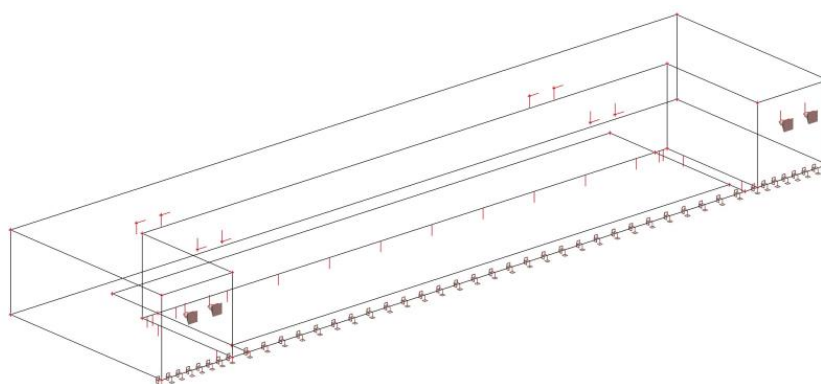
Stěny květináče jsou tenké a použití klasické betonářské výztuže by bylo poměrně komplikované vzhledem k dodržení krycí vrstvy výztuže. Kvůli vyššímu stupni vlivu prostředí je požadovaná krycí vrstva 35 mm.

Pro tenkostěnné prvky se tak nabízí jako výhodné řešení aplikace vláknobetonu. Vláknobeton má základní strukturu prostého betonu doplněnou vlákny z různých materiálů a různých tvarů, která strukturu ztužují a vylepšují některé jeho vlastnosti, jako je například pevnost v tahu. Mezi další výhody použití vláknobetonu patří odstranění procesu vázání výztuže, zkrácení doby realizace a snížení potřebného počtu pracovníků, čímž se šetří peníze. Použitý by mohl být například drátkobeton neboli beton s rozptýlenými ocelovými vlákny. Ovšem nevýhodou ocelových vláken je riziko koroze a mechanického poškození hydroizolace umístěné na vnitřní straně květináče vyčnívajícími drátky. Tyto nevýhody lze odstranit použitím nekovových vláken, jako jsou například skelná vlákna. Skelná vlákna byla vyvinuta primárně právě pro tenké betonové deskové konstrukce, u kterých bylo zároveň potřeba omezit hmotnost.

Dalším možným řešením je použití ultravysokopevnostního betonu, zkráceně UHPC. Tyto betony se vyznačují nejen vysokou pevností v tlaku, která se pohybuje v rozmezí 150-250 MPa, ale rovněž i poměrně vysokou pevností v tahu. Díky tomu je lze použít pro tenkostěnné nevyztužené prvky a tloušťka stěny balkónu by dokonce mohla být zmenšena na 100 mm. Výhodou tohoto betonu je rovněž dlouhá životnost. Ta se odhaduje na více než 200 let a je dána především špičkovou recepturou, díky které UHPC betony odolávají všem vlivům prostředí i v nejvyšších stupních. [17]

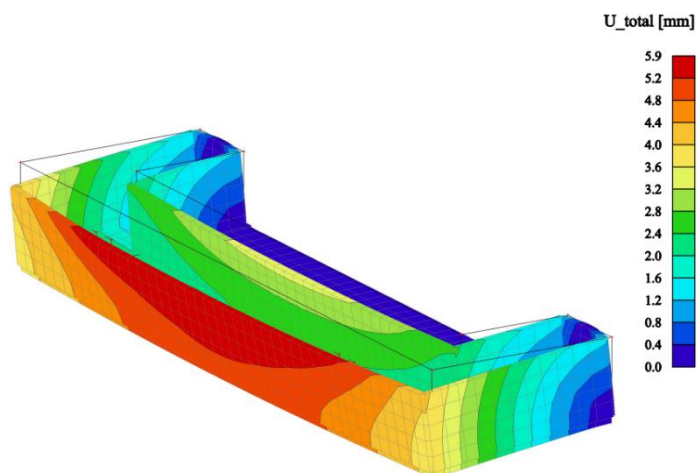
4.6. UCHYCENÍ STĚN KVĚTINÁČE

Doposud jsem uvažovala pouze uchycení balkónu přes ISO-nosník, ale další variantou by mohlo být navíc uchycení stěn květináče pomocí kotev k obvodovým nosným stěnám.



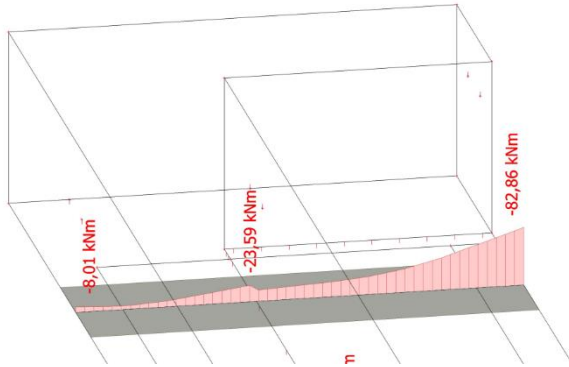
Obrázek 4.6.1. - Model s přikotvenými stěnami květináče

Při vykreslení celkové deformace je vidět, že uchycení konstrukci pomáhá a méně se deformuje. Bez uchycení stěn deformace nabývala hodnoty až 7,5 mm, kdežto nyní je maximální hodnota deformace 5,9 mm. Vlivem uchycení se ale zároveň zvýšilo napětí ve stěnách, a to zejména v místě kotev.

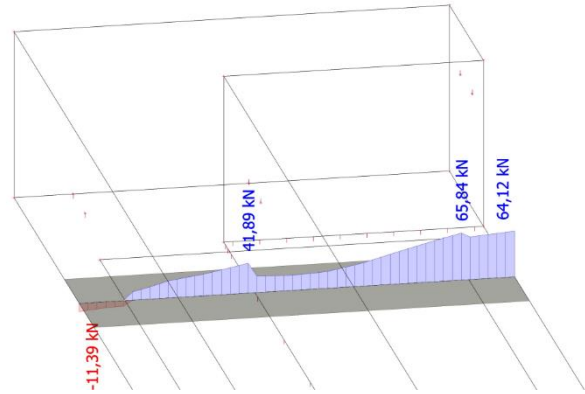


Obrázek 4.6.2. - Celková deformace květináče s přikotvenými stěnami

V místě vykonzolování vychází moment 82,86 kNm a tím pádem by bylo možné navrhnout ISO-nosník A-IP 80 Q8, s menší únosností.



Obrázek 4.6.3. - Průběh M_y pro kombinaci MSÚ



Obrázek 4.6.4. - Průběh V_z pro kombinaci MSÚ

Posouzení ISO-NOSNÍKU:

Vnitřní síly vyvolané zatížením: $m_{Ed} = 82,86 \text{ kNm}$

$$V_{Ed} = 64,12 \text{ kN}$$

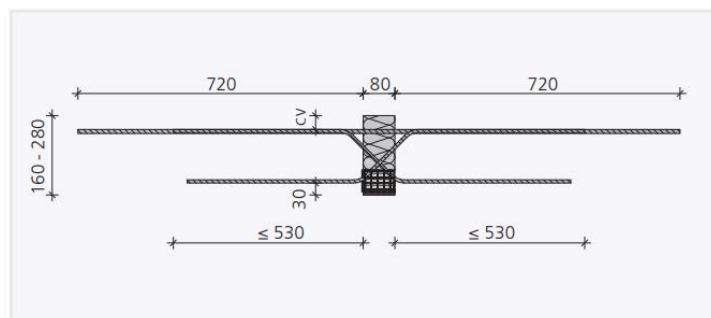
Prvek ISOPRO A -IP 80 Q8, cv 35, h = 250 mm: $m_{Rd} = 87,0 \text{ kNm} > m_{Ed} = 82,86 \text{ kNm}$

$$V_{Rd} = 92,7 \text{ kN} > V_{Ed} = 64,12 \text{ kN}$$

Maximální délka jednoho dílce je rovněž 11,3 m, takže ani v tomto případě by nebylo potřeba navrhovat dilatační spáru.

Výztuž ISO-NOSNÍKU

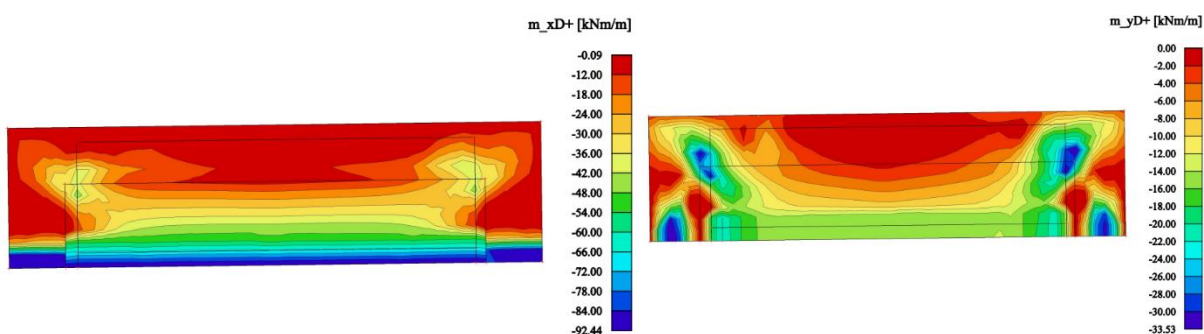
Taženou výztuž tohoto ISO-nosníku tvoří 14 prutů $\varnothing 10 \text{ mm}$, smykovou výztuž tvoří 6 prutů $\varnothing 8 \text{ mm}$ a rovněž má 8 tlakových ložisek.



ISOPRO® A-IP 60 to A-IP 80 – Shear force capacity Q8X
Tension rod $\varnothing 10$ – Shear rod $\varnothing 8 + \varnothing 8$

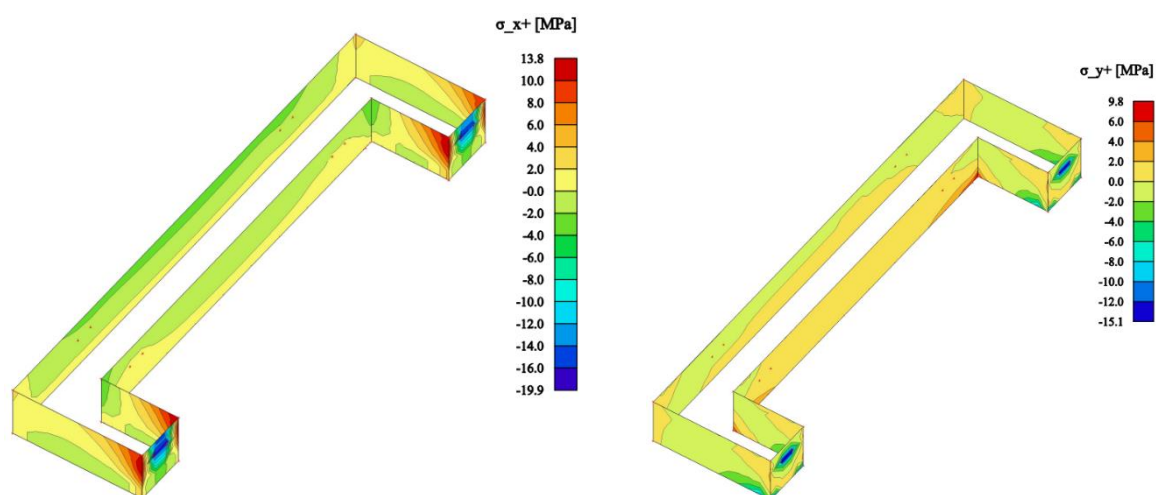
Obrázek 4.6.5. - Struktura ISO-nosníku ISOPRO A-IP 80

VÝZTUŽ

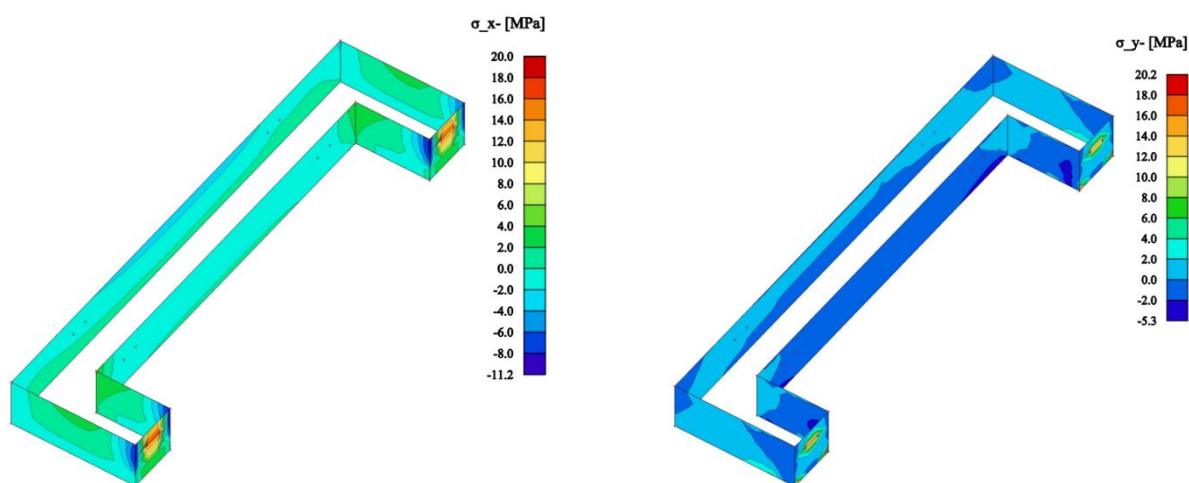


Obrázek 4.6.6. – Návrhový moment ve směru x a y při horním povrchu desky

Oproti předchozímu návrhu je balkónová deska méně namáhaná a nyní by bylo možné použít síť 12x150x150 při obou površích desky. V případě stěn by bylo potřeba přidat přídatnou výztuž v místě kotev a jinak by bylo rovněž možné použít vláknobeton, nebo vysokopevnostní beton, stejně jako u předchozího návrhu.



Obrázek 4.6.7. - Napětí na vnitřním povrchu stěn květináče s přikotvenými stěnami



Obrázek 4.6.8. - Napětí na vnějším povrchu stěn květináče s přikotvenými stěnami

5. ZÁVĚR

Předložená bakalářská práce se zabývala problematikou spojenou s rozšiřováním a zahušťováním zástavby, která způsobuje úbytek zelených ploch. Zároveň obyvatelé velkých měst jsou vystaveny znečištěnému ovzduší, nadměrnému hluku, vysokým teplotám a dalším problémům, které nevytváří pro člověka příjemné prostředí. Tato problematika je velkým tématem dnešní doby. Mnoho řešení ovšem vyvozuje pouze nějaká omezení, která sice problém zmírňují, ale neřeší jej. Řeč je například o omezení emisí, omezení automobilů s dieslovým, či benzinovým motorem, nebo o zpřísnování požadavků na energetickou náročnost budov.

Jako efektivní řešení úbytku zelených ploch, znečištěného vzduchu, nadměrného hluku, přehřívání měst a pohodlí obyvatel se tak nabízí výstavba zelených stěn a střech. Zatímco o zelených střeších už slyšel pravděpodobně každý, zelené stěny ještě nejsou příliš rozšířené téma. První část této práce se tedy věnovala možným způsobům ozelenění fasád. Díky tomu, že nejde o příliš rozšířené téma, neexistuje jedno ustálené členění a variant je více. Nicméně asi nejčastější variantou je rozdělení na zelené fasády s popínavými rostlinami a zelené živé stěny tvořené z různých nádob, pěstebních medií, vegetace a zavlažovacích systémů.

V posledních letech se začali budovat Vertikální lesy, které jsou tvořeny balkóny na jejichž koncích jsou vytvořené velké květináče. Asi největším průkopníkem těchto staveb je architekt Stefano Boerni, který navrhl Bosco Verticale (v překladu Vertikální zahrady) v Miláně. Stavba měla obrovský úspěch a vyvolala zájem o výstavbu dalších obdobných budov. Proto další část této práce se zabývala podrobným popisem Bosco Verticale. Bylo zde popsáno konstrukční řešení budovy a samotný proces návrhu fasády, který si žádal řadu technologií a výpočetních modelů. Asi největším problémem toho projektu byla síla větru, která je stromy přenášena na konstrukci. Zajímavé je, že pro návrh zajištění stromů byl vytvořený model balkónu skutečné velikosti, který se testoval v Mezinárodním centru pro hurikány. Rovněž důležitou součástí stavby bylo navrhnutí zavlažovacího systému, kdy v každém květináči je umístěna kontrolní skupina, která reguluje vlhkost a funguje nezávisle na ostatních.

Praktická část této bakalářské práce se zabývala vlastním návrhem části balkónové konstrukce, která bude součástí bytového domu umístěného v pražské části Modřany. Balkónová deska měla horní hranu ve výšce +32,4 m a byla navržena na zatížení odpovídající českým normám. Pro zajištění stromů byla podle vzoru milánského Bosco Verticale navržena ocelová klec, která přenášela zatížení od stromů. Poté byl proveden výpočet a posouzení ve výpočetním programu Scia Engineer 21.1. Na základě těchto výsledků bylo možné určit konkrétní ISO-nosník a následně jej ověřit. Daný ISO-nosník sice vyhověl, nicméně pro porovnání byl v dalším kroku vytvořen ještě druhý model.

Do stěny květináče byly přidány kotvy pro uchycení k obvodovým nosným stěnám. Ve stěnách květináče tím sice vzniklo větší napětí, ale naproti tomu se zmenšila celková deformace konstrukce a bylo možné použít ISO-nosník s menší únosností. Zároveň byl také proveden rozbor možného materiálového zpracování stěn květináče, aby byly co možná nejsušnější. Použití klasické betonářské výztuže by bylo vzhledem k dodržení krycí vrstvy výztuže nevýhodné. Proto bylo diskutováno použití vláknobetonu, nebo ultravysokopevnostního betonu, se kterým by stěny mohly být dokonce ještě tenčí.

Díky provedeným výpočtům tedy lze říct, že konstrukci je možné navrhnout bez dodatečného předpětí, které bylo realizováno při výstavbě Bosco Verticale a pro přerušení tepelného mostu lze balkon napojit na stropní desku přes ISO-nosník.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Redakce, „STAVÍM BYDLÍM.CZ,“ 28 05 2020. [Online]. Available: <https://stavimbydlim.cz/zelena-fasada-tvori-zivy-dum-vertikalni-zelene-fasady-zazivaji-boom/>. [Přístup získán 17 03 202].
- [2] I. S. Burian, „SZUZ,“ 03 2019. [Online]. Available: <https://www.szuz.cz/cs/hlavni-menu/inspirace/zelene-strechy/vertikalni-zahrady-strizlivym-pohledem/>. [Přístup získán 17 03 2023].
- [3] E. M. E. Ph.D, „The Effect of Green Facades in Landscape Ecology,“ *Procedia Enviromental Science*, sv. 34, p. 120, 2016.
- [4] „Green roof technology,“ [Online]. Available: <https://greenrooftechology.com/living-architecture/green-walls/>. [Přístup získán 18 03 2023].
- [5] „Zahrada a příroda,“ 27 01 2012. [Online]. Available: <https://www.zahradaapriroda.cz/pnouci-rostliny-zakladni-deleni/>. [Přístup získán 19 03 2023].
- [6] D. Mrázková, „Počítáme s vodou,“ [Online]. Available: <https://www.pocitamesvodou.cz/zelene-zive-fasady-vertikalni-zahrady/>. [Přístup získán 22 04 2023].
- [7] „Živé stavby,“ Liko-S, [Online]. Available: <https://www.zivestavby.cz/files/2021/06/zivestavby-biotope-likos-2021-cz.pdf>. [Přístup získán 23 04 2023].
- [8] B. V. Batovec, „Zelené fasády - Diplomová práce,“ 07 01 2018. [Online]. Available: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/74330/F1-DP-2018-Batovec-Vaclav-priloha-C-ZELENE%20FASADY.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. [Přístup získán 19 03 2023].
- [9] J. C. I. M. L. F. C. Gabriel Pérez, „Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings,“ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, sv. 39, pp. 140-141, 2014.
- [10] P. Wikipedie, „Wikipedie,“ [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Tower-Flower>. [Přístup získán 06 05 2023].
- [11] M. V. E. Giacomello, „Vertical Greenery: Evaluating the High-Rise Vegetation of the Bosco Vertical,“ ARUP, Council of Tall Buildings and Urban Habitat, Milan, Chicago, 2015.
- [12] „Bosco Verticale Engineering a forest in the sky,“ [Online]. Available: <https://docplayer.net/36591077-Bosco-verticale-engineering-a-forest-in-the-sky.html>. [Přístup získán 05 2023].
- [13] „Stefano Boeri Architetti,“ [Online]. Available: <https://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/project/trudo-vertical-forest/>. [Přístup získán 13 05 2023].
- [14] „Stefano Boeri Architetti,“ [Online]. Available: <https://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/project/easyhome-huanggang-vertical-forest-city-complex/>. [Přístup získán 13 05 2023].

- [15] „Stefano Boeri Architetti,“ [Online]. Available: <https://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/project/liuzhou-forest-city/>. [Přístup získán 13 05 2023].
- [16] H.-B. T. GMBH, „ww.jpocz.cz,“ JORDAHL & PFEIFER, [Online]. Available: https://jpocz.cz/fileadmin/user_upload/jpocz.cz/downloads/Produkty/Prefabrikovane_dilce/Isonos_niky_beton_-_beton_ISOPRO_80mm/Katalog_ISOPRO_AT_2018_EN.pdf. [Přístup získán 14 04 2023].
- [17] I. R. C. P. Ing. Jan Veselý, „Českomoravský beton,“ [Online]. Available: <https://www.transportbeton.cz/vysokohodnotne-betony-topcrete-0.html>. [Přístup získán 16 04 2023].
- [18] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem, ČSN, 2005.
- [19] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Obecná zatížení - Část 1-1; Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení budov, ČSN, 2004.
- [20] Ö. B. T. a. E. Karaca, 01 07 2013. [Online]. Available: <https://www.intechopen.com/chapters/45441>. [Přístup získán 19 03 2023].
- [21] „Českomoravský beton,“ [Online]. Available: <https://www.transportbeton.cz/transportbetony/beton-s-rozptylenou-vyztuzi.html>. [Přístup získán 17 04 2023].
- [22] „Greenscreen,“ [Online]. Available: <https://greenscreen.com/inspiration/gallery/>. [Přístup získán 22 04 2023].
- [23] „Vertical Garden Patrick Blanc,“ [Online]. Available: <https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/>. [Přístup získán 23 04 2023].
- [24] „90deGREEN,“ [Online]. Available: <https://www.90degreen.com/das-system/>. [Přístup získán 23 04 2023].
- [25] „GSky Plant Systems,“ [Online]. Available: <https://pdf.archiexpo.com/pdf/gsky-plant-systems-inc/gsky-products-catalogue/158460-325422.html>. [Přístup získán 04 05 2023].
- [26] „archiweb,“ [Online]. Available: <https://www.archiweb.cz/b/tower-flower>. [Přístup získán 06 05 2023].
- [27] „ArchDaily,“ [Online]. Available: <https://www.archdaily.com/777498/bosco-verticale-stefano-boeri-architetti>. [Přístup získán 06 05 2023].
- [28] „Peri,“ [Online]. Available: <https://www.peri.cz/projekty/vyskove-budovy-a-veze/bosco-verticale.html>. [Přístup získán 06 05 2023].
- [29] „Cabletech,“ [Online]. Available: <https://cabletech.cz/realizace/trelazni-systemy/>. [Přístup získán 22 04 2023].

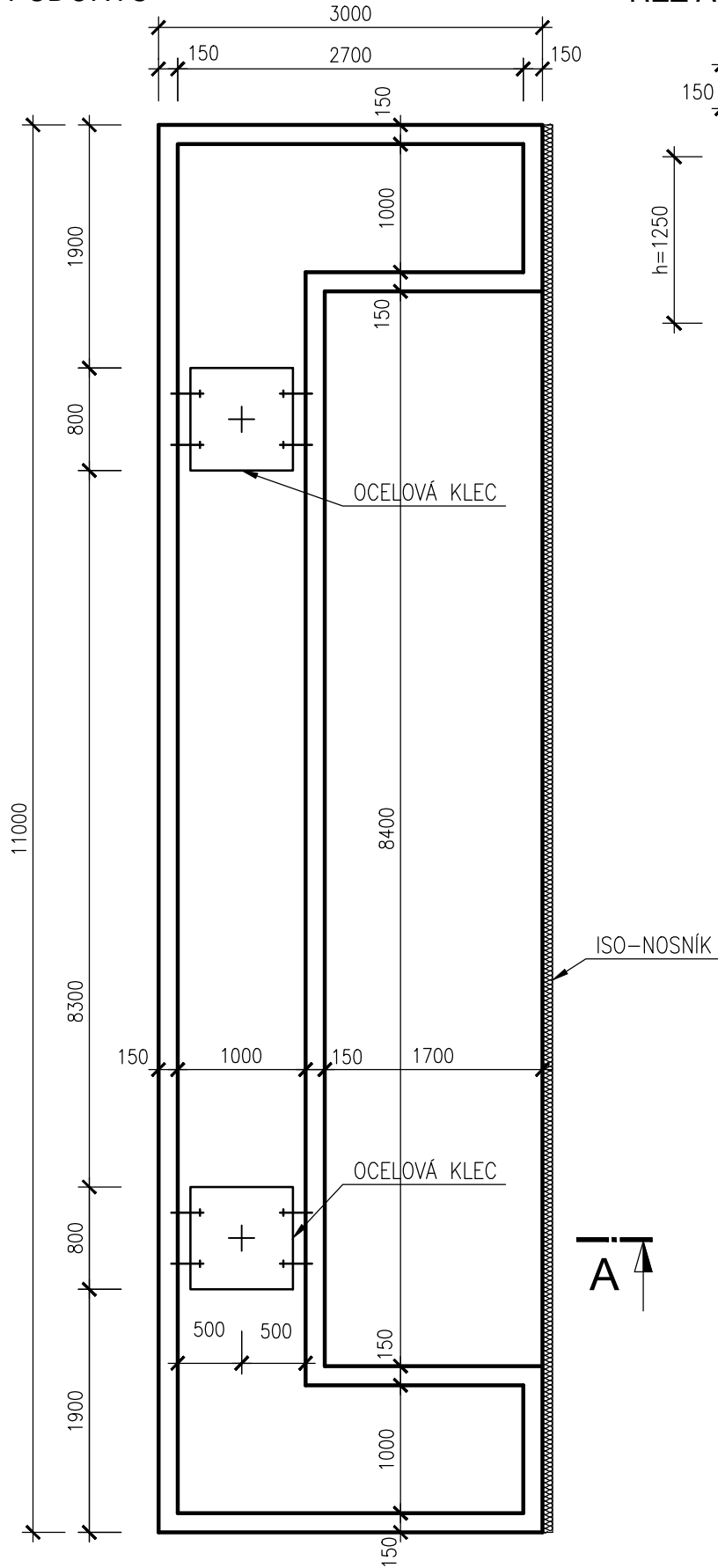
- [30] „S3iGroup,“ [Online]. Available: <https://www.s3i.co.uk/greenwallexamples.php>. [Přístup získán 22 04 2023].
- [31] ČSN EN 1991-1-4: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*, 2007.

7. SEZNAM PŘÍLOH

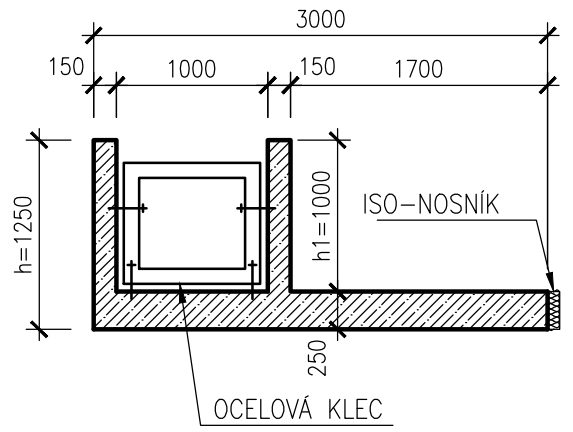
Příloha č .1 - Tvar balkónu


Příloha č .2 – Výpočet zatížení

PŮDORYS



ŘEZ A

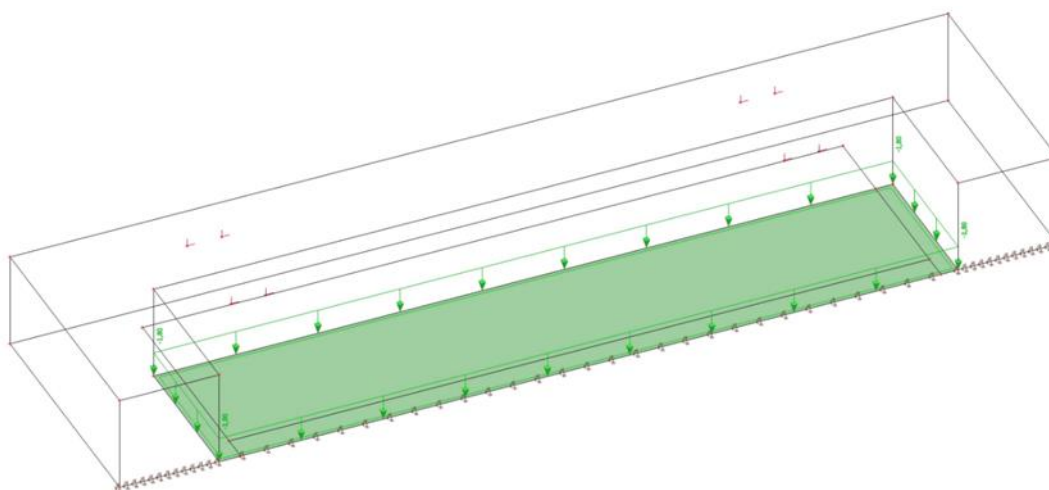


Zpracoval Lucie Mrázková	Konzultant Ing. M. Frantová, Ph.D.	Školní rok 2022-2023	Fakulta stavební ČVUT 	
Předmět: BAKALÁŘSKÁ PRÁCE			Datum	22.5.2023
Úloha: TVAR NAVRHOVANÉHO BALKÓNU			Meřítko	M 1:50
Výkres: PŘÍLOHA č. 1			Číslo výkresu	01

PŘÍLOHA č .2 – Výpočet zatížení

2.1. OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ ZATÍŽENÍ DESKY

	Tloušťka [mm]	Objemová tíha [kg/m ³]	g _k [kN/m ²]
Dřevěná terasová prkna	20	700	0,14
Podkladní hranol	5	700	0,04
2xAsfaltový hydroizolační pás	12	1100	0,13
Spádový beton	60	2400	1,44
			1,75



Obrázek 8.2.1. - Stálé zatížení podlahou

ZATÍŽENÍ KVĚTINÁČE ZEMINOU

Zemina – Hlína se střední plasticitou (F5)

Objemová tíha $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

Efektivní úhel vnitřního tření $\varphi_{ef} = 21^\circ$

1) Dno květináče

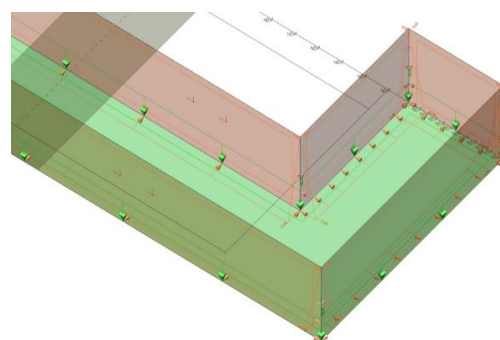
$$\sigma_{zem,dno,k} = \gamma * h = 20 * 1,0 = 20 \text{ kN/m}^2$$

2) Stěny květináče

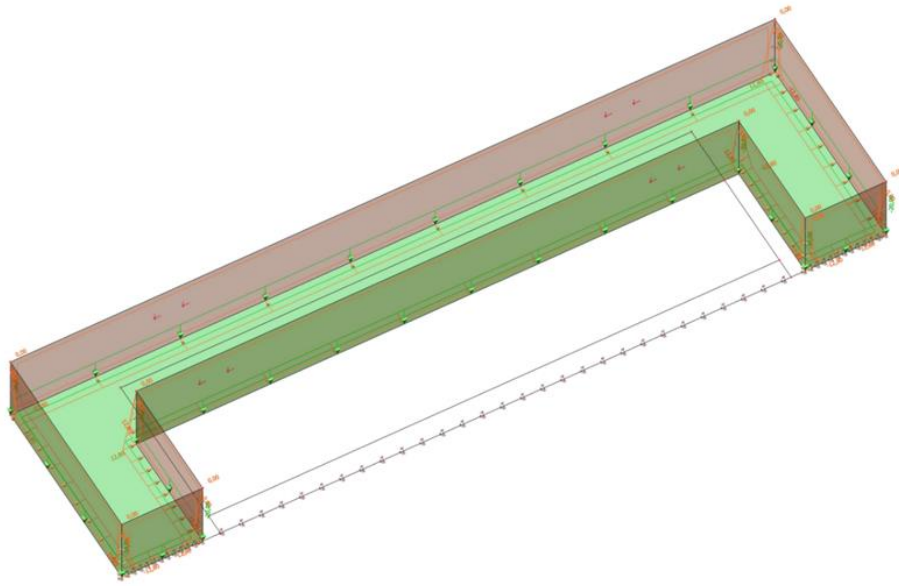
- uvažují zemní tlak v klidu

$$K_r = 1 - \sin \varphi_{ef} = 1 - \sin 21^\circ = 0,64$$

$$\sigma_{zem,stěny} = \gamma * h * K_r = 20 * 1,0 * 0,64 = 12,8 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 8.2.2. - Zatížení od zeminy

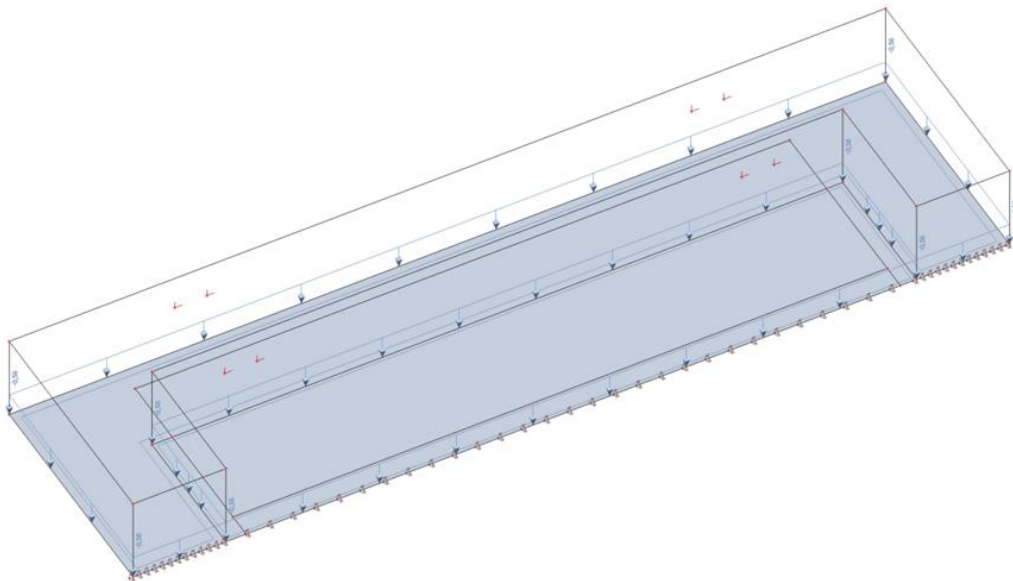


Obrázek 8.2.3. - Zatížení od zeminy

2.2. ZATÍŽENÍ SNĚHEM

- charakteristická hodnota zatížení sněhem: sněhová oblast I. $\rightarrow s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$
- tvarový součinitel: $\alpha < 30^\circ \rightarrow \mu_1 = 0,8$
- součinitel expozice: $C_e = 1,0$
- tepelný součinitel: $C_t = 1,0$

$$s = \mu_1 * C_e * C_t * s_k = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 8.2.4. - Zatížení sněhem

2.3. ZATÍŽENÍ VĚTREM

Použité vzorce:

- základní rychlost větru: větrná oblast II $\rightarrow v_b = 25 \text{ m/s}$

- základní dynamický tlak větru:

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 = \frac{1}{2} * 1,25 * 25^2 = 0,39 \text{ kN/m}^2$$

- kategorie terénu III $\rightarrow z_0 = 0,3 \text{ m}$; $z_{min} = 5 \text{ m}$

- střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b$$

$$\rightarrow \text{součinitel drsnosti terénu: } c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$$\rightarrow \text{součinitel terénu: } k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 * \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

- maximální dynamický tlak

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m(z)^2$$

$$\rightarrow \text{Intenzita turbulence: } I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

1) Zatížení desky $\rightarrow z = 32,4 \text{ m}$

$$v_m = 1,01 * 1,0 * 25 = 25,17 \text{ m/s}$$

$$c_r(z = 32,4) = 0,215 * \ln\left(\frac{32,4}{0,3}\right) = 1,01$$

$$q_p(z = 32,4) = [1 + 7 * 0,214] * \frac{1}{2} * 1,25 * 25,17^2 = 0,99 \text{ kN/m}^2$$

$$I_v = \frac{1,0}{1,0 * \ln\left(\frac{32,4}{0,3}\right)} = 0,214$$

Rozdělení na oblasti

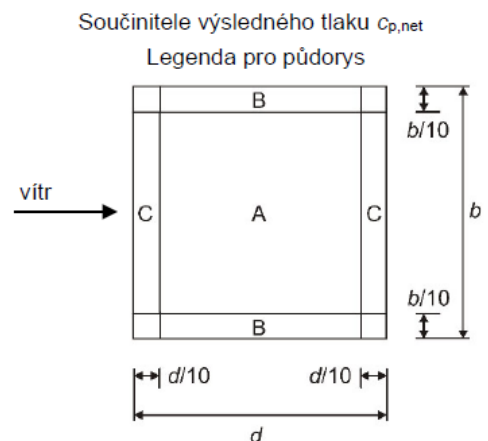
- zatížení desky je stanoveno pomocí součinitelů pro volný přístřešek

$$d = 14,0 \text{ m} ; b = 2,75 \text{ m}$$

- Vítr kolmo na b :

$$B : \frac{1}{10} b = 0,275 \text{ m}$$

$$C : \frac{1}{10} d = 1,4 \text{ m}$$



- Vítr kolmo na d :

$$B : \frac{1}{10}d = 1,4 \text{ m}$$

$$C : \frac{1}{10}b = 0,275 \text{ m}$$

$$\alpha = 0^\circ; \varphi = 0$$

	C _{pe}	W _e
A	-0,6	-0,6
B	-1,3	-1,3
C	-1,4	-1,4

$$w_e = q_p(z) * c_p$$

1) Stěny květináče → z = 33,4 m

$$v_m = 1,02 * 1,0 * 25 = 25,38 \frac{m}{s}$$

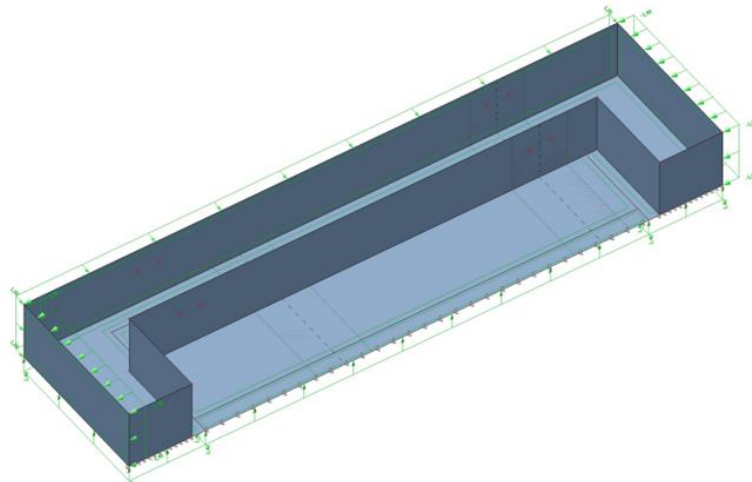
$$c_r(z = 32,4) = 0,215 * \ln\left(\frac{33,4}{0,3}\right) = 1,02$$

$$q_p(z = 32,4) = [1 + 7 * 0,214] * \frac{1}{2} * 1,25 * 25,38^2 = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

$$I_v = \frac{1,0}{1,0 * \ln\left(\frac{33,4}{0,3}\right)} = 0,212$$

	C _{pe}	W _e
A	-1,4	-1,4
B	-1,1	-1,1
C	-0,5	-0,5
D	1	1,0
E	-0,5	-0,5

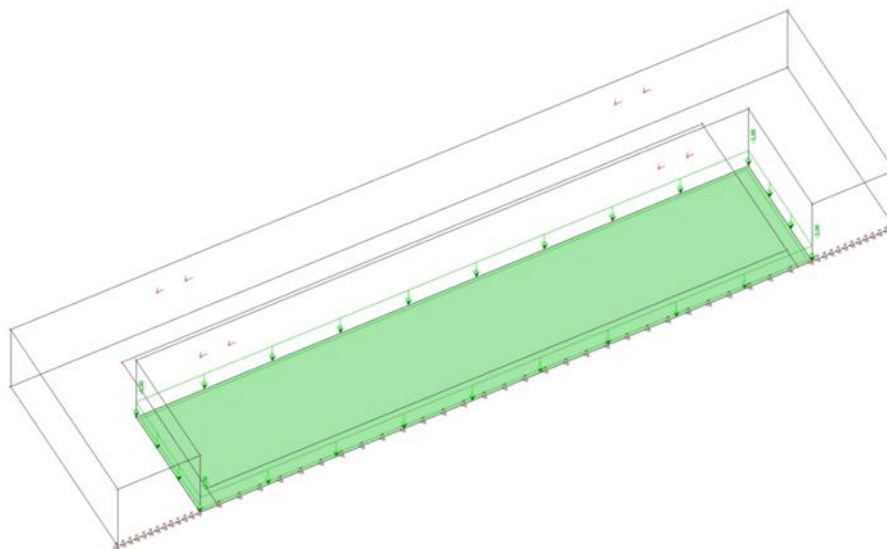
$$w_e = q_p(z) * c_p$$



Obrázek 8.2.5. - Zatížení větrem

2.4. UŽITNÉ ZATÍŽENÍ

- kategorie A – balkóny $q_k = 3 \text{ kN/m}^2$



Obrázek 8.2.6. - Užité zátížení