ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

THÁKUROVA 7, 166 29 PRAHA 6, DEJVICE

Zpracoval:	Vedoucí:
Bc. Václav Batovec	doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Projekt:	Předmět:
ZELENÉ FASÁDY	125DPM
	Školní rok: 2017/18
Forma:	Datum:
STUDIE	7.1.2018

OBSAH:

PŘEDMLUVA **4**
SEZNAM POJMŮ POUŽÍVANÝCH V TÉTO PRÁCI **5**
I. ÚVOD **7**
II. PROBLÉMY VELKÝCH MĚST **8**
II.1) ZVĚTŠUJÍCÍ SE HUSTOTA OBYVATEL 8
II.2) ÚBYTEK ZELENÝCH PLOCH 8
II.3) ZNEČIŠTĚNÉ OVZDUŠÍ 10
II.4) HLUK 10
II.5) TEPELNÝ OSTROV 10
II.5.1) Změna materiálů - změna energetické bilance 11
II.5.2) Změna geometrie 11
II.5.3) Odpadní teplo vzniklé lidskou činností 11
II.5.4) Zmenšení intenzity odpařování vody 11
II.6) ZDRAVOTNÍ A PSYCHICKÉ PROBLÉMY 12
II.7) DALŠÍ PROBLÉMY SPOJENÉ S VNITŘNÍM PROSTŘEDÍM BUDOV 12
III. VÝZNAM ZELENÝCH STĚN **12**
III.1) ENVIRONMENTÁLNÍ VÝZNAM ZELENÝCH STĚN 13
III.2) SOCIÁLNÍ VÝZNAM ZELENÝCH STĚN 14
III.3) EKONOMICKÝ VÝZNAM ZELENÝCH STĚN 15
IV. HISTORIE ZELENÝCH STĚN **16**
V. PATRICK BLANC **17**
VI. ZPŮSOBY OZELENĚNÍ STĚN V EXTERIÉRU **20**
VI.1) ZELENÉ FASÁDY SE SAMOPNOUCÍMI ROSTLINAMI - TRADIČNÍ ZELENÁ FASÁDA 21
VI.2) ZELENÉ FASÁDY S NESAMOPNOUCÍMI ROSTLINAMI S PODPOROU PNUTÍ 23
VI.2.1) Lanový podpůrný systém 24
VI.2.2) Mřížový podpůrný systém 25
VI.2.3) Drátový podpůrný systém 26
VI.2.4) Modulové systémy 26
VI.2.5) Kombinované systémy 27
VI.3) SOUVISLÉ ŽIVÉ STĚNY 28

VI.4) MODULOVÉ ŽIVÉ STĚNY....29
VI.4.1) Princip systému boxů/panelů....30
VI.4.2) Princip systému květináčů a truhlíků....32
VI.4.3) Princip systému flexibilních vaků....33
VII. ZPŮSOBY OZELENĚNÍ STĚN V INTERIÉRU....35
VIII. POŽADAVKY NA ZELENÉ STĚNY....37
VIII.1) NOSNÁ KONSTRUKCE....37
VIII.2) HYDROIZOLACE....37
VIII.3) VÝBĚR ROSTLIN....37
VIII.4) ORIENTACE KE SVĚTOVÝM STRANÁM....37
VIII.5) PŘÍSUN VODY A ŽIVIN....38
VIII.6) KANALIZACE....38
VIII.7) OSVĚTLENÍ....39
VIII.8) DALŠÍ UDRŽBA....39
IX. ZÁVĚR....40
X. ZDROJE....41

PŘEDMLUVA

Před uvedením této práce je nutné vysvětlit určitý problém, který nastává při čerpání informací z cizojazyčného zdroje. Jedná se o odlišnosti v názvosloví. Pojem „zelené fasády“ je v České republice převážně používán pro označení veškerých systémů ozelenění fasád budovy. Ve zdrojích, ze kterých jsem čerpal informace pro tuto práci, se jedná o pojem, který již vymezuje určitou část všech systémů. Tato práce si však dává za cíl rozebrat všechny základní způsoby ozelenění stěn a ne jen jejich část. Proto je zde tato předmluva a proto následuje definice pojmů používaných v této práci.

SEZNAM POJMŮ POUŽÍVANÝCH V TÉTO PRÁCI

POJMY DLE POUŽITÝCH ZDROJŮ:

ZELENÁ STĚNA - Nadřazený pojem, který označuje všechny formy vegetačních stěn.

VERTIKÁLNÍ ZAHRADA - Pojem, který má stejný význam jako zelená stěna.

ZELENÁ FASÁDA - Typ zelených stěn, který využívá pnoucích rostlin. Rostliny jsou zasázené přirozeně do půdy nebo do květináče u spodní hrany stěny a pnou se po fasádě.

ŽIVÁ STĚNA - Typ zelených stěn, který využívá všech druhů rostlin. Rostliny jsou osázené po celé ploše stěny.

OSTATNÍ POJMY:

ČSÚ - Český statistický úřad

UNEP - United Nations Environment Programme - Program OSN pro životní prostředí

EEA - European Environment Agency - Evropská agentura pro životní prostředí

WHO - World Health Organization - Světová zdravotnická organizace

ČHMÚ - Český hydrometeorologický ústav

Trvale udržitelný rozvoj společnosti - Takový rozvoj společnosti, který současným i budoucím generacím zachovává možnost uspokojovat jejich základní potřeby a přitom nesnižuje rozmanitost přírody a zachovává přirozené funkce ekosystému. Definice ze zákona o životním prostředí č. 17/1992 Sb. v § 6 **[A].**

Trvale udržitelná výstavba budov - Taková výstavba budov, která zdůrazňuje význam omezení negativních environmentálních vlivů při současné vyváženosti všech kritérií - environmentálních, sociálních a ekonomických - po celou dobu životnosti budovy.

Tepelný ostrov - Oblast, kde je teplota vzduchu výrazně teplejší než v jeho okolí. Převážně jde o městskou oblast.

Ekvivalentní hladina akustického tlaku během dne $L_{Aeq,den}$ - Hladina ustáleného akustického tlaku během 16. denních hodin - od 6:00 do 22:00.

SOS - Syndrom Open Space **-** Syndrom z velkých otevřených prostorů - Pojmenování souboru příznaků a potíží uživatelů (nervozita, podrážděnost, nepohoda) spojené s pobytem ve velkých otevřených prostorech. Příčiny jsou např. nemožnost ovlivnit teplotu vzduchu, hluk, nedostatek soukromí apod.

SBS - Sick Building Syndrom - Syndrom nemocných budov - Pojmenování souboru příznaků a potíží uživatelů (bolesti hlavy, podrážděnost, nepohoda) spojené s pobytem v budově bez jasné příčiny.

BRI - Building Related Illness - Syndrom nemocí z budov - Syndrom, který představuje diagnostikovatelnou nemoc (bolest hlavy, nachlazení, horečky), která je spojená s pobytem v budově s jasnou příčinou (nekvalitní vzduch, koncentrace plynů, průvan).

Révové loubí - Konstrukce ve tvaru klenby, po které se vine vinná réva.

Mur Végétal - Systém souvislé živé stěny, který vymyslel a nechal si patentovat Patrick Blanc.

Hydroponie - Způsob pěstování rostlin bez půdy. Lze tak pěstovat téměř všechny druhy rostlin.

I. ÚVOD

Už tomu může být více jak sto let, kdy Karel Čapek napsal ve svém nedělním fejetonu Návrat k přírodě: „Vyžeň přírodu dveřmi a polezeš za ní oknem. Vypuď ji z města a pojedeš za ní na hory.“ **[1]**. Nyní jsou tyto jeho věty velice aktuální. Ve městech vyrůstají nové zástavby, celé nové sídliště a také se rozšiřuje infrastruktura. S dnešní rostoucí populací lidí ve městech je zapotřebí více rozšiřovat a zahušťovat zástavbu, ale proč se vše kolem nás staví převážně z betonu, skla a asfaltu? Obrovské plochy těchto materiálů jsou však jen jedna strana příčiny velkých problémů, tu druhou tvoří ustupující plochy zeleně. Ve městech rapidně ubývá přírody.

Proč jsou plochy betonu, asfaltu a skla tak nebezpečné? Tyto materiály pohltí jen malou část tepelné a světelné energie ze slunce, velkou část však odrazí a akumulují. A rázem dochází ke zvyšování teploty vzduchu. Tento jev se nazývá „tepelný ostrov“. Beton a asfalt nepropustí ani nezadrží téměř žádnou vodu, ale všechnu odvedou pryč. A rázem dochází ke snižování vlhkosti vzduchu a k dalšímu oteplování. A proč je zeleň ve městech tak důležitá? Nejen že redukuje teplotu, pohlcuje světlo a zadržuje vodu, ale i čistí vzduch.

Naštěstí existuje řešení jak vše skloubit a nemusíme se ani omezovat v zahušťování zástavby a rozšiřování infrastruktury, nemusíme zakazovat stavění nových objektů, musíme však volit takové způsoby výstavby, které jsou trvale udržitelné. Výstavby, které v sobě zahrnují zelené plochy. Takové řešení nabízí právě konstrukce zelených stěn a zelených střech. Tato práce si dává za cíl podat dostatek informací o možných způsobech ozelenění stěn a o jejich významu v městské zástavbě tak, aby se v problematice dalo přehledně orientovat.

II. PROBLÉMY VELKÝCH MĚST

V úvodu již bylo naznačeno několik vznikajících problémů v hustých městských zástavbách. V této kapitole bude uveden přehled těch, které souvisí s faktem, jak je ve městech důležitá výstavba zelených ploch. Každý uvedený problém, by mohla výstavba zelené stěny více či méně pozitivně ovlivnit.

II.1) ZVĚTŠUJÍCÍ SE HUSTOTA OBYVATEL

V České republice dle Českého statistického úřadu (ČSÚ) žije 70 % obyvatel ve městech. Města se rozkládají na 27 % území naší republiky (údaj z roku 2012). **[2]** V Evropě je procento obyvatel žijících ve městě ještě větší. K životu si toto prostředí zvolilo přibližně 75 % všech lidí. **[3]** V globálním měřítku v roce 2014 žilo ve městech 54 % světové populace oproti roku 1950, kdy to bylo pouze 30 %. Program OSN pro životní prostředí (UNEP) předpokládá, že v roce 2050 to bude již 66 %. **[4]** Pokud poroste počet obyvatel ve městě, bude muset růst i výstavba nových objektů, komunikací a celé infrastruktury.

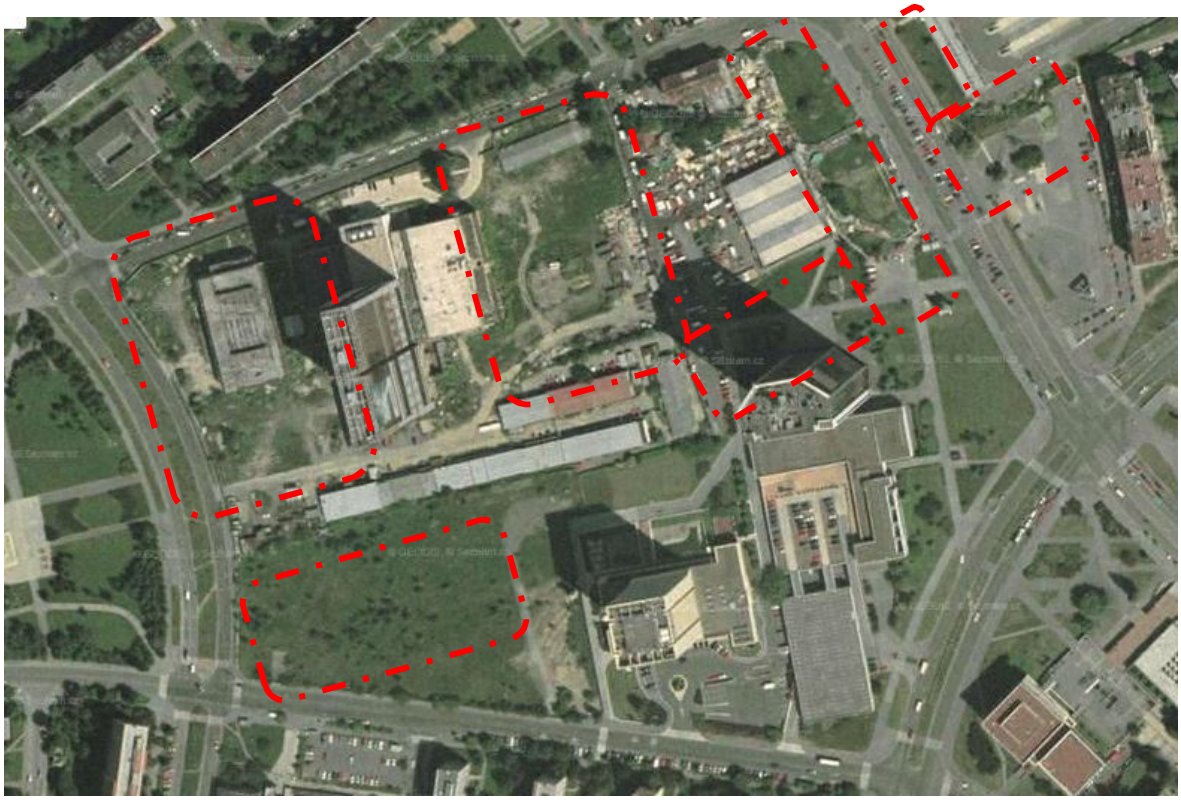
Aby byla výstavba nové infrastruktury města trvale udržitelná, je žádoucí zahušťovat její zástavbu **[5]**. To totiž přináší velké výhody - koncentraci služeb, efektivní využití infrastruktury a veřejné dopravy, vyšší energetickou efektivitu bytových domů ve srovnání s individuálním bydlením, úsporu půdy pro účely zemědělství, nižší spotřebu energie na dopravu, apod. Zahušťováním zástavby by však nemělo docházet k ustupování zelených ploch, bohužel se tomu tak často děje.

II.2) ÚBYTEK ZELENÝCH PLOCH

Z měst ubývají zelené plochy. Zelené plochy jako takové totiž nejsou finančně nijak atraktivní, možnost výdělku zajistí až jejich přeměna na stavební parcelu a následné zastavění. Čím více užitné plochy kanceláří nebo obchodů, tím lepší finanční ohodnocení nemovitosti. Stavební úřad má sice povinnost hlídat procento zastavěné plochy na dané stavební parcele, ale určit přesně velikost zastavěné plochy bývá často sporné. Kolem nově vystavených objektů musí také vzniknout nové chodníky a parkovací místa, vše převážně z betonu a asfaltu. Na zeleň již nezbývá místo, přitom je pro město tak důležitá.

Na **obr. 1 a 2** je vidět jeden z mnoha příkladů ubývajících zelených ploch z měst.

Obr. 1 - Prostory v Praze Na Pankráci s vyznačením míst, kde zmizely zelené plochy. Stav po dokončení rozestavěných budov zatím není znám, ale úbytek zelené plochy jistě nastane. Stav v roce 2003 - Mapy.cz [6]



Obr. 2 - Prostory Na Pankráci - velký úbytek zelené plochy Stav v roce 2016 - Mapy.cz [7]

II.3) ZNEČIŠTĚNÉ OVZDUŠÍ

Velká hustota průmyslu a dopravy ve městech má za následek velké znečištění ovzduší. Evropská agentura pro životní prostředí (EEA) uvádí, že až 30 % Evropanů žijících ve městě je vystaveno takovým úrovním znečišťujících látek v ovzduší, které přesahují normové množství EU pro kvalitu prostředí. Světová zdravotnická organizace (WHO) má však svoje měřítka, která jsou mnohem přísnější. Dle EEA podle těchto měřítek žije v evropských městech s nekvalitním ovzduším až 98 % obyvatel. **[8]**

II.4) HLUK

Podle WHO představuje hluk druhou největší environmentální hrozbu v Evropě, tou první je znečištěné ovzduší jemnými částicemi **[9].** EEA uvádí, že hlavní zdroj hluku, kterému je vystaveno nejvíce lidí, je silniční doprava. Z členských zemí EU je nadměrnému hluku ze silniční dopravy vystaveno zhruba 100 milionů lidí. Jedná se o ekvivalentní hladinu akustického tlaku během dne (16 hodin) - $L_{Aeq,den}$ větší než 55 dB. Z nich je 32 % vystaveno hladinám vyšším než 65 dB. Další zdroj hluku, kterému je v Evropě vystaven druhý největší počet lidí, tvoří železniční doprava. Na třetím místě jsou lidé nejvíce vystaveni hluku z letištní dopravy a na čtvrtém z průmyslu. **[9]** Tyto údaje nejsou uvedeny přímo pro město, ale vzhledem k tomu, že ve městech se soustřeďuje nejvíce dopravy (např. letiště je vždy blízko nebo přímo v městě), bude se jednat převážně o lidi z města, kteří jsou tolik ohroženi hlukem.

V Praze jsou s hlukem velké problémy. Portál životního prostředí města Prahy uvádí, že 47 % obyvatel je během dne zatíženo ekvivalentní hladinou akustického tlaku vyšší než 55 dB. **[10]** Portál dokonce uvádí, že v určitých místech Prahy dosahují hodnoty $L_{Aeq,den}$ více než 80 dB. **[11]**

II.5) TEPELNÝ OSTROV

Tento jev nastává hlavně v husté zástavbě, tedy ve městech. Jedná se o takovou oblast, kde je teplota vzduchu výrazně teplejší než v jeho okolí. Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) uvádí, jak se projevoval tepelný ostrov v Praze. Např. v centru Prahy (kruh o průměru cca 5 km) byla průměrná minimální denní teplota vzduchu v dekádách 1961 - 1970 a 2001 - 2010 o více než 1,4 °C vyšší než na jejím okraji. V porovnání s třemi měřícími stanicemi na venkově šlo o rozdíl až 2 °C, hlavně v letním půlroce. **[12]**

Vznik tepelného ostrova nastává z několika příčin:

II.5.1) Změna materiálů - změna energetické bilance

Vznik tepelného ostrova nastává při masivní záměně přirozeného povrchu - les, paseka, louka, keře, pole - za uměle vytvořený povrch - komunikace (asfalt, beton), stavby a jejich fasády (beton, sklo, malta, izolace). Zatímco stromy, keře a rostliny teplo a světlo ze slunce pohlcují a využijí (samozřejmě i část odráží), umělé materiály jej z větší části odrážejí nebo do sebe teplo akumulují a později v noci ho opět vydávají. Při dnešní výstavbě, kdy se vše kvalitně tepelně izoluje, na budovách není materiál k tomu, aby docházelo k akumulaci tepla, proto se z budov většina tepla odráží. Akumulace probíhá u objektů komunikací (beton, asfalt).

II.5.2) Změna geometrie

Při výstavbě nových objektů nastává také změna geometrie. Původní přirozený povrch se dá brát jako rovinatý, výstavbou výškových budov však nastává změna. Plocha, kam dopadá sluneční záření, se mnohonásobně zvětšuje. Dochází k mnohonásobnému odrazu i akumulaci slunečního záření. Do stejného prostoru najednou vniká více tepla ze slunce.

II.5.3) Odpadní teplo vzniklé lidskou činností

Průmyslové odpadní teplo vzniklé při výrobě, může být v zimě kladným vedlejším produktem, ale v létě tomu tak není. Z veškeré dopravy také vzniká mnoho tepla. V létě jsou nadmíru využívané klimatizační jednotky, jejímž odpadním produktem je teplo. Všechny tyto činnosti provozované ve velké míře jsou další příčinou tepelného ostrova.

II.5.4) Zmenšení intenzity odpařování vody

Nové umělé materiály, které nahrazují zelenou plochu, nedokáží zadržet ani akumulovat vodu. Ve městě bývá dokonce žádoucí co nejrychlejší způsob zbavení se dešťové vody. Dešťová voda rychle steče z asfaltové komunikace či z betonového chodníku rovnou do kanalizace a pryč z města. To je ale velký problém. Voda, kterou rostliny dokáží ještě dlouho po dešti zadržet, se může později vypařovat a tím zvlhčovat a zároveň ochlazovat prostředí. Pokud ale voda rychle odtéká a v krajině se nezadržuje, nemá se ani odkud vypařovat a nemůže své prostředí nijak zvlhčovat ani ochlazovat.

Rychle odtékající voda z krajiny s sebou ale přináší další velké problémy. Ten hlavní spočívá v tom, že pokud dešťová voda z prostředí odteče kanalizací do řeky a z řeky do

moře, tak se žádná voda v daném prostředí nevsákne do země a nedoplní se zásoba podzemní pitné vody. To už je ale téma nad rámec této práce.

II.6) ZDRAVOTNÍ A PSYCHICKÉ PROBLÉMY

Přelidněné části měst, znečištěné ovzduší, hluk z dopravy a průmyslu, tepelný ostrov, úbytek zelených ploch a další problémy velkých měst (včetně osobních problémů - stres v práci, nevyspání, časové termíny na zadané úkoly apod.) mohou jeho obyvatelům způsobovat ještě další komplikace ve formě zeslabení zdravotního nebo psychického stavu.

II.7) DALŠÍ PROBLÉMY SPOJENÉ S VNITŘNÍM PROSTŘEDÍM BUDOV

Závěrem této kapitoly je zapotřebí pro úplnost tématu uvést ještě několik problémů, které se objevují ve vnitřním prostředí budov hlavně ve městech ale i mimo ně. Tyto problémy je zapotřebí také uvést, protože i pro ně představuje zelená stěna v interiéru alespoň částečné řešení. Jedná se např. o problémy uživatelů velkých otevřených prostorů (tzv. SOS - Syndrom Open Space) v administrativních budovách s tím, že nemohou nijak ovlivnit svoje prostředí, že nemají své soukromí, mají problémy s hlukem apod.

Dalším příkladem může být tzv. syndrom nemocných budov (SBS - Sick Building Syndrom). Jedná se o pojmenování souboru příznaků a potíží uživatelů spojených s pobytem v budově bez jasné příčiny. Lidé si stěžují na určité příznaky (bolest hlavy, podrážděnost, nepohodu, apod.) pokud jsou v budově a když ji opustí, tyto příznaky odezní. Jako poslední je zde uveden syndrom nemocí z budov (tzv. BRI - Building Related Illness). Tento syndrom představuje diagnostikovatelnou nemoc (bolest hlavy, nachlazení, horečky), která je spojená s pobytem v budově s jasnou příčinou - nekvalitní vzduch, koncentrace plynů, průvan, apod. Nejen tyto syndromy, ale například i příliš suchý vzduch nebo převládající umělé prostředí bez rostlin mohou být také problémy vnitřního prostředí budov.

III. VÝZNAM ZELENÝCH STĚN

Je-li žádoucí rozvíjet naši společnost trvale udržitelně, musí být i nová výstavba budov trvale udržitelná. Systém hodnocení těchto budov spočívá ve třech skupinách kritérií - environmentálních, sociálních a ekonomických. Instalace zelené stěny nebo zelené střechy významně ovlivňuje každou uvedenou skupinu. Proto jsou pro zhodnocení významu zelených stěn v této práci zvoleny právě tyto tři kritéria.

Při podrobném zhodnocení uvedených vlivů zelených stěn lze dokázat, že každý z jednotlivých kladných bodů (označeno +) větší či menší mírou pozitivně přispívá k řešení

problémů velkých měst, které jsou uvedeny v předchozí kapitole. Zelené stěny však přináší i záporné vlivy (označeno -), ty však zdaleka nepřevyšují nad těmi kladnými.

III.1) ENVIRONMENTÁLNÍ VÝZNAM ZELENÝCH STĚN

Pokud se investor rozhodne pro výstavbu zelené stěny nebo zelené střechy, bude to převážně kvůli jejímu environmentálnímu významu. Instalování rostlin na stěnu nebo střechu, má velmi kladný vliv na životní prostředí ve městech.

Následuje seznam environmentálních vlivů zelených stěn (střech) [13]:

+ Instalované rostliny v okolí budovy čistí okolní vzduch fotosyntézou - přeměnou oxidu uhličitého, vody a energie ze slunce na kyslík. Rostliny dokáží zbavit vzduch i škodlivých zplodin z dopravy či průmyslu - SO_2, NO_2, CO, … a různých pachů. Zároveň čistí vzduch od různých prachů. Částečky prachu se usazují na listech a dešťovými srážkami jsou pak splavovány do jejich podkladu.
+ Zeleň využívá energii ze slunce. Zabraňuje tak její přeměně na teplo a tím se zmírňuje zvyšování teploty okolního prostředí.
+ Rostliny zvyšují vlhkost vzduchu odparem rosy zkondenzované na jejich povrchu a odparem zachycených dešťových srážek či závlahové vody. Tento jev je možné využít i u zelených stěn v interiéru a ušetřit tak energii (a její emise) na umělé zvlhčování.
+ Ovlivňují tepelnou bilanci svého okolí, tlumí výkyvy teplot. V létě přes den snižují teplotu a v noci naopak zabraňují rychlému vyzařování tepla z povrchu a jeho tepelné ztrátě.
+ Konstrukce zelené stěny může zvyšovat tepelně izolační vlastnosti obálky budovy a tím ušetřit energii (a její emise) na vytápění budovy.
+ Vegetace na obvodové stěně ovlivňuje proudění vzduchu kolem budovy. Pokud jsou na stěně instalovány celoroční rostliny, tak v zimě brání vysokým ztrátám tepla, protože zmírňují proudění studeného vzduchu kolem stěny. Tím lze ušetřit energii (a její emise) na vytápění.
+ Zelené střechy dokáží zadržet a akumulovat dešťovou vodu a až později ji postupně a pomalu odvádět do kanalizace. Zelená stěna tento jev dokáže jen částečně, záleží na zvolené konstrukci - obsahuje-li substrát, může zadržet více vody.

- Zelená stěna spotřebovává energii, vodu a živiny na svůj provoz. Jejich množství závisí na zvolené konstrukci a druhu rostlin (některé nespotřebují žádnou energii ze sítě). Je dobré na závlahu zeleně využívat dešťovou vodu.
- Při výstavbě zelené stěny je potřeba energie a určitý konstrukční materiál, který obsahuje další svázanou energii a svázané emise. Množství použitého materiálu závisí na zvolené konstrukci.

III.2) SOCIÁLNÍ VÝZNAM ZELENÝCH STĚN

Sociální význam zelených stěn (střech) je pro objekt a jeho uživatele velmi důležitý. Převážná většina sociálních vlivů totiž působí na okolní prostředí pozitivně.

Následuje seznam sociálních vlivů zelených stěn (střech) [13]:

+ Zelené stěny a střechy zvyšují požární bezpečnost stavby.
+ Zelené plochy pohlcují hluk a tím zvyšují akustickou pohodu.
+ Čištění okolního vzduchu rostlinami a produkce kyslíku pomáhá k dobré kvalitě vnitřního i vnějšího prostředí.
+ Případné zlepšení tepelně-izolačních vlastností obvodové stěny vede k lepší tepelné pohodě vnitřního prostředí.
+ Vegetace zmírňuje povětrnostní vlivy v okolí budovy, pomáhá tak ke zlepšení kvality vnějšího prostředí.
+ Přirozené zvyšování vlhkosti rostlinami zkvalitňuje vnitřní i vnější prostředí.
+ Zeleň se v ulicích města a v interiérech budov výrazně projevuje na duševním i tělesném zdraví člověka, na jeho výkonosti a také pozitivně ovlivňuje jeho chování.
+ Zelená barva, světla a stíny vzniklé od rostlin, barevnost celé zelené stěny, její proměnlivost a šum listů kladně působí na všechny smysly.
+ Zeleň v interiéru i exteriéru umožňuje prožít kvalitní pasivní i aktivní odpočinek.
+ Zelené stěny nejsou v České republice nijak rozšířené a proto jejich přítomnost vzbuzuje dojem určitého bohatství a exkluzivity.
+ Zeleň vzbuzuje dojem pořádku a to do určité míry utváří způsob následného chování uživatelů budovy.
+ Rostliny částečně pomáhají navodit kladný vztah k přírodě.
+ V městském prostředí, které je téměř odtržené od přírody, umožňují vnímat přirozené biorytmy člověka, zejména střídání ročních období.
± Rostliny mohou přivolávat, ale i odpuzovat hmyz, záleží na zvoleném druhu rostlin.

- Pokud se na zelenou stěnu použijí rostliny, které před zimou opadávají, vzniká v okolí nepořádek, který je třeba brzy uklidit.
- Vůně a produkce pylu rostlin může způsobit uživatelům objektu alergenní reakce.

III.3) EKONOMICKÝ VÝZNAM ZELENÝCH STĚN

Z předchozích převážně pozitivních environmentálních a sociálních vlivů zelených stěn přichází kapitola, která přináší převážně negativa. Jedná se o finanční náročnost výstavby a provozu zelené stěny. Tato kapitola je bohužel při navrhování jednotlivých součástí objektu často rozhodující. Pokud se investor z environmentálního hlediska rozhodne pro výstavbu zelené stěny, z hlediska ekonomického své rozhodnutí raději může vzít zpět. Nemělo by tomu tak být.

Při projektování trvale udržitelných budov je důležité přistupovat k návrhu komplexně. Metody návrhu a modely hodnocení budov musí zahrnovat všechna podstatná kritéria a ne jen ta ekonomická. K řešení je třeba přistupovat multikriteriálně. Poté by nemělo dojít k tomu, že se projekt zelené stěny, která pozitivně ovlivňuje životní prostředí ve městě a přispívá k lepšímu sociálnímu stavu uživatelů, zruší kvůli její ekonomické náročnosti. I dražší projekt zelené stěny se může v jiných kritériích mnohonásobně vyplatit.

Následuje seznam ekonomických vlivů zelených stěn (střech):

+ Konstrukce zelené stěny (střechy) zajistí lepší finanční zhodnocení celé nemovitosti, to souvisí i s větší poptávkou po nemovitosti.

+ Zelené plochy v interiéru, ale i v exteriéru zajistí lepší finanční zhodnocení prostorů v případě jejich pronájmu a také po nich zvýší poptávku.

+ Zelené stěny a zelené střechy chrání obvodový plášť budovy před účinky slunečního záření, deště, kyselého deště, větru a před kolísavými teplotami. Zelené střechy tvoří ochrannou vrstvu hydroizolace. To vše v konečném důsledku zvýší životnost obvodového pláště a tedy i celé budovy. Delší životnost znamená menší náklady na opravy a rekonstrukce a také prodlužuje dobu zisku z nemovitosti.

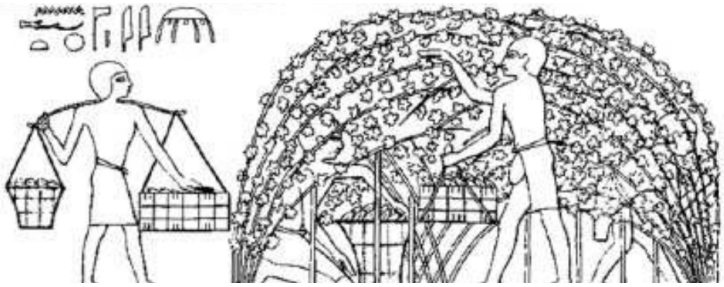
+ Zvýšení požární bezpečnosti, zlepšení prostředí čistým vzduchem, akustická a tepelná pohoda, přirozené vlhčení vzduchu a další body uvedené v předchozích kapitolách vedou k šetření finančních nákladů na výstavbu a provoz budovy.

- Náklady na výstavbu.
- Náklady na provoz - spotřeba vody a živin, spotřeba energie, obdělávání rostlin, obnova rostlinné vegetace apod.

IV. HISTORIE ZELENÝCH STĚN

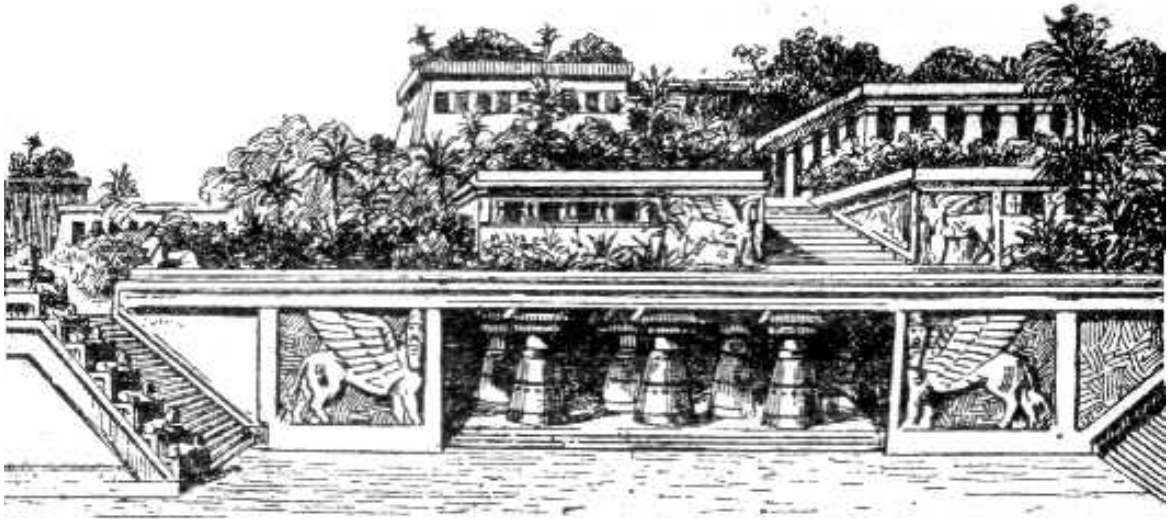
První historicky doložená stopa konstrukce připomínající zelenou stěnu sahá až do starého Egypta. Jednalo se o konstrukci ve tvaru klenby, po které se vinula vinná réva. Tato konstrukce se nazývá révové loubí (viz **obr. 3**) a pro její praktickou i estetickou funkci se stala nedílnou součástí i řeckých a římských zahrad. Tato konstrukce je považována za předchůdce zelené stěny vzhledem k tomu, že se po ní rostliny pnuly vertikálně. **[14]**

Obr. 3 - Révové loubí - [14]



Druhý historicky doložený předchůdce zelené stěny jsou Visuté zahrady Babylónské, známé jako Zahrady královny Semiramis (viz **obr. 4**). Tato velkolepá stavba je považována za předchůdce zelených stěn hlavně proto, že zde rostliny byly poprvé vyjmuty ze svého přirozeného prostředí do uměle vytvořených teras. Rostliny v těchto terasách musely mít neustálý (nepřirozený) přísun živin a vody. Měly tedy stejné podmínky jako rostliny na dnešní vertikální zahradě. **[14]**

Obr. 4 - Visuté zahrady Babylónské - [15]



Ve třicátých letech minulého století se v Riu de Janeiru podařilo zkonstruovat první vertikální zelenou stěnu architekty Le Corbusierem a Robertem Burle Marxem **[16].** V České republice se za první předchůdce vertikálních zahrad považuje skalka v Botanické

zahradě a arboretu Mendelovy univerzity v Brně. Výstavba této skalky započala už v roce 1970. Skalka je vidět na **obr. 5. [17]**

Jako důležitého průkopníka zelených stěn lze bezesporu považovat francouzského botanika a vědce Patricka Blanca, kterému je věnována následující kapitola.

Obr. 5 - Skalka v Botanické zahradě a arboretu Mendelovy univerzity v Brně - [17]

V. PATRICK BLANC

Není možné napsat práci o zelených stěnách bez zmínky o francouzském vědci a botanikovi Patricku Blancovi (**obr. 8**), který je celosvětově uznávaným odborníkem. Narodil se roku 1953 ve Francii, kde také zrealizoval nejvíce svých projektů. Rostlinami se zabývá už od mládí. Od roku 1982 pracuje jako vědec v Národním centru vědeckého výzkumu ve Francii, kde se specializuje na rostliny subtropických lesů. Během svých výzkumů dochází ke zjištění, že některé rostliny nepotřebují k životu půdu. Tento objev učinil na svých cestách, kde viděl rostliny rostoucí na skálách a ve větvích stromů. Zjistil, že půda pro rostliny představuje pouze mechanickou oporu. K fotosyntéze je zapotřebí jen voda a minerály spolu se světlem a oxidem uhličitým. Netrvá dlouho a v roce 1988 vzniká jeho první zelená stěna. Patrick si ji nechává patentovat a později zakládá systém Mur Végétal, který je považován za první svého druhu. Ostatní výrobci začaly tento systém napodobovat. **[18], [19], [20], [16]**

Systém Mur Végétal má výhodu v tom, že neobsahuje hlínu a tudíž je lehký. Na nosnou konstrukci je umístěn kovový rám, který vytvoří vzduchovou mezeru. Kovový rám lze postavit i jako samostatně stojící konstrukci. Kovová konstrukce slouží jako podklad pro 1 cm tlustou PVC plachtu, která tvoří hydroizolaci. Na plachtu jsou připevněny dvě vrstvy zahradnické plstě s kapsami, které nahrazují mech rostoucí na skále. Do kapes této

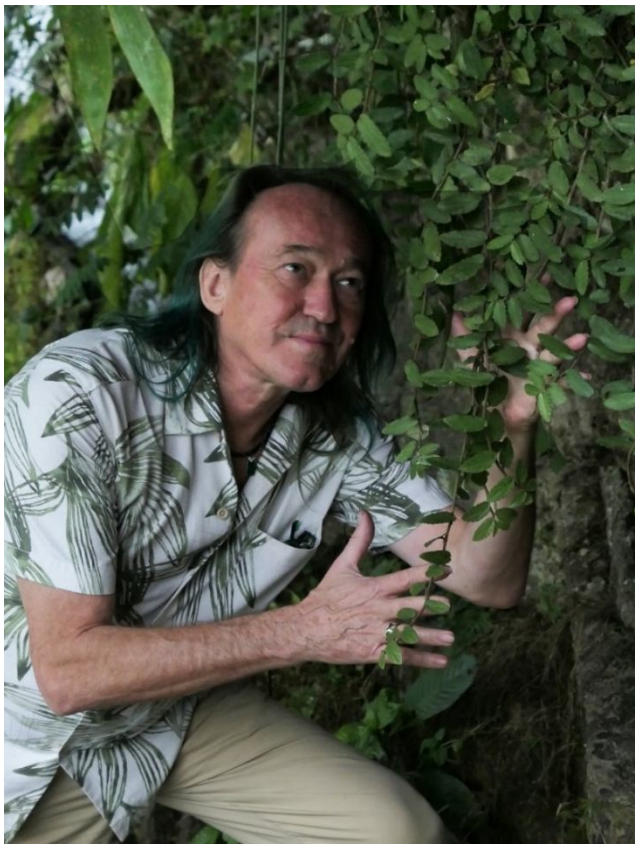
plsti jsou zasety nebo zasázeny rostliny. Po celé ploše je instalována síť trubic, která přivádí vodu a výživu na plsť, ta ji částečně akumuluje (jako mech) a částečně odevzdá rostlinám. Ty si vezmou potřebné množství. Přebytečná vláha a živiny odtečou po plsti ke spodnímu okraji stěny, kde jsou odtokové kanálky. Voda je odtud přivedena znovu do oběhu. Způsob pěstování rostlin bez půdy se nazývá hydroponie a lze tak pěstovat téměř všechny druhy rostlin. **[18], [19], [20], [16]**

Důležitou roly hraje také výběr a způsob umístění jednotlivých druhů rostlin na stěnu. Zde již se nejedná o funkční prvek, nýbrž o estetický. Patrick Blanc na stěnu umisťuje vybrané druhy rostliny, tak jako nikdo jiný a proto nevznikají jen konstrukce zelených stěn, ale vznikají hotová umělecká díla, jak je vidět na **obr. 6 a 7.**

Obr. 6 - Zelená stěna (umělecké dílo) vytvořená Patrickem Blancem, Museum Caixa Forum, Madrid 2008 - [21]

Obr. 7 - Zelená stěna vytvořená Patrickem Blancem v interiéru, Skyteam Lounge, Heathrow, Londýn 2009 - [22]

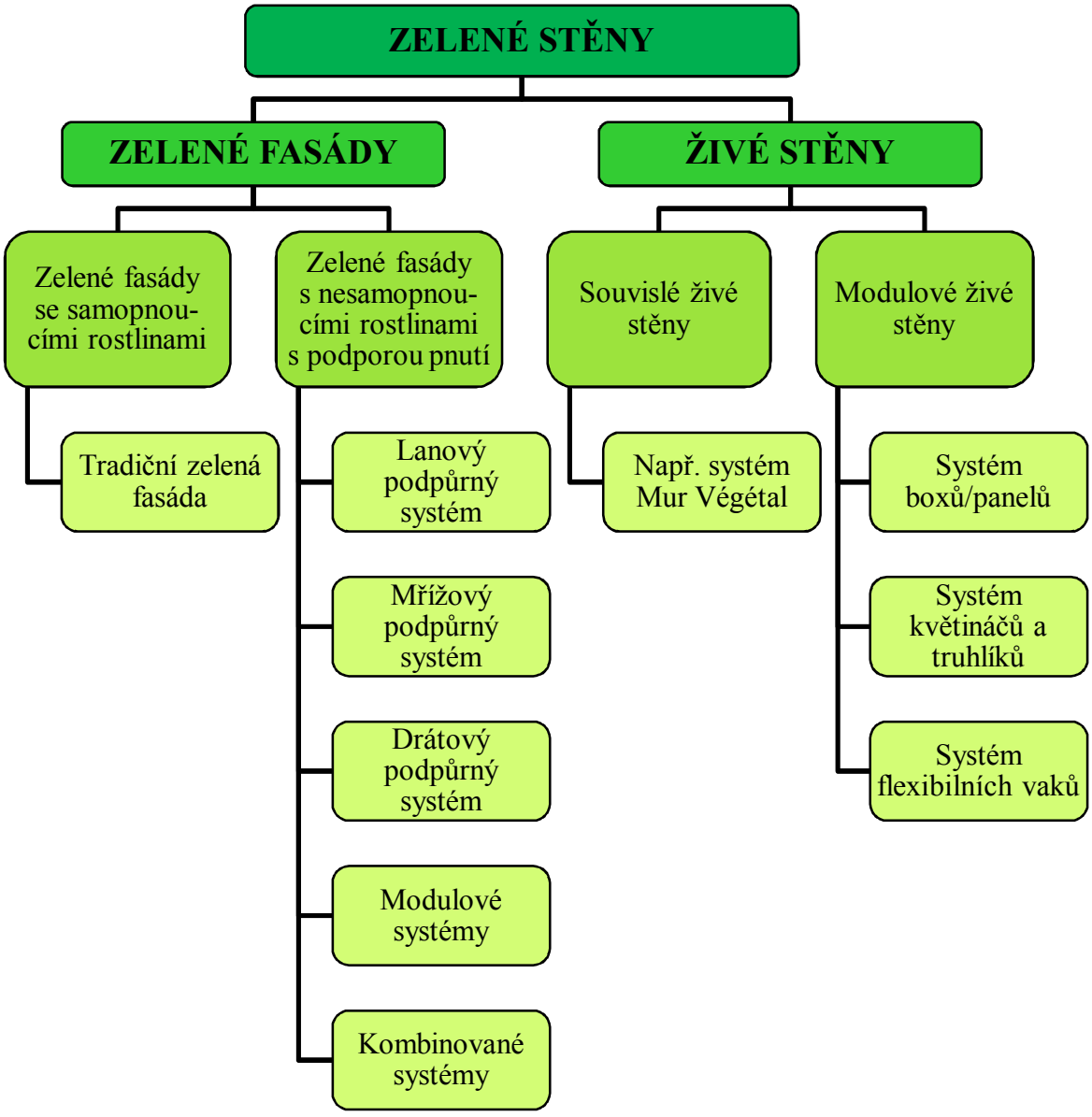
Obr. 8 - Patrick Blanc při pohledu na rostliny žijící na skále (bez zeminy). Vodopád Nam Ta, Be Be, Vietnam 2017 - [23]



VI. ZPŮSOBY OZELENĚNÍ STĚN V EXTERIÉRU

Existuje mnoho způsobů jak ozelenit stěny. Jako podklad pro rozdělení jednotlivých způsobů bylo použito několik zdrojů: Vědecký článek *„Green roofs and facades: A comprehensive review“* ze sborníku *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **[24]**; odborný článek *Vertical greening systems – A review on recent technologies and research advancement* ze sborníku *Building and Environment* (článek byl pro tuto práci poskytnut přímo ad spoluautorky Alexandry Mendlové) **[25]**; Práce na téma *Vertical Gardens* z internetových stránek *World's largest Science, Technology & Medicine Open Access book Publisher* **[26]**.

Obr. 9 - Rozdělení způsobů ozelenění stěn v exteriéru [24], [25], [26]



Základní rozdělení zelených stěn tvoří dva systémy ozelenění - zelené fasády a živé stěny. Zelené fasády je označení pro systémy, které využívají pnoucích rostlin. Zeleň roste přirozeně a pne se po obálce budovy, popř. po konstrukci upevněné na obálce budovy. Substrát je u většiny případů na povrchu blízko u fasády. Tyto systémy jsou výhodné v tom, že nespotřebovávají žádnou energii na provoz a jsou i relativně nenáročné při jejich zhotovování. Nevýhoda spočívá v jejich postupném nástupu tvaru. Těsně po instalaci vlastně není pokryta téměř žádná plocha fasády zelení. Další nevýhoda je, že dokáží vyrůst pouze do určité výšky. Z toho vyplývá omezenost jejich použití pro výškové budovy. Tyto nevýhody dokáže vyřešit jen modulový systém zelených fasád.

Živé stěny naopak mohou využívat téměř jakékoli druhy rostlin a těm vytvářejí nepřirozené prostředí ve formě podkladu (např. substrátu) ve vertikální poloze, speciálního způsobu zavlažování, nosné konstrukce apod. Tyto stěny vyžadují větší náklady na provoz. Jejich výhoda spočívá v jejich vyšší účinnosti (lepší environmentální a sociální vlivy na své okolí). Živé stěny lze instalovat na budovy bez ohledu na její výšku. Umožňují okamžité pokrytí velkých ploch fasád plně vyvinutou vegetací. Další jejich výhoda spočívá v tom, že v případě neočekávaného problému s určitým druhem rostliny ho lze snadno nahradit druhem jiným. **[24], [25], [26]**

VI.1) ZELENÉ FASÁDY SE SAMOPNOUCÍMI ROSTLINAMI - TRADIČNÍ ZELENÁ FASÁDA

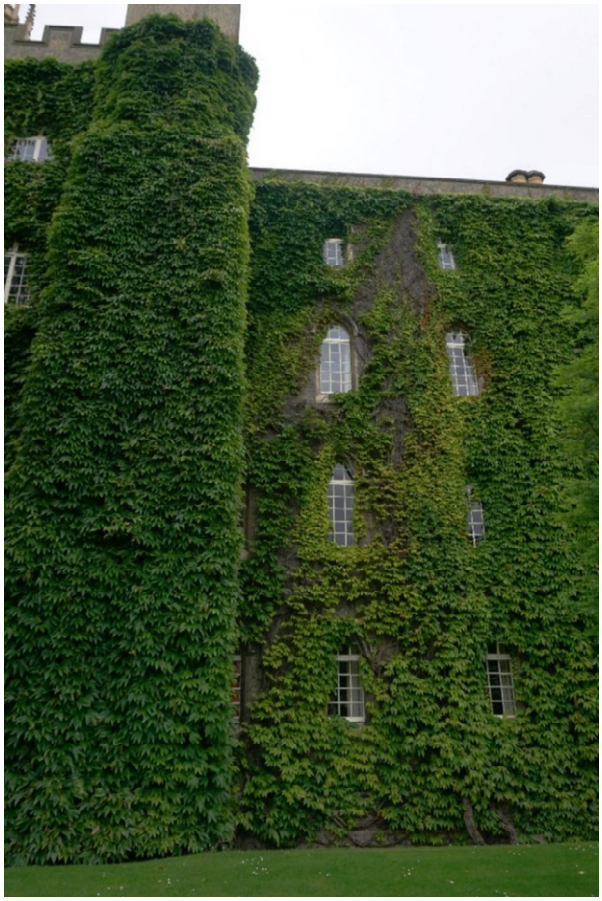
Tento způsob ozelenění stěny spočívá v tom, že rostliny používají jako podpůrnou konstrukci obálku budovy. Rostliny jsou schopné se sami pnout po drsném povrchu (režné zdivo, kámen, hrubá omítka) pomocí příčepivých kořínků nebo příchytných destiček. Z těchto výrůstků rostlina nečerpá žádnou vodu ani živiny, neměla by tedy konstrukci narušit. Pnutí rostlin do vysokých výšek je jejich přirozená funkce, kterou si zajišťují lepší přístup ke slunečnímu světlu před konkurencí. Pnoucí rostliny dokáží přijmout jakýkoli tvar podpůrné konstrukce, dají se tedy použít prakticky kdekoli. **[27], [28]** Jsou vysazovány blízko fasády v místě upraveného terénu. Substrát může být buď přímo součástí povrchu, nebo se umístí do různých dostatečně velkých květináčů.

Náklady na pořízení a údržbu této zelené fasády jsou oproti jiným řešením téměř nulové. Fasáda nepotřebuje dodávat energii ze sítě, postačuje jí slunce. Většina rostlin nepotřebuje ani žádný dodatečný přísun vody, vystačí si s vodou dešťovou. Samopnoucí rostliny většinou na zimu opadávají, takže jejich údržba spočívá pouze v odstranění

opadaných listů. Opadávání listů znamená výhodu ve formě každoroční obměny těch poškozených a zaprášených. Další výhodou těchto rostlin je jejich pestrost a barevná proměna v průběhu roku. Nevýhoda tohoto způsobu ozelenění fasád spočívá v obtížné regulovatelnosti růstu rostlin. V případě, že není tvar zelené fasády libovolný, nastává nekonečná údržba ve formě zastřihávání rostlin do požadovaného tvaru.

Obr. 10 - Schéma zelené fasády se samopnoucími rostlinami - [Autorská ilustrace]
a) rostliny vsazené přímo na terén **b) rostliny vsazené do květináče**

Obr. 11 - Příklad zelené fasády se samopnoucími rostlinami, Cambridge College, Anglie, červenec 2016 - [Autorské foto]



Obr. 12 - Příklad zelené fasády se samopnoucími rostlinami, Cambridge College, Anglie, červenec 2016 - [Autorské foto]

VI.2) ZELENÉ FASÁDY S NESAMOPNOUCÍMI ROSTLINAMI S PODPOROU PNUTÍ

Jedná se o sofistikovanější způsob tradiční zelené fasády. Ta je doplněna o systém konstrukcí, které tvoří podporu pro vegetaci. Systém podpor umožní použití více druhů rostlin, nejen samopnoucí ale i nesamopnoucí - úponkové, ovíjivé a vzpěrné. Úponkové rostliny se k podpůrné konstrukci přichytí pomocí úponků - částí listů, řapíku nebo postranních stonků, ovíjivé rostliny se okolo podpor obtáčejí celé a vzpěrné rostliny se o podpůrnou konstrukci pouze opírají a zaklesávají do ni. Vzpěrné rostliny nedosahují tak velkých výšek jako úponkové a ovíjivé. **[27], [28]** Podpory pro samopnoucí rostliny se využívají z důvodu příliš hladkého povrchu fasády (např. hliníkové panely).

Existuje několik konstrukcí, které tvoří podporu pnutí rostlin. Jedná se o různé lanové, mřížové a drátěné systémy. Dále pak existují modulární systémy s květináči a mnoho dalších podobných a kombinovaných systémů. Každý systém lze dělit ještě na směr pnutí podpůrné konstrukce, na hustotu rastru a na použitý materiál. Směr pnutí a hustota rastru se vždy volí podle druhu použitých rostlin, materiál pak volí jednotlivý výrobci. Základní systémy jsou uvedeny v další části práce.

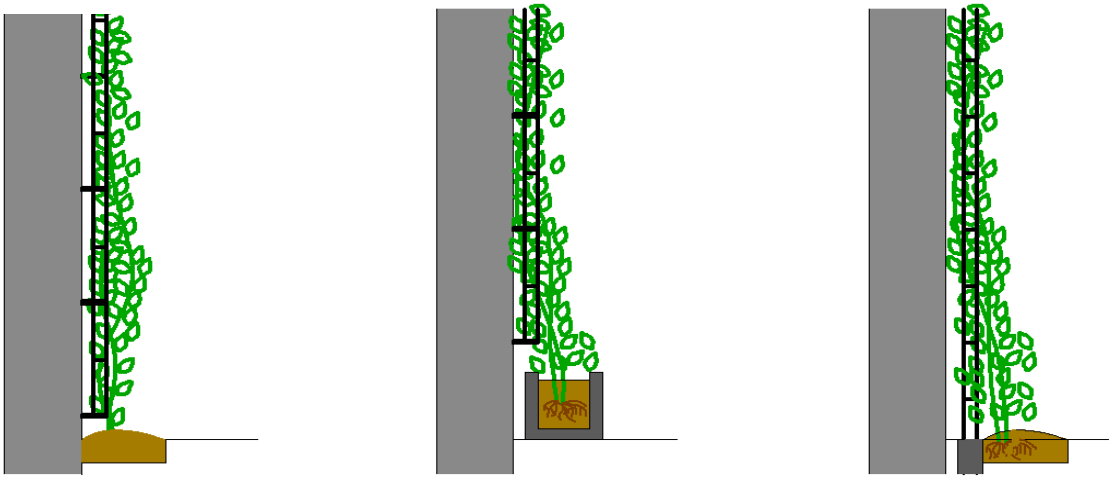
Tento způsob ozelenění fasád má oproti tradičním zeleným fasádám výhodu v tom, že lze zvolit, kde bude zeleň a kde bude volný prostor (např. okno). Rostliny totiž budou jen tam, kde bude instalováná podpůrná konstrukce.

Obr. 13 - Schéma zelené fasády s nesamopnoucími rostlinami s podporou pnutí, [Autorská ilustrace]

a) Podpůrná konstrukce připevněná k obvodové nosné stěně, rostliny vsazené přímo na terén

b) Podpůrná konstrukce připevněná k obvodové nosné stěně, rostliny vsazené do květináče

c) Podpůrná konstrukce samonosná, rostliny vsazené přímo na terén



VI.2.1) Lanový podpůrný systém

Podpůrný systém pro rostliny zde přestavuje soubor ocelových lan ukotvených na obvodovou stěnu. Lana lze využít tam, kde je potřeba vysoká pevnost v tahu, ale lze je využít i jako architektonický prvek, jak je vidět na **obr. 14 a 15**. Z lanových systémů je možné vytvořit téměř jakýkoli potřebný tvar. Pro krátké vzdálenosti jednotlivých podpor rostlin se z lan dají vytvořit sítě - viz **obr 16.**

Obr. 14 - Příklad zelené fasády s lanovým podpůrným systémem pnutí, Vila Tugendhat, Brno, říjen 2017 - [Autorské foto]

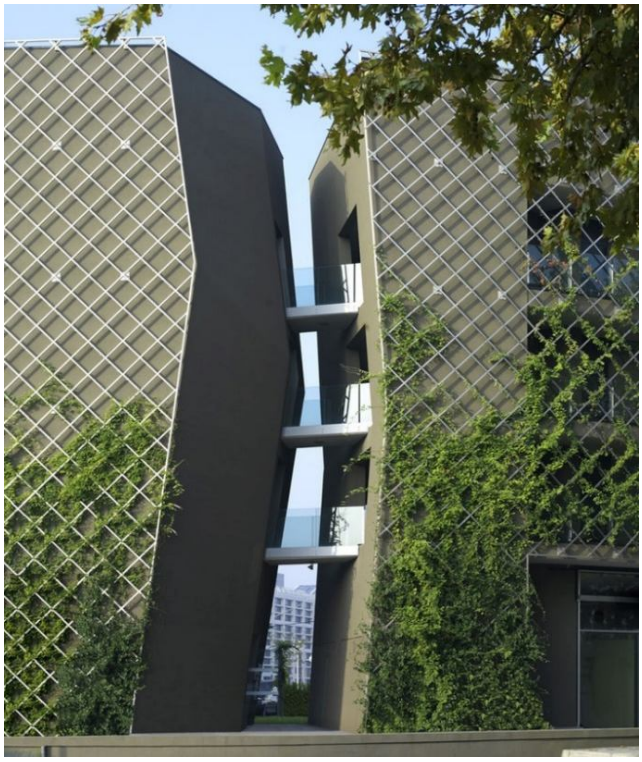
Obr. 15 - Detail kotvení a propojení jednotlivých lan, ZŠ Emmy Destinové, Praha 6, Bubeneč - [29]

Obr. 16 - Detail lanové sítě, Digital park III. 1/2, Bratislava - [29]

VI.2.2) Mřížový podpůrný systém

Mřížový podpůrný systém je určen pro objemnější rostliny s rychlejším růstem, protože jednotlivé mříže jsou od sebe ve větších vzdálenostech. Jedná se většinou o mříže z kovu, ale mohou být i ze dřeva, nebo v kombinaci. Kovový systém má velmi dobrou pevnost a může být vytvořen téměř v jakémkoli tvaru, jak je vidět na **obr. 17**.

Obr. 17 - Příklad zelené fasády s mřížovým podpůrným systémem pnutí, Ex Ducati, Itálie, březen 2009 - [30]

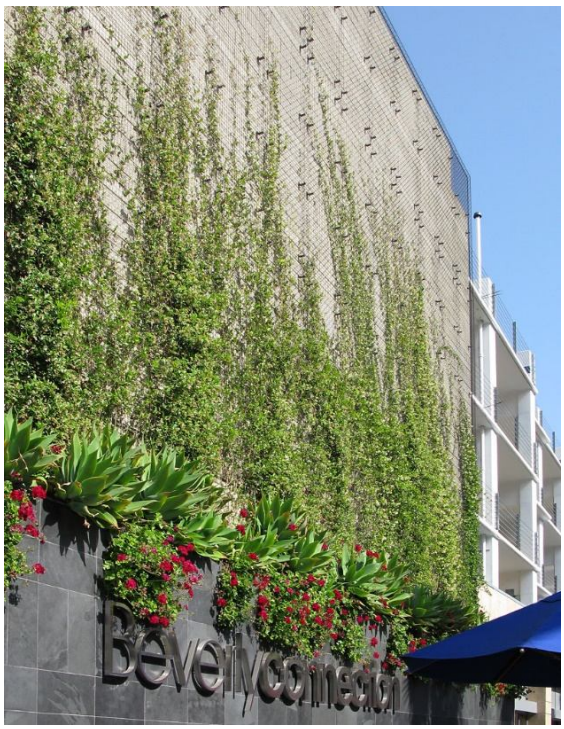


VI.2.3) Drátový podpůrný systém

Drátové systémy jsou většinou dostatečně husté, a proto jsou vhodné pro jemné rostliny s pomalým růstem. Tento systém lze aplikovat celoplošně nebo modulově. Celoplošný systém tvoří jedna drátěná síť po celé ploše stěny. Modulový systém obsahuje jednotlivé čtvercové nebo obdélníkové panely, které jsou umisťovány vedle sebe dle potřeby. Panel je vytvořen z kovového rámu s drátěným výpletem uprostřed. Drátový modulový systém je patrný na **obr. 18** a celoplošný na **obr. 19.**

Obr. 18 - Příklad zelené fasády s drátěným modulovým podpůrným systémem pnutí. Nesamopnoucí rostliny jsou pouze v místě podpůrné konstrukce a jsou vsazené do květináče.
Sofitel, Los Angeles, USA - [31]

Obr. 19 - Příklad zelené fasády s drátěným celoplošným podpůrným systémem pnutí,
Beverly Connection, Beverly Hills, USA - [31]

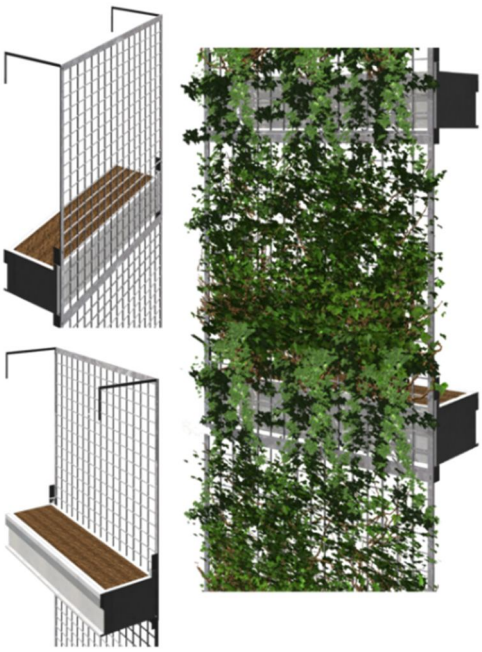


VI.2.4) Modulové systémy

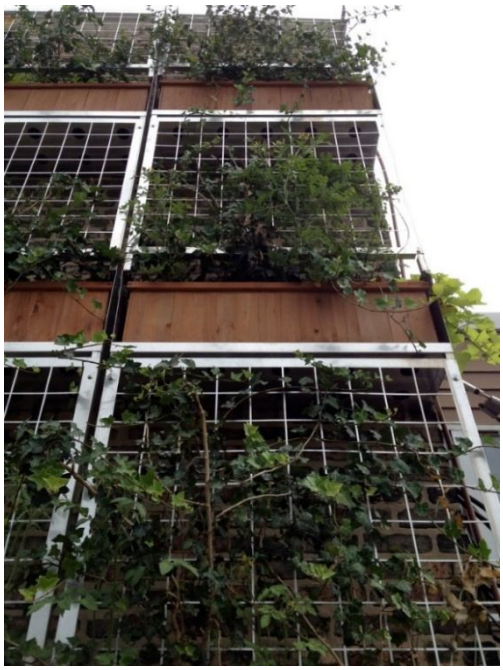
Mezi modulové systémy patří např. jeden velmi zajímavý patentovaný systém americké společnosti Omni - Omni Facade, na kterém lze vysvětlit princip všech modulových systémů. Jeden modul se zde skládá z květináče a jednoho drátěného panelu, který tvoří podpůrnou konstrukci pnutí pro rostliny z květináče. Jeden modul je na výšku jednoho patra. Tento systém řeší hned několik problémů zelené fasády uvedených na začátku kapitoly. Zeleň roste pouze na výšku patra a v každém patře, takže celá stěna je ozeleněna

za mnohem kratší dobu. Také se tím zvětšuje výběr rostlin, které lze použít k ozelenění. Výrobce dokonce doporučuje využít stěnu i pro pěstování zeleniny. Další výhoda spočívá v tom, že tento systém může být použit na jakkoli vysoké budovy. Nevýhoda tohoto systému je jeho větší hmotnost (hmotnost květináčů). **[32]** Omni Facade je vidět na **obr. 20 a 21**.

Obr. 20 - Schéma Omni Facade - [32]



Obr. 21 - Příklad realizace Omni Facade - [32]



VI.2.5) Kombinované systémy

Uvedené podpůrné systémy zelených fasád s nesamopnoucími rostlinami lze různě kombinovat. Taktéž lze různě kombinovat jejich materiály. Na **obr. 22** je vidět jeden příklad kombinovaného podpůrného systému.

Obr. 22 - Kombinace systému dřevěných podpor a rastru ocelových lan, St. Catherine´s School, Melbourne, Austrálie 2017 - [33]

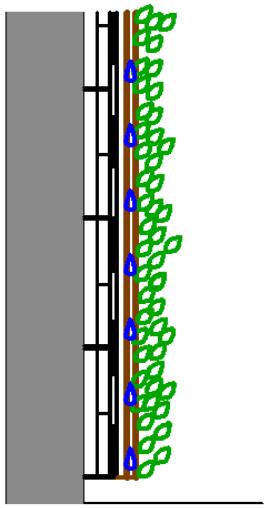
VI.3) SOUVISLÉ ŽIVÉ STĚNY

Tento systém se od toho modulového liší v tom, že je vytvořen z jedné souvislé plochy. To lze dosáhnout využitím souvislé sítě geotextilní membrány, která se rozprostře po celé ploše stěny. Tato geotextilie nahrazuje půdní substrát. Většinou je instalována ve dvou vrstvách. Na ně jsou vysázeny či vysety rostliny (pro uchycení rostlin jsou v geotextilii vytvořeny kapsy). Jedná se o druhy rostlin s malou hloubkou zakořenění a pouze s určitou hmotností. Stav živé stěny nedlouho po zasázení rostlin je vidět na **obr. 24**.

Systém souvislých živých stěn se tedy skládá z nosné konstrukce, na které je uchycena hydroizolační fólie a souvislá síť geotextilní membrány s vegetací. Nosná konstrukce je uchycena na stěnu a vytváří mezi ní a živou stěnou vzduchovou mezeru. Hydroizolace brání pronikání závlahové vody k nosné stěně objektu. V konstrukci je dále instalován systém přívodu vody a živin ke geotextilii. Nevyužitá voda a živiny odtékají po geotextilii směrem dolů, kde jsou odchytávány a opětovně využity nebo odvedeny do kanalizace. Typickým příkladem konstrukce tohoto systému je stěna Patricka Blanca Mur Végétal, která je již popsána a vyobrazena v **kap. V**. **[24], [25], [26]**

Výhoda souvislých živých stěn spočívá v její malé hmotnosti, vzhledem k tomu, že nenesou žádný půdní substrát. To přispívá k odlehčení nosné konstrukce, ale i k lepší manipulaci s jednotlivými prvky při výstavbě tohoto systému. Její souvislost tvoří další velkou výhodu z hlediska estetického. Nevýhoda tohoto systému nastává v zimním období při teplotách pod nulou. V takových podmínkách nelze zavlažovat a rostliny musí přežít na zmrzlé textilii. Rostliny, které nepřežijí, se ale po zimě snadno nahradí.

Obr. 23 - Schéma souvislé živé stěny - [Autorská ilustrace]
Souvrství zleva - stěna objektu, vzduchová mezera, nosná konstrukce kotvená ke stěně, hydroizolace, dvě vrstvy geotextilie + závlahový systém, vegetace



Obr. 24 - Souvislá živá stěna nedlouho po zasázení rostlin, Nizozemsko - [34]

VI.4) MODULOVÉ ŽIVÉ STĚNY

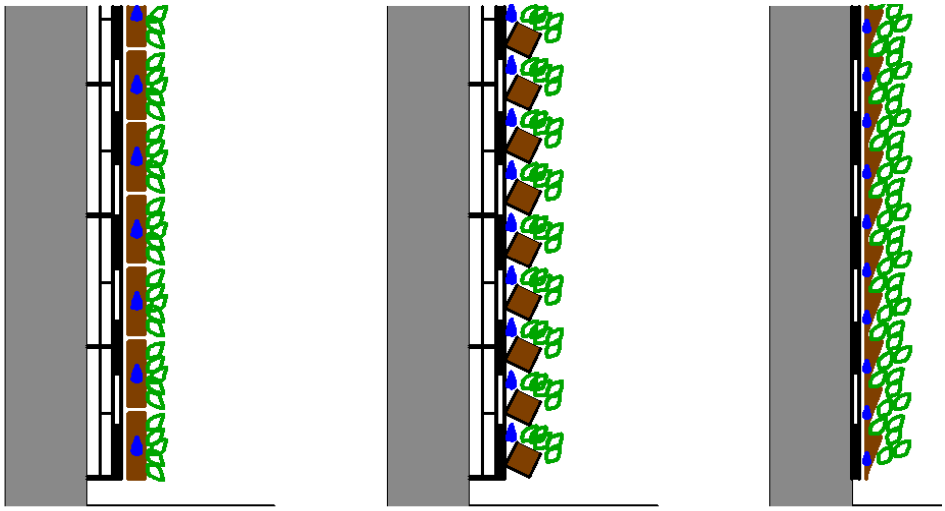
Modulová živá stěna se skládá z jednotlivých modulů. Každý modul je navržen k tomu, aby držel substrát pro rostliny a aby šel upevnit na nosnou konstrukci systému nebo rovnou na stěnu objektu. U tohoto systému se na stěnu většinou umisťují již plně rozvinuté rostliny. Ke každému modulu je zaveden přívod vody a živin. Substrát může být buď organického původu (půda, kompost, kokosové vlákno, rašelina) nebo anorganického (granulový materiál jako např. perlit, keramzit, zeolit; minerální vlna, plsť, pěna; kamenná vlna; apod.) Anorganický substrát je použit kvůli jeho menší hmotnosti. Na modulových živých stěnách lze umístit největší škálu rostlin ze všech způsobů ozelenění stěn. Jelikož modulové živé stěny na rozdíl od těch souvislých obsahují klasickou formu substrátu, mohou se zde použít i rostliny s hlubším kořenovým systémem. Rostliny s podporou substrátu mají větší šanci na přežití v zimních měsících. Důležitým hlediskem je také váha rostlin. Každý systém využívá pouze těch rostlin, které unese. **[24], [25], [26]**

Existuje celá řada modulových systémů živých stěn. Jednotlivé systémy se odlišují použitým materiálem, nosnou konstrukcí, způsobem uložení na nosnou konstrukci, výsledným vzhledem vegetace, apod. Systémy lze rozdělit dle určitých principů, které dané zástupce spojuje. Dále je uvedeno několik základních principů systémů modulů, některé jsou

předvedeny na jednom konkrétním výrobci. Jiní výrobci mohou mít své systémy pozměněné, ale princip zůstává stejný.

Obr. 25 - Schéma modulových živých stěn systémů 1), 2) a 3) - [Autorská ilustrace]

1) boxů/panelů **2) květináčů a truhlíků** **3) flexibilní vak**

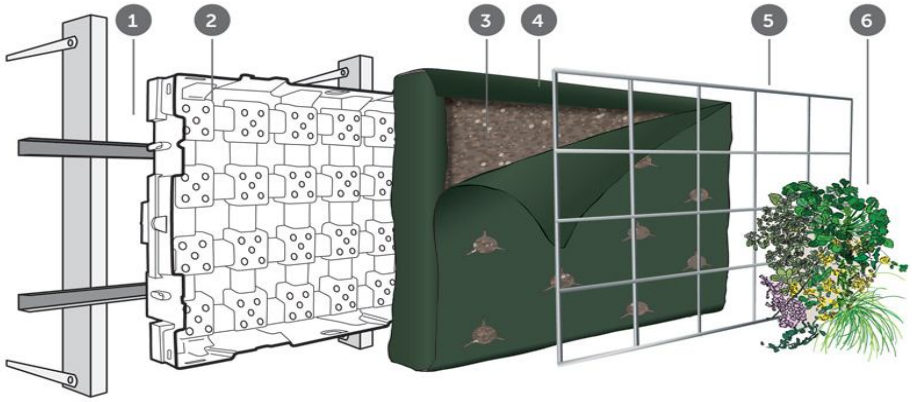


VI.4.1) Princip systému boxů/panelů

Princip tohoto typu modulárního systému živé stěny lze nejlépe vysvětlit na patentovaném systému České firmy LIKO-S. Základem tohoto systému je hliníkový nosný rám, který je přidělán přes hydroizolaci na nosnou konstrukci. Do hliníkového rámu jsou vloženy plastové boxy (jeden box cca 60 * 48 cm = jeden modul), ve kterých je umístěna fólie se substrátem. Fólie ohraničuje celý povrch substrátu, jak je vidět na **obr. 25.** Zajišťuje rovnoměrnou distribuci vody a zabraňuje vysychání. Později jsou v ní vytvořeny otvory pro vsazení rostlin. Aby fólie se substrátem v boxu držela, je celý box překryt nerezovou mřížkou připevněnou k hliníkovému rámu. Ta později zaroste do vegetace a nebude vidět. Mezi jednotlivými boxy je systém rozvodu vody a živin. **[35]**

Princip modulových systémů z boxů či panelů spočívá v jednotlivých prvcích, které jsou připevňovány na hliníkový rám vedle sebe. Systémy se liší tvarem a konstrukcí boxů a použitým substrátem - organický nebo anorganický. Systém má tu výhodu, že z něho jde vytvořit souvislou zelenou plochu vegetace. Jednotlivé obdélníkové či čtvercové moduly mohou být ale využity i k vytvoření rastrového vzoru stěny. Zeleň v boxech lze vypěstovat předem, takže zelená stěna může být těsně po instalaci většinou částečně ale i plně rozvinutá.

Obr. 26 - Princip systému boxů LIKO-S,
1 - hliníkový rám, 2 - box, 3 - substrát, 4 - fólie, 5 - nerezová mřížka, 6 - vegetace - [35]



Obr. 27 - Modulová živá stěna vytvořená systémem boxů LIKO-S krátce po instalaci - [36]

Obr. 28 - Příklad plně rozvinuté modulové živé stěny systémem boxů LIKO-S,
Na stěně není patrný rastr modulů. - [36]

VI.4.2) Princip systému květináčů a truhlíků

Systém květináčů popř. truhlíků bude představen produktem Versa Wall XT od americké firmy GSky. Tato konstrukce využívá opět nosného hliníkového rámu ukotveného na stěnu přes hydroizolaci. Na hliníkový rám se ukotví soubor truhlíků, do nichž se už jen položí rostliny přímo v květináči. Rostliny jsou v tomto systému již předpěstované, takže ihned po instalaci je zelená stěna plně rozvinuta. Jednotlivé květníky lze v systému kdykoliv vyměnit, tímto způsobem je možné změnit vzhled celé stěny. Rozvod vody je zaveden po celé délce stěny v určitých výškách (po několika řadách truhlíků). Truhlíky jsou uzpůsobeny tak, že se voda gravitačně dostane do všech. Z truhlíku se pak dále dostane do každého květináče ke každé rostlině. **[37]**

Výhodou tohoto systému je jednoduchá výměna vegetace. Využití to má hlavně v reprezentativních prostorech, kde uživatel může vyžadovat po celý rok rozkvetlé a plně vyvinuté rostliny. Nevýhodou systému je, že z něho většinou nejde vytvořit souvislá vrstva zeleně, ale tuto vlastnost lze i využít k dosažení určitého estetického vjemu.

Obr. 29 - Instalace květináčů do připravených truhlíků, systém Versa Wall XT - [38]

Obr. 30 - Příklad modulové živé stěny systému květináčů a truhlíků Versa Wall XT, I v plně rozvinuté živé stěně je vidět patrný rastr květináčů. HSBC Discovery Place, Vancouver, Kanada, 2017 - [39]

Obr. 31 - Jiný způsob, stejný princip květináčů a truhlíků, Systém Vertexx Walls od firmy Filtrexx - [40]

VI.4.3) Princip systému flexibilních vaků

Modul u tohoto systému vytváří jeden vak, který je vytvořen z flexibilního lehkého geotextilního materiálu a obsahuje několik kapes, do kterých se vkládají rostliny. Jednotlivý výrobci volí různé velikosti vaků a tedy i různý počet kapes pro rostliny. Tento vak se přes hydroizolaci zavěsí na stěnu objektu. Vaky také mohou být připevněny na pevnou desku, která se zavěsí přímo na stěnu, nebo na nosný rám opět přes hydroizolaci. Pevná deska vytvoří vzduchovou mezeru. Jednotlivé moduly (vaky nebo vaky na desce) se na zeď (nosný

rám) zavěšují vedle sebe a vytváří tak souvislou stěnu. Poté se do všech kapes umístí rostliny s určitým množstvím anorganického či organického substrátu. Rostliny se po nějaké době zakoření i do vaku. Plné rozvinutí této živé stěny nastává až po nějaké době od instalace. Výsledný vzhled může dosahovat i souvislé plochy zeleně. Rozvody závlahy jsou u tohoto systému po celé délce horního líce stěny, materiál vaků a gravitace zajistí, že se vlhkost dostane po celé stěně. U vysokých stěn musí být po výšce více rozvodů. **[41]**

Systémy boxů a květináčů jsou vždy určitým způsobem tvarově omezeny, flexibilní vaky nikoli. Jejich výhoda je, že mohou vytvořit a i kopírovat jakýkoli tvar. Naopak u systému vaků zase velmi záleží na hmotnosti substrátu a rostlin. Boxy a květináče jsou stavěny na větší zatížení. Jednotlivé rostliny lze z kapes vaku relativně snadno vyměnit.

Obr. 32 - Živá stěna ze systému flexibilních vaků v průběhu výsadby rostlin - [41]

Obr. 33 - Plně rozvinutá živá stěna ze systému flexibilních vaků - [42]

VII. ZPŮSOBY OZELENĚNÍ STĚN V INTERIÉRU

Stěny v interiérech budov je možné ozelenit stejnými způsoby jako stěny v exteriéru, proto zůstává stejné i rozdělení jednotlivých způsobů. Změna nastává pouze v názvosloví. Ozeleněné stěny pnoucími rostlinami v interiéru se nemohou označovat jako zelené fasády, protože se nejedná o fasády. Následuje několik příkladů jednotlivých systémů ozelenění stěn v interiérech ve formě obrázků.

Obr. 34 - Příklad pnoucích rostlin na zelené stěně v interiéru - [43]

Obr. 35 - Příklad živé stěny v interiéru ze systému panelů - [44]

Obr. 36 - Příklad živé stěny v interiéru ze systému truhlíků a květináčů - [45]

Obr. 37 - Příklad živé stěny v interiéru ze systému flexibilních vaků - [46]

VIII. POŽADAVKY NA ZELENÉ STĚNY

Konstrukční požadavky na jednotlivé způsoby ozelenění stěn jsou uvedeny v předchozích kapitolách u každého systému zvlášť. V této kapitole budou rozebrány požadavky na zelené stěny jako celku.

VIII.1) NOSNÁ KONSTRUKCE

U každého návrhu zelené stěny je nutné provést určité statické posouzení její nosné konstrukce, nejen té systémové (nosného rámu) ale i té hlavní (nosné obvodové konstrukce, vnitřní příčky). Tradiční zelená fasáda se opírá přímo o nosnou stěnu. Pokud se tato fasáda plně rozvine, tak nabere na objemu i váze a tím se zvyšuje riziko jejího pádu. Povětrnostní vlivy mohou pádu napomoci. **[47]** U vyšších budov je lepší i pro samopnoucí rostliny zvolit nějakou podporu pnutí, která pomůže rostlině zabránit před jejím pádem. Problém s velkou váhou rostlin může nastat i u souvislé zelené stěny, která je na toto riziko náchylná. U modulárních systémů se přepokládá využití lehkých substrátů, které nosné konstrukci odlehčují.

VIII.2) HYDROIZOLACE

Každá živá stěna by měla být opatřena hydroizolační vrstvou, která ochraňuje konstrukci objektu před navlhnutím. Je velmi výhodné, když je mezi konstrukcí objektu a živou stěnou vytvořena vzduchová mezera.

VIII.3) VÝBĚR ROSTLIN

Výběr rostlin je téma, které by zabralo na mnoho dalších podobných prací. Existuje totiž obrovské množství druhů rostlin, které je možné využít pro zelenou stěnu. Modulové živé stěny mohou využít nejvíce druhů. Při výběru rostlin je nutné si uvědomit klimatické podmínky daného místa stavby, okolní podmínky a orientaci ke světovým stranám. V subtropickém pásmu bude výběr rostlin odlišný od mírného pásma, který je ve střední Evropě. Zde bude záležet hlavně na odolnosti rostlin během zimního období. V neposlední řadě hraje roli vzhled. U zelených fasád bude hrát roli výška, dosah a rychlost pnutí a také velikost listů jednotlivých druhů rostlin pro volbu správné podpůrné konstrukce.

VIII.4) ORIENTACE KE SVĚTOVÝM STRANÁM

Orientace ke světovým stranám závisí na podstatě toho, proč je zelená stěna vůbec navrhována. Zelenou stěnu lze umístit na každou světovou stranu, pokud se použijí vhodné

rostliny, kterým nevadí celodenní světlo, či naopak častý stín. Pokud je ale zelená stěna směřována na nejvíce osluněnou stranu objektu, nastávají v letních měsících velké nároky na zavlažování. Aby zelená stěna přispěla k trvale udržitelné výstavbě budov, měla by mít nízké nároky na provoz (energie, voda, živiny). Z tohoto pohledu by zelená stěna neměla směřovat na nejvíce osluněnou stranu. Návrh orientace zelené stěny se musí přizpůsobit vždy místním podmínkám (zastínění okolní zástavbou, průběh slunečního světla během dne, směr větru, směr deště) a také provozním podmínkám budovy. **[47]**

VIII.5) PŘÍSUN VODY A ŽIVIN

Živé stěny vyžadují zavlažovací systém, který rostlinám poskytne potřebné množství vody. V zájmu trvale udržitelné výstavby budov by měla být pro závlahu využita dešťová voda. Voda by měla být obohacena o živiny, hnojiva, minerální látky, fosfáty a aminokyseliny pro zlepšení vzhledu a životnosti rostlin. Nejvíce jsou na přívod vody a živin závislé souvislé živé stěny (např. systém Mur Végétal). Jelikož tato stěna nedisponuje žádným klasickým substrátem, nedochází téměř k žádné akumulaci (jen částečně na materiálu geotextilie). V případě výpadku dodávky těchto potřebných prvků nastává pro rostliny problém. Výpadek může nastat v případě, že se rozvody ucpou, to není u malých profilů hadiček žádná výjimečná situace **[47]**. Největší problém však nastává u exteriérových stěn v zimním období při teplotě pod nulou, kdy vodu nelze dodávat, protože by systém zamrzl. Rostliny často nemusí zimu přežít. Tento problém není třeba řešit u živých stěn v interiérech.

Při přísunu vody a živin k rostlinám vzniká problém v určení jejich množství. Jedna ze strategií řešení tohoto problému spočívá v umístění senzorů do substrátu ke kořenům rostlin a také do okolí stěny. Ty zjišťují jak stav rostlin (potřeba živin, vody) tak stav okolí (vlhkost vzduchu, množství srážek, teplota, tlak) a podle toho určují množství vody a živin a dodávají je pouze tam kde je potřeba. K vyšší účinnosti systému napomáhá opětovné využití vody a živin, které by jinak odtekly do kanalizace a také již zmiňované využití dešťové vody. **[47]**

VIII.6) KANALIZACE

Odvodnění zelených živých stěn je vždy zajištěno gravitací. Ve spodní části živé stěny musí být systém na odchytávání přebytečné závlahové vody. Systém by měl být opatřen určitou filtrací v závislosti na tom, jestli bude voda opětovně využívána, či odvedena do kanalizace.

VIII.7) OSVĚTLENÍ

Zelené stěny v exteriéru nevyžadují žádné dodatečné osvětlení, na rozdíl od stěn v interiérech, které mívají s nedostatkem světla problémy. Takové stěny musí být opatřeny umělým osvětlením, které dokáže alespoň částečně nahradit to sluneční.

VIII.8) DALŠÍ UDRŽBA

Další údržba spočívá v odstraňování odpadlých listů a částí rostlin ze zelené stěny. Některé rostliny je nutné během růstu zastřihávat popř. jinak obdělávat. V případě, že je některá rostlina poškozená nebo odumřela, je nutné ji vyměnit. Výměna rostlin je snadná u živých stěn, ale u zelených fasád je velmi problematická. Výměna pnoucích rostlin znamená odstranění celé zelené fasády a poté čekání na její opětovnou plnou fázi vývinu. Odstranění uschlé pnoucí rostliny z jejího podpůrného pnoucího systému (např. drátěného) může být velmi náročné. V případě, že jsou na zelené stěně použity rostliny, které před zimou opadávají, nastává na podzim větší fáze údržby ve formě odstranění suchých odpadnutých listů.

IX. ZÁVĚR

V první části této práce bylo uvedeno několik velmi znepokojujících problémů velkých měst. Obyvatelé velkých měst jsou vystaveni znečištěnému ovzduší, velkému úbytku zelených ploch, nadměrnému hluku, vysokým teplotám vzduchu a dalším problémům, které vedou k narušení jejich zdravotního a psychického stavu. Uvedené problémy jsou v dnešní době velkým tématem k řešení. Jenže řešení nejsou jednoduchá a téměř vždy vyplívají pouze z nějakého omezení. Omezení emisí, velké omezení v automobilovém průmyslu, brzy budeme možná svědky zákazu dieselových motorů, zavádění různých zelených zón, omezení ve stavebním průmyslu, kdy od roku 2020 se budou moci stavět pouze pasivní domy. Všechna tato omezení ale nevedou k řešení problému, jen k jeho zmírnění a možná k dalším psychickým problémům obyvatel města. Je třeba hledat ještě trochu jiná řešení.

Řešení úbytku zeleně, znečištěného vzduchu, tepelného ostrova, nadměrného hluku a psychických problémů obyvatel nabízí výstavba zelených stěn a zelených střech. Jedná se o řešení, která dávají smysl a která nevyplívají z žádného omezování. Nyní přichází na řadu velký úkol, který spočívá v předání informací o významu zelených stěn a o možných způsobech zhotovování těchto stěn široké veřejnosti. Informovanost veřejnosti zajistí i nárůst skutečných návrhů a skutečných realizací zelených stěn. Tato práce se snaží k řešení daného úkolu informovat veřejnost co nejvíce přispět.

X. ZDROJE

[A] - Zákon o životním prostředí č. 17/1992 Sb. § 6 - Trvale udržitelný rozvoj, Platnost od 16. 1. 1992

[1] - *Pohodové listy hotelu Radun: Pozitivní e-občasník pro každého* [online]. 2012 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: https://radunblog.wordpress.com/2012/02/07/navrat-k-prirode-fejeton-karla-capka/

[2] - *ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD* [online]. 2012 [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: https://www.czso.cz/documents/10180/20555415/1804120426_27.pdf/d216b1ce-ec0d-48c5-bff1-7124f5a925a7?version=1.0

[3] - *Evropská agentura pro životní prostředí* [online]. 2017 [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: https://www.eea.europa.eu/cs/themes/urban

[4] - *United Nations: World Urbanization Prospects* [online]. New York, 2014 [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-highlights.pdf

[5] - Studijní podklady Fsv ČVUT - K124 - předmět Integrované navrhování budov - přednáška č. 12 - Udržitelná výstavba měst - Ing. Antonín Lupíšek, Ph.D., prof. Ing. Petr Hájek, CSc.

[6] - *Mapy.cz: Seznam mapy* [online]. 2003 [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: https://mapy.cz/letecka-2003?x=14.4378691&y=50.0501014&z=17&l=0&q=s%C3%ADdli%C5%A1t%C4%9B%20na%20pankr%C3%A1ci

[7] - *Mapy.cz: Seznam mapy* [online]. 2003 [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: https://mapy.cz/letecka?x=14.4378691&y=50.0501014&z=17&l=0&q=s%C3%ADdli%C5%A1t%C4%9B%20na%20pankr%C3%A1ci

[8] - *Evropská agentura pro životní prostředí* [online]. 2017 [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: https://www.eea.europa.eu/cs/pressroom/infografika/imisni-zatez-ve-mestech/view

[9] - *European Environment Agency* [online]. 2017 [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: https://www.eea.europa.eu/themes/human/noise/sub-sections/noise-in-europe-updated-population-exposure/#figure-1-number-of-people-in-the-eea-33-member-countries-exposed

[10] - *Portál životního prostředí města Prahy* [online]. 2009 [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: http://portalzp.praha.eu/jnp/cz/hluk/souhrnne_informace/hluk_v_praze_shmuti.xhtml

[11] - *Portál životního prostředí města Prahy* [online]. 2009 [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: http://portalzp.praha.eu/jnp/cz/hluk/hluk_z_pozemni_dopravy/index.xhtml

[12] - *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Na Šabatce 2050/17 143 06 Praha 412-Komořany [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: http://copernicus.gov.cz/documents/19/42686/05_Tepeln%C3%BD_ostrov_Praha_Moravcik.pdf

[13] - *Mendelova univerzita v Brně - eknihovna: Význam zeleně pro člověka* [online]. [cit. 2017-12-31]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=71330

[14] - INTRODUCTION BY JACQUES LEENHARDT, ESSAYS BY ANNA LAMBERTINI a PRINCIPAL PHOTOGRAPHY BY MARIO CIAMPI. *Vertical gardens: bringing the city to life*. London, 2007. ISBN 978-050-0513-699.

[15] - *WIKIPEDIE: Otevřená encyklopedie* [online]. 2017 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Visut%C3%A9_zahrady_Semiramidiny

[16] - *Bydlení iDNES* [online]. 2011 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: https://bydleni.idnes.cz/krasne-vertikalni-zahrady-zachranuji-domy-zelene-fasady-nikdo-nenici-128-/architektura.aspx?c=A110624_111117_architektura_web

[17] - *BOTANY.CZ* [online]. 2013 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: http://botany.cz/cs/brno-zahrada-mendelu/

[18] - *Vertical Garden Patrick Blanc* [online]. [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/

[19] - *Inexhibit: art, design, architecture, creativity* [online]. 2017 [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: https://www.inexhibit.com/case-studies/patrick-blanc-vertical-gardens/

[20] - *Wikipedie: otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Patrick_Blanc

[21] - *Vertical Garden Patrick Blanc* [online]. [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/node/1414

[22] - *Vertical Garden Patrick Blanc* [online]. [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/realisations/london/sky-team-lounge-heathrow

[23] - *Vertical garden Patrick Blanc* [online]. [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/patrick-blanc/portraits

[24] - článek: Green roofs and facades: A comprehensive review. (Ahmet B. Besir, Erdem Cuce), sborník: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. February 2018, Volume 82, Part 1, Pages 915-939, ISSN 13640321.

[25] - článek: Vertical greening systems - A review on recent technologies and research advancement (Alexandra Mendl, Rosemarie Stangl, Florin Florineth), sborník: *Building and Environment*. November 2017, Volume 125, Pages 227-239, ISSN 0360-1323.

[26] - Özgür Burhan TIMUR, Elif KARAC. *Vertical Gardens*. 2013-07-01. DOI: 10.5772/55763. ISBN 10.5772/55763. Dostupné také z: http://www.intechopen.com/books/advances-in-landscape-architecture/vertical-gardens

[27] - *Zahrada a příroda: Pnoucí rostliny – základní dělení* [online]. [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: http://www.zahradaapriroda.cz/pnouci-rostliny-%E2%80%93-zakladni-deleni/

[28] - *Zahrada a příroda: Popínavé rostliny – jakou si vybrat* [online]. [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: http://www.zahradaapriroda.cz/pnouci-rostliny-%E2%80%93-zakladni-deleni/

[29] - *Cablatech* [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.cabletech.cz/realizace

[30] - *Arch daily* [online]. 2009 [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: https://www.archdaily.com/16863/ex-ducati-mario-cucinella-architects/500dbf1f28ba0d66250011ad-ex-ducati-mario-cucinella-architects-imag

[31] -*Greenscreen* [online]. 2009 [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: http://greenscreen.com/projects/photo-gallery/#

[32] - *OMNI ECOSYSTEMS: OMNI FACADE* [online]. Chicago, 2017 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.omni-ecosystems.com/green-facade-3/

[33] - *ODS: Outdoor Design Source* [online]. 2017 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: https://www.outdoordesign.com.au/news-info/st-catherines-new-green-facade/5038.htm

[34] - *ModernHolic* [online]. Nizozemsko, 2011 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: http://www.modernholic.com/urban-gardening-in-the-living-walls/living-walls-in-the-netherlands

[35] - *ZELENÁ FASÁDA BY LIKO-S* [online]. 2018 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: http://www.zelenafasada.cz/zelene-fasady

[36] - *ZELENÁ FASÁDA BY LIKO-S* [online]. 2018 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: http://www.zelenafasada.cz/galerie-

[37] - *GSky Living Green Walls: Vertical By Design* [online]. [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: https://gsky.com/versa-xt/

[38] - *GSky Living Green Walls: Vertical By Design* [online]. [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: https://gsky.com/versa-xt/install/

[39] - *GSky Living Green Walls: Vertical By Design* [online]. [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: https://gsky.com/portfolio_page/hsbc-discovery-place-vancouver/

[40] - *Filtrexx Sustainable Technologies: Vertexx Walls* [online]. Ohio, USA, 2017 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: https://www.filtrexx.com/en/livingwalls/home/products/vertexx-walls

[41] - *Plants On Walls* [online]. 2017 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: https://www.plantsonwalls.com/florafelt-vertical-garden-guides/florafelt-vertical-garden-guide/

[42] - *Plants On Walls* [online]. 2017 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: https://www.plantsonwalls.com/gallery/

[43] - *Architecture Art Design* [online]. [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: http://www.architectureartdesigns.com/30-incredible-green-walls/

[44] - *GSky Living Green Walls: Vertical By Design* [online]. [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: https://gsky.com/portfolio_page/los-angeles-la-production-studio/

[45] - *GSky Living Green Walls: Vertical By Design* [online]. [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: https://gsky.com/portfolio_page/philadelphia-reed-smith-law/

[46] - *Selfbook.me* [online]. 2017 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: http://www.selfbook.me/9507/living-plant-wall-design/enchanting-wall-design-living-wall-not-sure-living-plant-wall-art/

[47] - článek: Green wall systems: A review of their characteristics (Maria Manso, Joao Castro-Gomes), sborník: *Reneweble and Sustainable Energy Reviews*. January 2015, Volume 41, Pages 863-871, ISSN 1364-0321.