

Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Katedra zahradnictví**



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Technologické možnosti venkovních zelených vertikálních stěn
se zaměřením na problematiku závlahy, modelová konstrukce
vlastního závlahového systému**

Bakalářská práce

Jan Kolda

Program zahradnictví

Vedoucí práce Ing. Pavel Matiska, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci "Technologické možnosti venkovních zelených vertikálních stěn se zaměřením na problematiku závlahy, modelová konstrukce vlastního závlahového systému" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce s použitím odborné literatury a informačních zdrojů, jež jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vyhotovením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 13.dubna 2022

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu práce Ing. Pavlu Matiskovi, Ph.D. za podněty k práci a jejímu uspořádání. Dále děkuji firmě Dynex v Buštěhradě za možnost zkoumat jejich stěnu, Stadtgärtnerei - Zentrum für Pflanzen und Bildung Zürich za možnost sledovat jejich stěny a jejich pracovníkovi panu Takkemu za výklad ke stěnám. Děkuji své partnerce za jazykovou revizi a podporu při tvorbě práce. Děkuji prof. Ing. Lukáši Kalousovi, Ph.D., Ing. Jiřímu Patokovi, Ph.D, DiS., Ing. Veronice Tůmové z katedry rybářství za podněty a náhledy při studiu na katedře rybářství, která mně do mé práce přinesla zajímavé podněty. Dále děkuji Ing. Pavlu Hamouzovi Ph.D. za odpovědi na mé dotazy a zvláště jeho kolegovi Ing. Petru Zábranskému Ph.D. za možnost studia hydroponie a spoustu zajímavých podnětů. Též děkuji Ing. Jiřímu Grulichovi za podnětné informace k některým vertikálním stěnám. RNDr. Janu Jehličkovi CSc., prof. Dr. RNDr. Jiřímu Frýdovi, a mnohým dalším pracovníkům fakulty, kteří měli trpělivost odpovídat na mé otázky. Děkuji též svým zde nejmenovaným přátelům, kteří mě navedli na moji novou cestu hledání a poznávání.

Technologické možnosti venkovních zelených vertikálních stěn se zaměřením na problematiku závlahy, modelová konstrukce vlastního závlahového systému

Souhrn

V práci byla řešena problematika mapování konstrukcí venkovních vertikálních stěn a způsobů jejich zavlažování ve střední Evropě. Řešila se jejich kategorizace podle vybraných kritérií a zaměřovala se na rozdělení popínavých rostlin pro zelené fasády. Byly zhodnoceny výhody a nevýhody zelených stěn. Důraz byl kladen na vymezení problémů současných způsobů závlahy zelených stěn a návržení dalších možných technologických řešení. Zmíněny byly také vztahy funkce vody a substrátu ve stěně.

V kapitole Metodika byly zmíněny výstupy z rešerší se zaměřením na vlastní konstrukci zavlažovacího systému, jehož funkčnost byla ověřena v zimním období.

V práci byla řešena konstrukce vlastního technologického modelu a jeho základní funkční odzkoušení na prototypovém modelu v souladu s časovým úsekem vymezeným pro bakalářskou práci.

Při studiu vlivu závlahy na vertikální stěny byla též částečně využita i pokusná stěna v areálu Demonstrační a výzkumné stanice Troja.

V rámci diskuse se došlo k závěru, že zelené stěny mohou přispívat k ozelenění měst. Zároveň však LGW zanechávají ekologickou zátěžovou stopu při své výrobě a provozu. V praktické části byla analyzována a hodnocena stěna v areálu Demonstrační a výzkumné stanice Troja a zelená stěna v Buštěhradě v areálu firmy Dynex.

Hlavní problém zavlažování stěn v Troji i Buštěhradě spočívá v obtížné kontrolovatelnosti množství a rovnoměrnosti závlahy.

Byly popsány slabiny stěn typu LGW - závislost na závlaze, časté špatné rozložení vody ve stěnách, přemokření spodních částí stěn, časté odumírání rostlin a degradace materiálu především ve spodních částech stěn. Byl učiněn závěr, že nejvíce ztrát rostlin ve stěnách způsobují přechodná období vegetačního klidu a extrémní podmínky v průběhu vegetace. Každoroční úhyny rostlin z tohoto důvodu vyžadují jejich opakovanou obnovu. Byla zkonstruována modelová kapilární závlaha.

Klíčová slova: vertikální zahrada, zelená stěna, závlahový systém, kapková závlaha, knotový systém závlahy, závlaha venkovních vertikálních zelených stěn

Technological possibilities of outdoor green vertical walls focusing on irrigation issues, model construction of own irrigation system

Summary

The Bachelor thesis dealt with mapping the construction of exterior vertical walls and methods of their irrigation in Central Europe. I solved their categorization according to selected criteria and focused on the distribution of climbing plants for green facades. I evaluated the advantages and disadvantages of green walls. I also mentioned the relationship between the function of water and the substrate in the wall. In the Bachelor thesis, I came with the design of the construction of my own technological model and its basic functional testing on a prototype model in accordance with the time period set for the Bachelor's work.

The methodology was based on research and the construction of the irrigation system, the functionality of which was verified in the winter.

During the discussion, we came to the conclusion that green walls can contribute to the greening of cities and settlements. At the same time, however, LGW leaves an environmental burden on their production and operation.

In the practical part, the green wall in the area of Troja, in Demonstrální a pokusná stanice and the green wall in Buštěhrad in the area of the company Dynex were researched.

As part of the discussion, there was a conclusion that green walls can contribute to cities. At the same time, LGW leaves the ecological stress track in its production and operation.

The practical part was analyzed and evaluated the wall in the grounds of Demonstrální a výzkumná stanice Troja and green wall in Buštěhrad in Dynex. The main problem of watering walls in Troja and Buštěhrad consists in the difficult control of the quantity and uniformity of irrigation.

LGW - type wall weaknesses have been described - transdiction on irrigation, poor water distribution in walls, overshoot of walls, deprivation of plants and degradation of the material, especially in the lower parts of the walls. It was concluded that the most plant loss in the walls causes a transitional period of vegetation calm and extreme conditions during vegetation. For this reason, annual plants death require their repeated recovery.

A Model capillary irrigation was constructed.

Keywords: vertical garden, green wall, irrigation system, drip irrigation, wick irrigation system, irrigation of outdoor vertical green walls

Obsah

1 Úvod	8
2 Cíl práce	9
3 Literární rešerše	10
3.1 Rozdělení stěn obecně	10
3.1.1 Rozdělení konstrukcí zelených stěn	10
3.1.2 Rozdělení popínavých rostlin pro zelené fasády	13
3.1.3 Přednosti zelených stěn.....	14
3.2 Zavlažovací systémy	15
3.2.1 Úvod do zavlažovacích systémů.....	15
3.2.2 Dosavadní stav techniky průmyslově chráněných vzorů	18
3.2.3 Nové technologie v závlahách	20
3.2.4 Odhad spotřeby vody	20
3.2.5 Sběr vody z mlhy.....	21
3.2.6 Využití šedé vody v LGW.....	22
3.3 Funkce vody a substrátu	22
3.4 Zásobení rostlin živinami	27
4 Metodika	28
5 Výsledky	29
5.1 Návrh rozdělení konstrukcí stěn	29
5.1.1 Přímé fasáda a nepřímé fasády	29
5.1.2 Zelené stěny na samostatných konstrukcích a živé ploty.....	31
5.1.3 Prosté živé zelené stěny	32
5.1.4 Kontinuální živé zelené stěny	33
5.1.5 Modulární živé zelené stěny	35
5.1.5.1 Hydroponický systém modulárních živých zelených stěn	36
5.1.6 Kinetické živé zelené stěny	37
5.1.7 Zelené vertikální stěny na mobilních konstrukcích	38

5.2 Návrh vlastní konstrukce závlahy	38
5.2.1 Vaková kapilární závlaha - vlastní návrh řešení	38
5.2.2 Technické řešení závlahy	39
5.2.3 Přednosti nového závlahového systému	40
5.3 Stěny v areálu Demonstrační a výzkumné stanice Troja	41
5.4 Příklad chyb závlahy na konkrétní stěně v Buštěhradě	43
5.5 Výhody a nevýhody zelených stěn	44
6 Diskuze	45
7 Závěr	46
8 Literatura	47
9 Seznam použitých zkratk a symbolů	49
10 Samostatné přílohy	49

1 Úvod

Zhušťující se zástavba a nadměrná urbanizace především ve větších městech a metropolích vybízí k vzrůstající potřebě ozelenování netradičních ploch a k celkové ekologizaci městské zástavby. Díky stavebnímu boomu v posledních desetiletích dochází k velkému úbytku zelených ploch uvnitř městských aglomerací a v důsledku toho ke vzniku městských tepelných ostrovů. Zvyšující se podíl polutantů v městském prostředí vede ke ztrátě původní funkčnosti místního mikroklimatu a navazujících ekosystémů, která se následně odráží nejen na zdraví a sociální struktuře lidské populace, ale začíná mít i důsledky pro celkové klima v dané lokalitě.

Nové trendy ve vývoji vertikální zeleně se snaží využít dosud opomíjené prostory pro omezení některých nepříznivých efektů nadměrné urbanizace a spojit výhody ozelenění vertikální zelení s přínosy pro budovy samotné. Ozelenění má příznivý vliv na snížení tepelných výkyvů, nadměrného slunečního albeda, na stále se zvyšující hladinu akustického tlaku a polutantů. Zmírňuje neblahé účinky nízké akumulace vody v zástavbě především po přívalových deštích, zahlcujících prostor a sběrnou kanalizaci nadměrným množstvím vody. Zkouší se nové technologie využití LGW k čištění šedé vody pocházející z ozeleněných budov. Jsou registrovány nové technologie k zachytávání vlhkosti z ovzduší a její využití k závlaze těchto stěn.

Nově vznikající směr se snaží navodit ekonomicky udržitelný a ekologičtější přístup našeho společenství. Otázkou zůstává, zda tento nový směr pouze nezakrývá důsledky nadměrné urbanizace prostoru, neochotu a neschopnost řešit skutečné problémy vytvořené nekompetentním přístupem odpovědných lidí. Spočítá-li se skutečná ekologická zátěžová stopa od těžby, výroby až po provoz LGW, není jisté, zda se ekologická zátěžová stopa nepřenáší na jiné místo.

2 Cíl práce

Tato práce se zabývala kategorizací stěn a především problematikou zavlažování vertikálních stěn v přechodných obdobích zimních a jarních měsíců, kdy rostliny spolu s nedostatkem závlahy trpí i rychlým střídáním teplot během dne a noci. Provedení a nedostatky zavlažování byly studovány na pokusných stěnách v zahradě ČZU v Troji, na stěnách firmy Němec, umístěných na pozemcích fakulty ČZU v Suchdole, na stěně firmy Dynex v Buštěhradě, dále na stěnách Stadtgärtnerei - Zentrum für Pflanzen und Bildung Zürich a stěnách umístěných před nádražím ve Wallisellen, Zürich a dalších stěnách.

Byl navrhnut vlastní návrh a model nové závlahy podle zjištěných poznatků.

3 Literární rešerše

Systemy zelených stěn se neustále vyvíjejí, aby se staly efektivnějšími, ekonomičtějšími, stabilnějšími, udržitelnějšími a vícestranně využitelnějšími. Rozvoj systémů zelených stěn se dnes různě rychle rozvíjí dle klimatických, stavebních, ekonomických, sociálně politických a uživatelských hledisek a nároků. Snaha společnosti ekologizovat města vytváří velký tlak na rozvoj nových technologií v této oblasti. Stále však zatím převládá spíše estetika a reprezentační image. V interiérech začíná převládat mimo estetiky a propagace vlastníka i ovlivnění mikroklimatu. V exteriérech se začínají objevovat technologie umožňující i čištění "šedých vod". V našich střeoevropských podmínkách se stěny zatím využívají spíše jako estetický prvek. Rozvoj zelených stěn jako konstrukčního prvku výrazněji zlepšujícího tepelnou bilanci budov a jejich okolí je u nás teprve v počátcích. Částečně k tomu u přispívají jak naše klimatické podmínky, tak i společenskopolitické postoje naší společnosti. Literární rešerše se zaměřují na rozdělení stěn podle typů. Dále se věnují problematice závlahy, jejího vhodného využití, používaných druhů a nových způsobů zavlažování.

3.1 Rozdělení zelených stěn obecně

3.1.1 Rozdělení konstrukcí zelených stěn

Technickým rozdělením stěn se zabývala studie od autorů Manso a Castro-Gomez (2015), Green wall systems: A review of their characteristics. Autoři studie rozdělují zelené stěny na dvě hlavní skupiny zelené fasády a zelené vegetační stěny.

Mezi zelené fasády zařazují tradiční popínání fasád, potažmo zdi popínavými rostlinami rostoucími v prosté půdě případně v nádobách. Podskupiny zelených fasád dělí na rostoucí na opoře a bez opory přímo na zdi. Mezi ně řadí popínavé rostliny rostoucí v prosté zemi, případně v nádobě. Jejich rozdělení je akceptovatelné, i když pod pojmem popínavé rostliny rostoucí v nádobě by bylo možné zahrnout i typ který se využívá v modulárních zahradách - truhlíkový typ. Případná rozdílnost v provedení závlahy nádobového a truhlíkového typu není uvedena. Uvádí možnost růstu popínavých rostlin vzhůru i dolů. Ve studii není přímo zmíněna možnost pokrytí stěn shora dolů, které se používá např. u opěrných zdí v rostlém terénu, kdy jsou rostliny vysazeny místo u paty zdi na její koruně v prosté půdě.

Skupinou zelených vegetačních stěn (označení LGW) autoři označují ostatní stěny, nespojené se zemí, u nichž je nezbytný závlahový systém. Rozdělují je na kontinuální s odlehčenými stěnami fungující bez substrátu, na ve své podstatě hydroponické závlaze (Mur Végétal) a modulární -

stavebnicové, jež rozděluj dále na přihrádkové - sadbovačového typu, nádobové, stěny obložené květináči a tvořené elastickými kapsami. Stavebnicové zelené stěny jsou většinou substrátové, ale mohou být i čistě hydroponické. Mezi sadbovače zařazují též pěstební materiály v souvislých blocích přidržené mříží.

Autoři utváří rozdělení do dvou kategorií. První kategorií jsou zelené fasády dále rozdělené na přímé - přímo popínající fasádu a nepřímé popínající fasádu, na které je upevněna konstrukce. Konečným rozdělením jsou 3 samostatné skupiny. Druhou kategorií jsou samostatné zelené stěny dále rozdělené na stavebnicové - modulární s 4 samostatnými skupinami a souvislé - oddělené jako samostatná skupina.

Autoři studie se dále zabývají systémovými požadavky na konstrukce a zapojení zelených stěn, nosnými konstrukčními prvky a též další problematikou spojenou se stěnami.

Ve své studii nastiňují problematiku zavlažování a odvodnění LGW, kde především zdůrazňují problematiku rovnoměrného zavlažování, využívající k závlaze především kapkový systém s využitím gravitace a částečně i postřikovače. Zabývají se i životností a nákladovostí konstrukce stěn.

Podle Buriana (2019) vertikální zahrada představuje střešní zahradu nakláněnou dle úhlu sklonu od 0° až k 90°, tedy do vertikální polohy. Stěny dělí mezi přímo vertikální přecházející k šikmé střešní až po vodorovné střešní, případně jejich různé kombinace. Zásadní rozdíl mezi zelenou fasádou a vertikální stěnou spatřuje v rozdílném místě, kde vegetace koření. U vertikální stěny poukazuje na snížený půdorys pro zachytávání srážek a zároveň na rychlejší odtok zachycených srážek než u střešní zahrady. S příjmem závlahy srážkami u čistě vertikálních stěn nepočítá vůbec. Stěny jsou dle jeho názoru odkázány pouze na závlahový systém. LGW dělí na policové s vegetačními nádobami a další typy. Druhým typem stěn jsou modulární. Boxové nebo kazetové u nichž předpokládá montáž již osázených předpěstovaných modulů. U nich předpokládá v případě úhynu výměnu celého modulu. Jako třetí typ uvádí plošné konstrukce z metráže s výsadbou rostlin uskutečňovanou až po dokončení montáže celé konstrukce. U těchto plošných konstrukcí uvádí zhoršenou možnost výměny poškozených konstrukčních prvků. Především tedy výměny závlahových trysek a čidel. Samostatně poukazuje na Blancovy textilní bezsubstrátové systémy, které jsou dle jeho názoru pro naše klimatické podmínky zcela nevhodné. Poukazuje na možnost kombinace textilních stěn se substrátem.

Boxové systémy ve stěnách jsou podle Buriana (2011) výhodnější. Rostliny rostou v horní části substrátu a mají možnost zaplnit volný prostor v případě úhynu některých jedinců. Též u kazetových systémů vidí výhody v bezpřekážkovém prorůstání rostlin do uvolněných míst. Kazety však musí být zajištěny mřížkou proti vypadávání substrátu a rostlin.

U plošných konstrukcí Burian (2019) upozorňuje na problematiku sesedání se na sebe navrstvené velké vrstvy substrátu a zrychlení průtoku závlahy substrátem. U vertikálních stěn celkově upozorňuje na problematiku upevnění rostlin, jež mohou snadněji ze svislé stěny vypadnout. Okrajově se nabízí i možnost stropních stěn.

Poláčková (2016) ve své bakalářské práci Vertikální zahrady na konstrukcích dělí stěny do tří skupin podle Buriana, na střešní, vertikální a ostatní. Vertikální zahrady uvádí jako zeleň vedenou na konstrukcích, nebo v původním terénu. Vertikální zahrady dále dělí na exteriérové a interiérové. Za vertikální zahrady označuje systémy nespojené s půdou. Ve své práci zároveň odkazuje na Burianův projev v semináři o vertikálních stěnách z roku 2010. Dál podle Pejchala (2011) autorka dělí systémy na policové, modulární (kazety, lože, atd.), substrátové desky, žlabové systémy, porézní povrchy, plošné konstrukce (textilní, substrátovo textilní).

Edukační panely Stadtgärtnerei - Zentrum für Pflanzen und Bildung Zürich (2019)

Plošný - kontinuální systém kapes.

Jedním typem zelených vertikálních stěn v Městském zahradnictví Zürich je kapsový systém. Základ stěny tvoří lehká hliníková konstrukce umístěná na fasádu s možností odvětrávací dilatace (8 cm provzdušňovací mezera) mezi konstrukcí a fasádou, nebo integrací přímo do fasády se zadní izolační stěnou z plastu. Na konstrukci je umístěna jedna vrstva netkané sešívané flísové kapsy a 3 textilní vrstvy plněné substrátem v nichž jsou vsazeny rostliny. Hmotnost celé konstrukce je udávaná 26 kg/m². Zavlažování je vyvedeno kapkou do flísových kapes. Je řízeno řídicí jednotkou, která zároveň obstarává dávkování živin. Celá závlaha je provedena jako cirkulační se zásobní nádrží a udržuje se do teplot klesajících až k bodu mrazu. Jako výhoda popsaného systému je udávána nižší náchylnost k zatížení větrem.

Modulární lamelový systém se substrátem.

Systém je tvořen z pozinkovaného oplechovaného rámu o rozměrech 160 cm na 150 cm a příčných lamel jako držáku substrátu. Hloubka rámu je 12,5 cm. Hmotnost modulu je 180 kg. Závlaha je prováděna skrze automatizovaný systém řízený řídicí jednotkou do teplot k bodu mrazu. Přebytková závlaha se shromažďuje v zásobní nádrži, filtruje a odvádí se k recyklaci.

Policový systém.

V systému jsou rostliny kořeněné v jednotlivých sklolaminátových nádobách, naplněných substrátem střešního typu, namontovaných na nosnou zeď spolu s vnější drátěnou konstrukcí k popínání rostlin. Využívají se rostliny popínavé a převislé s možností doplnění podsadbových rostlin. Nádoby jsou napojeny na automatizovaný mrazuvzdorný závlahový systém s kontrolovanou výškou hladiny závlahy v nádobách.

Ozelenění fasády s popínavým vedením.

Popínavé rostliny jsou vysazeny přímo v půdě u fasády odkud čerpají vláhu a živiny. Dle druhu se rostliny po fasádě popínají samostatně, nebo u dalších druhů jsou přichytávány ke svislému lankovému vedení majícími dle potřeby rostlin i příčné vedení lanek. Rostliny mohou být dodatečně zavlažovány ručně, nebo zavedenou kapkou.

3.1.2 Rozdělení popínavých rostlin pro zelené fasády

Popínavé rostliny pro zelené fasády je možné rozdělit podle charakteristického způsobu růstu. Jednou ze skupiny rostlin pro zelené fasády jsou rostliny úponkaté, přichycující se k podpěře pomocí přeměněných listů, nebo postranních stonků v jednoduché případně rozvětvené úponky. Tyto úponky se většinou kolem podpěry spirálovitě obtáčejí.

Další skupinu tvoří ovíjivé rostliny, které mají většinou dlouhé letorosty, obtáčející se pravotočivě, nebo levotočivě kolem podpěry. Charakteristickým reprezentantem této skupiny jsou např. druhy *Wisteria* (Nutt.). Skupina kořenujících popínavých rostlin tvoří na větvičkách husté, 1 - 2 mm dlouhé výrůstky, podobné kořenům, jimiž se přidrží hrbého podkladu. Mezi kořenující a zároveň i úponkaté rostliny se zařazuje *Parthenocissus tricuspidata* (Planch.) a *P. quinquefolia* (S. et Z.).

Součková (2000) jako samostatnou skupinu ne přímo popínavých rostlin označuje vzpěrné rostliny, opírající se např. trnitými výhony (popínavé růže, *Lycium barbatum* (L.)), případně opírající se o podporu dlouhými výhony, (např. *Euonymus fortunei* 'Emerald'n Gold').

Burian (2011) rozděluje popínavé dřeviny do kategorií vzpěrné (šlahounovité), pnoucí kořenující dřeviny, ovíjivé dřeviny, úponkaté pnoucí dřeviny a úponkaté dřeviny s adhezivními terčíky. V popisu pnoucích dřevin dále uvádí jejich důležité morfologické vlastnosti a přidává mapu ČR rozdělenou do klimatických zón.

Kleinodová (2004) uvádí, že rostliny pro zelené fasády jsou většinou sázené u paty domu, kde nabírají závlahu z rostlé půdy. Často zároveň pomáhají vysoušet základy domu. Mohou být však vysazeny i opačně v prosté zemině za korunou opěrné zdi a přesahovat shora dolů i do stran podle potřeby záměru pokrytí.

Popínavé rostliny mohou být též vysazovány do velkoobjemových truhlíků umístěných u paty, koruny, případně v určité výšce zdi, konstrukce. Urychluje se tím pokrytí zamýšleného prostoru a zároveň tento způsob snadno umožňuje navýšení výšky popínání, použití různých designových variací využitím různých druhů rostlin. Umístění do velkoobjemových truhlíků bývá časté i z prostých technických důvodů. Někdy není možné využít rostlého terénu pro nedostatek kořenového prostoru kvůli překážkám v podobě inženýrských sítí. Někdy poskytují truhlíky lepší ochranu paty a kořenového balu popínavých rostlin.

3.1.3 Přednosti zelených stěn

Ozeleněné fasády zlepšují klimatické podmínky v bezprostředním okolí domu. Velká zelená hmota váže prach a výfukové plyny a uvolňuje kyslík a vodní páru. Tepelné rozdíly mezi ozeleněnými a neozeleněnými stěnami mohou představovat až několik stupňů Celsia.

Kleinoldová ve své knize uvádí, že zelené fasády rozhodujícím způsobem přispívají ke zlepšení klimatických podmínek a koloběhu vody v zastavěných oblastech.

Zdi budov pokryté zelení neakumulují tolik energie ze slunečního záření, nedochází k velkým teplotním výkyvům. Zeleň svými listy chrání zdi před promočením přívalovými dešti, uvolňuje vodní páru od ovzduší a předává tím vodu do oběhu. Chrání tak fasádu před horkem i chladem, rychlými výkyvy počasí (Kleinold 2004).

Podle pokusů učiněných v Praze na frekventovaných místech bylo na listech lip na 1 cm² svrchní strany listové čepele zjištěno 13 kolonií mikrobů, na spodní straně pouze 5 kolonií. V létě bylo napočítáno v 1 l velkoměstského vzduchu na ulici bez stromů 10180 prachových částic, kdežto v ulici vroubené stromy pouze 3040 částic a v parku dokonce jen 1180 částic. Clona, ve které se střídají pásy stromů a keřů s travnatými pruhy zachytí 10krát více prachu než stříhaný trávník (Mára et al.1982).

Autor tvrdí, že zeleň se chová jako špatný vodič tepla, zároveň jeho velké množství pohlcuje. Čím je porost souvislejší, tím má větší vliv na teplotu prostředí. Zeleň má vliv též na snižování hluku. Svou variabilní plochou odráží akustický tlak různými směry.

V létě bývá teplota vzduchu v parcích až o 3,5°C nižší než na sousedních vydlážděných plochách. Zeleň o šířce 40 - 50 m pohltí asi 20 - 25 dB, a to hlavně ostré tóny. Bez olistění dřeviny snižují akustický tlak o 2 - 5 dB. V zemi kořenový systém dřevin odstiňuje šíření zvukových vln a akustický tlak snižuje o 7 - 10 %.

Autor v knize dále píše, že zeleň má vliv na snižování obsahu mikroorganismů a prachu v ovzduší. Zeleň, na níž se zachycují mikroorganismy, se proti škodlivým mikroorganismům brání vylučováním specifických látek silic, pryskyřic, fytoncidů, které zpomalují nebo zastavují jejich množení (Mára et al.1982).

Davis a Himer (2015) uvádí, že :

Tento výzkum naznačuje potenciál pro integraci rovnice FAO-56 Penman Monteith Equation do budoucího návrhového nástroje, který usnadňuje použití vertikálních zahrad jako odpařovacích chladičů v konstrukčních návrzích budov.

3.2 Zavlažovací systémy

3.2.1 Úvod do zavlažovacích systémů

Pěstební prostor rostlin pěstovaných v LGW nemá stejné podmínky jako rostliny rostoucí v přírodě v prosté půdě. Teplotní a vodní poměry se tak nemohou přirozeně vyrovnávat, jako tomu dochází např. na louce. Zásobování vodou LGW a s tím i spojená regulace teplotních poměrů v rostlině i jejím okolí závisí na bezchybné funkčnosti automatických zavlažovacích systémů a jejich správném nastavení. Správná a dobře časovaná závlhka spolu s dodávkou živin je základním předpokladem dobré prosperity nejen LGW. V závlhách je nutno vycházet z podmínek na kterých jsou stěny instalovány. Volné umístění jedné menší kapsové textilní stěny bude mít stejný nebo větší odpar proti násobně větší např. nádobové stěně. Rozlehlejší stěna má lepší potenciál vyrovnávat klimatické podmínky ve svém okolí, než pouhý malý ostrůvek zeleně ve "vybetonovaném" prostoru, akumulující značné množství denního slunečního záření a tepla i ze svého okolí. Pravidlo platí též pro volně vysázenou zeleň, která může svým působením rovněž ovlivňovat prosperitu LGW.

Použití různých materiálů na konstrukce a na pěstební média, využití různých způsobů závlah, ale i druhů rostlin významně ovlivňuje spotřebu vody v závlaze. Značný význam na spotřebu má nejen aktuální počasí a celkové místní klimatické podmínky, ale i střídání ročních období. Na jižních, více sluncem vyhřívaných stěnách umístěných navíc v husté zástavbě s vyšší teplotou vzduchu, kde je ovzduší především suché a prašné, bude spotřeba závlahy relativně vyšší oproti jiným umístěním. V těchto podmínkách je odpar vody daleko vyšší, kdy teplota akumulovaná v okolí ohřívá nadměrně LGW i volně rostoucí rostliny. Rostliny v samotném důsledku potřebují kompenzovat spotřebu vody pro transpiraci i na své ochlazení. Můžeme předpokládat, že při silném vzestupu teplot nad limity únosnosti vysazených rostlin může dojít k úhynu i při dobré závlaze. V extrémních podmínkách, které se poslední dobou stále častěji vyskytují, je ochlazení rostlin ve stěnách rosením nebo mlžením celkového prostoru kolem stěn nezbytnou zálohou.

V zimním období jsou vegetační podmínky stěn ještě horší než v letním vegetačním období.

Denní střídání teplot s nedostatkem závlivky zvyšuje riziko úhynu rostlin. Závlhka stěn není téměř žádná. Ani u temperované závlahy není situace o moc lepší. Je třeba reagovat na chladné a teplé dny, kdy se část závlahy spotřebuje více evaporací než samotnou transpirací rostlinami

U temperovaných závlah často dochází k přesycení stěn závlahou. Navíc přebytečná, různě odkapávající voda na stěnách poměrně rychle vytváří i za menších mrazů ledové krusty. Přes zimu je spotřeba závlahy rostlinami silně omezena. Temperování závlahy za podpory denního osvětlení může mít za následek předčasné probuzení některých rostlin a po soumraku s ochlazením okolního

prostředí vzniká náhlý tepelný šok. Vůbec největší tepelný skok vzniká po nočním zamrznutí ráno za úsvitu, kdy téměř kolmo dopadající sluneční paprsky mají na rostliny značný tepelný efekt. Nejnáročnější z tohoto hlediska je v našich klimatických podmínkách období od poloviny února až do plného jara.

Z předchozího vyplývá, že intenzita závlahy má v každém ročním období velké množství činitelů. Je potřeba rostliny ve stěnách nepřelévat, ale ani nenechávat uvadat. Nejlepší doba závlahy pro rostliny je ráno. Zvláště v teplých letních měsících. Každá rostlina tak má pro nadcházející den ve svých tkáních dostatečné zásoby vody. Největší spotřeba vody připadá právě na den, kdy rostlina transpiruje a zároveň musí odpařováním vody regulovat svoji optimální teplotu.

Vhodná je i večerní zálivka doplňující přes den ztracené zásoby. V parných dnech, kdy významně klesá zásoba vody v rostlině i substrátech, je třeba řešit závlahu podle jejich okamžité potřeby.

Při zavlažování rostlin postřikováním přes springlery nebo zmlžovací trysky je potřeba používat neznečištěnou, nezávadnou vodu bez obsahu solí. Tvrdá voda zanechává na listech rostlin, ale i na konstrukcích vysrážené soli. Zároveň poškozují vzhled rostlin a snižuje jejich asimilační schopnosti. Postřiková voda má tedy být v zásadě čistá, maximálně s občasnou dávkou živin v koncentraci vhodné pro listovou výživu. Závlaha postřikem s dávkou živin pro listovou výživu nesmí být dávkována ráno před nastupujícím úpalem. Docházelo k popálení listové plochy. Pro tento způsob přihnojování je vhodné období navečer, kdy zůstávají listy déle ovlhčené a živiny se stihnou z povrchu rostlin vstřebat.

Závlaha neustále odkapávající z kapkovačů po malých dávkách substrát ustavičně provlhuje a zároveň z něj vytlačuje veškerý vzduch potřebný pro dýchání kořenů. K tomu se přidává i soustavné vyplavování živin, které se odplavují spolu s jemnými částicemi substrátu. Popsaný jev byl patrný na experimentálních stěnách ČZU v Suchdole, kde v místech výtoku kapkačů prolínaly substrátem doslova krátery. Při přemíře závlahy dochází ke kořenové asfyxii a kořeny následně uhnívají. Uvedená skutečnost v plném pojetí neplatí pro bezsubstrátové stěny na principu hydroponie. I u nich je potřeba zvolit neoptimálnější množství a intenzitu závlahy, aby nedocházelo k extrémům. Je nutno si uvědomit rozdíl mezi kapkou použitou např. v sadu s velkou plochou půdy a v LGW, kde je prostor pro kořeny minimální. V horách si můžeme povšimnout rostlin rostoucích na stěnách, kde pravidelně stéká po stroužcích voda. V tomto prostředí rostliny narostly samy a zcela se přizpůsobily podmínkám místa. I u nich nastává období klidu, v němž je závlaha nízká nebo téměř žádná.

Je nutné mít na zřeteli, že teplota zálivky se má přibližovat teplotě substrátu. U tenkostěnných LGW lze konstatovat, že teplota substrátu se rovná teplotě okolí. Stěny nemají možností substrátem účinně odvádět přebytek tepla na jiné místo. Pokud se nachází zásobní a recyklační nádrže stěn pod povrchem, musíme počítat s tím, že z nich bude zálivka o hodně chladnější. Pokud se takto

ochlazená zálivka nestihne cestou k místu výtoku ohřát, bude značný rozdíl teplot za letních veder pro rostliny stresující. Právě v nejvyšších a okrajových partiích stěn je rozdíl teplot v důsledku proudění vzduchu a rozdílu mezi okrajem LGW a budovy značný.

Při postřikování rostlin springlery nebo mlžícími tryskami je potřeba používat nezávadnou zálivkovou vodu bez obsahu solí. Tvrdá voda, běžná ve většině našich oblastí, zanechává na listech rostlin vysrážené soli a snižuje jejich asimilační schopnosti. Postřiková voda by měla být v zásadě čistá a maximálně s občasnou dávkou živin v nízké koncentraci vhodnou pro listovou výživu. Živiny nesmí být dávkovány ráno před nastupujícím slunečním žářem, kdy list rychle oschne, živiny se nestihnou vstřebat a docházelo by k popálení listové plochy. Pro postřik s živinami je tak vhodné období večer, nebo v malé dávce v noci, kdy listy zůstávají delší dobu ovlhčené (Heike 2003).

Ústní sdělení od pana Takke (2019) v Stadtgärtnerei - Zentrum für Pflanzen und Bildung Zürich.

V městském zahradnictví Zürich je minerální substrát zelených stěn nasycován 1 krát denně kapkovou závlahou se živinami, dokud závlaha neproteče do zásobní nádrže. Cirkulační závlaha je po protečení stěnou filtrována, doplněna o spotřebované živiny a připravena znovu k použití. Při zhoršení kvality závlahové vody dochází k její výměně. Závlaha funguje do doby příchodu mrazových teplot tj. kolem 0°C. Zavlažování a kontrolu živin obsluhuje počítačová řídicí jednotka. V případě potřeby se provádí i ruční zalití.

Zima v Zürichu se pohybuje v rozmezí 5°C až -10°C. Na zimu se proto závlaha vypínala. Poslední dobou neklesaly na delší dobu zimní teploty příliš pod bod mrazu. Venku díky mírnějšímu klimatu tak přežívaly i subtropické rostliny.

Rašelinu do substrátů ve stěnách již delší dobu v celém Švýcarsku nepoužívají. Těžba domácí rašeliny je ve Švýcarsku z důvodu ochrany přírody zakázána a ani dovoz není z ekologického hlediska pro Švýcarsko přijatelný. Rašelina se navíc v substrátu stěn sesychá a při plném vyschnutí je potřeba ji ručně prolít vodou, nebo dlouze zavlažovat. Dle sdělení jednou došlo u lamelové stěny k nechtěnému opomenutí otevření ručně ovládaného hlavní kohoutu na výstupu závlahy ze zásobní nádrže a než byla chyba v systému odhalena, došlo v letním období k rychlému vyschnutí substrátu. Zhruba 1/3 rostlin na stěně byla nevratně poškozena. Pracovníci zahradnictví v rámci experimentu využili situace a nedosazovali uvolněný vegetační prostor novými rostlinami. Následně sledovali, které druhy a s jakou rychlostí se budou budou podílet na sukcesi uvolněného vegetačního prostoru. Zelená stěna se po kratším čase sama začala opět regenerovat a zapojovat uvolněnou vegetační plochu. Výsledek je zřetelný z fotografií, pořízených zhruba po 1 roce. Viz foto v příloze č. 3.2.1

V kantonu Zürich je u střešních zahrad nařizeno používat k osázení pouze domácí vegetaci. Je snaha podobnou praxi zavést i u vertikálních zelených stěn.

Dle Buriana (2011) většina LGW využívá kapkovou závlahu. U kapek může snadno dojít k ucpání trysky a s malou zásobou vody v substrátu k rychlému úhynu rostlin. U modulárních LGW je častá závlaha podmokem, kde nehrozí ucpání trysek.

Pro potřebu zimní závlahy upozorňuje na nutnost temperování závlahy, případně dokonalého odvodnění v našich klimatických podmínkách. Zároveň uvádí, že bezsubstrátové stěny nejsou pro naše podmínky použitelné. Poukazuje na skutečnost, že individuální dávkování závlahy je po praktické stránce nemožné a je potřeba používat soubory rostlin se shodnými nároky na závlahu. Upozorňuje, že bezsubstrátové LGW je nemožné zavlažovat bez nadbytku závlahy. Tvrdí, že závlaha po průtoku stěnou mění složení a ve většině případů se již znovu nevyužívá.

3.2.2 Dosavadní stav techniky průmyslově chráněných patentů a vzorů

Zelené stěny LGW jsou přímo závislé na zavlažovacím systému, bez jehož neustálé dodávky závlahy by v době vegetace (především v letních měsících) došlo k rychlému úhynu vegetace na stěně. LGW stále více vyžadují vývoj specifických závlahových systémů umožňujících rostlinám dostatečné zavlažování z důvodu, že tyto rostliny mají omezený pěstební prostor a ztrácí možnost odebrat dostatečné množství vláhy přirozenou cestou z prosté půdy. V současné době se u LGW v převážné většině využívají tlakové kapkové systémy různých druhů a konstrukcí, nebo se využívá závlaha podmokem. V omezeném množství se používají mikro-postřiky, springlery, mlžící, rozstříkovací trysky a podobně.

V patentových spisech s problematikou této závlahy je možno dohledat spis CZ 308191 popisující vertikální zahradu pro exteriérové i interiérové použití, tvořenou horizontálně a vertikálně propojenými napájecími žlaby s květináči obsahující rostliny se substrátem. Květináče jsou k napájecím žlabům uchyceny úchytnými prvky a napájecí žlab je zavlažovacím prvkem propojen s květináčem pro transport závlahy. Napájecí žlaby jsou vzájemně propojeny přepadovou trubicí umožňující odtok závlahy i do spodních řad napájecích žlabů.

Pod označením užitného vzoru CZ 34815 je vedena závlaha potrubím s výtakovými prvky umístěnými do vodotěsně izolovaného bloku hydrofilního kapilárně aktivního materiálu, který je opatřen na své spodní straně odkapávačem vody.

V dalším patentovém spisu US 2011289839 je popsán závlahový systém pro modulární zelené vertikální stěny nebo zelené střechy. Je budovaný sestavou pěstebních vaniček pro rostliny s biologicky odbouratelnými stěnami, přizpůsobený k instalování do vertikální, nebo horizontální polohy. Pod sestavou pěstebních vaniček se nachází kapková závlaha, zavlažující rostliny přímo nebo prostřednictvím vložených kapilárních rohoží ukotvených v jednotlivých vaničkách a zároveň

propojených se kapilárními rohožemi sousedních vaniček. Tímto způsobem je zabezpečeno kapilární šíření závlahy mezi všemi pěstebními vaničkami.

Ve spisu US 2017109473 je popsána podpůrná konstrukce s koši pro rostliny, které obsahují zavlažovací jednotky připojené k hlavní větvi.

Spis US 2018206414 popisuje technologický sloup sahající od spodní až k horní části stěny, kde je umístěn zásobník závlahy s čerpadlem pro čerpání vody k rostlinám umístěným v květináčích na konstrukci.

Spis US 2013133260 popisuje řešení ukotvené konstrukce s panelem nesoucím vrstvy geosítě, v níž jsou zasazeny rostliny. V horní části geosítě jsou výtoky kapkové závlahy napájené z recirkulačního okruhu. Nadbytečná závlaha je zachycována ve sběrném kanálu, filtrována, analyzována, doplňována ze zásobní nádrže a znovu fertigována řídicí jednotkou celé soustavy.

Dalším tvůrcem několika patentů v oblasti samozavlažovacích truhlíků, zavlažovaných skrz kapilaritu vody pomocí skelných vláken, je pan Syrovátka. Autor řeší kapilární závlahu za pomoci skelných, nebo polypropylenových tkaných knotů, přivádějících vodu ze zásobní nádoby. Za vhodné považuje knoty o síle od 100 g/m^2 do 800 g/m^2 . Množství závlahy mění výškou hladiny zásobní nádoby a množstvím použitých knotů. Uvádí že, s kapilárním prouděním dochází ve vlhčím substrátu i k větší tepelné vodivosti. Kapilarita má souvislost s povrchovým napětím v důsledku přitažlivých sil mezi povrchem pevných látek a molekulami kapaliny.

Autor upozorňuje na skutečnost, že s výškou klesá kapilární nasávání. Vyrůstání kořenů přímo do knotů dle autora nesnižuje jejich kapilární funkčnost. Ke snížení účinnosti nedochází ani po několika letech. Autorovo patentované řešení umožňuje pěstovat rostliny v samozavlažovacích truhlících i na prudkém slunci. Autor patentu ve své knize popisuje příznivé účinky této závlahy na vegetaci, nepřetržitou a pozvolnou dodávku závlahy bez rizika přemokření substrátu. Vyzdvihuje dobré pěstitelské podmínky i v klimaticky horších letech a vyšší nadmořské výšce i severnějších (chladnějších) oblastech.

Syrovátka zmiňuje, že rostliny nakupované v zahradnických závodech jsou pěstovány ve stabilních podmínkách s dobrými podmínkami pro růst. Po přenosu na jiná stanoviště, ať již venkovní či vnitřní, jsou rostliny náhle vystaveny zcela jiným podmínkám. Může docházet k rozbahnění nebo naopak přeschnutí substrátu. Působením slunečního záření na exponované stěny pěstebních nádob a substrát samotný často dochází k přehřívání substrátu i kořenů. Odpaření vody ze substrátu nevhodně zvýší koncentraci půdního roztoku pro kořeny. Pokud v exponovaných letních měsících nedojde k opakované závlaze, voda se při teplém slunečném počasí brzy spotřebuje. Pouze málo druhů rostlin snáší takovéto změny a většina rostlin vzápětí uhyne. Opakem může být i druhý

extrém přelití substrátu, při němž dochází k jeho rozbahnění a zahnívání kořenů. Důležitá je i skutečnost, že opakovanou závlahou dochází k vyplavování živin a ovlivnění skladby zeminy.

Změnu v zavlažování autor spatřuje právě ve využívání závlahy kapilárními knoty, které do substrátu zajišťují stálý přísun závlahy dle potřeby rostlin. Tím se vyloučí oba extrémy a závlaha je podobná přírodním podmínkám.

Závlaha pomocí kapilárních knotů má rostlinám zajistit trvalý dostatek vláhy s přidanými živinami a zároveň dostatečné provzdušnění substrátu. Voda je z knotů následně předávána do nasákavého substrátu dle jeho vodní kapacity a dál je též předávána gravitačním spádem. Syrovátka doporučuje, že substrát má být hrubé konzistence s menším obsahem humusu zadržujícím nadměrnou zásobu vody. Oceňující posudek na jeho patentové řešení napsal Ing. Volf z VÚOZ v Průhonicích (Syravátka 2012).

3.2.3 Nové technologie v závlahách

V odborném článku Hanzlík (2019) popisuje technologii podzemní kapkové závlahy s kompenzací tlaku (0,5 - 4 bar) Eco-Mat, která je vybavena systémem optimálního nastavení řízení této závlahy umístěné v kořenové zóně rostlin. Závlaha je využitelná v hloubkách 10 cm až 30 cm. Kapkové zařízení je zabudované v zádržné rohoži umístěné v zemi, která dodává závlahu. Rohož následně závlahu rozvádí kapilární vztlínavostí do půdy k rostlinám. Kapkovače mají udávaný výkon závlahy v rozpětí od 0,9 l do 8 l/hodinu dle potřeby rostlin. Popisovaná závlaha je napojená na řídicí jednotku s možností doplnění čidel a je možná závlahu automaticky fertigoval. Zavlažování je tak rovnoměrné i v nízkých půdních profilech, při významném snížení povrchového odparu vody. Zároveň systém snižuje spotřebu závlahy a omezuje zasolení půdy. Podobný systém používá i firma Eco Rain Root Zone.

3.2.4 Odhad spotřeby vody

Autoři článku Živé zelené stěny: Odhad spotřeby vody a posouzení hospodaření se závlahami uvádějí, že bylo v souvislosti se závlahou provedeno nedostatečné množství studií. Segovia-Cardozo et al. popisuje funkčnost závlahy LGW po dobu 109 dnů od zimy do léta na jedné budově v Madridu. Důvodem studie byl odhad spotřeby a distribuce závlahy ve stěně. Pro závlahu použili kombinaci zavlažování kapkou a perkolací. Vlivem toho došlo k rozdělení stěny do dvou ploch. V horní části se vytvořila plocha o velikosti 12 % s nedostatkem vody. Ve spodní části vznikla zbylá plocha 88 % s přebytkem vody a náchylností ke kořenové asfyxii. Uvádí, že závlaha prosakovala z horních kapes do spodních. Gravitace urychlila protékání vody do nižších pater. Tím

byly více zavlažené plochy v nižších patrech než ve vyšších. Autoři poznamenávají, že pro správné rozložení závlahy je důležité složení substrátu. U substrátu se špatnou retencí vody, dochází ke stékání závlahy do nižších částí, kde dochází k jeho přemokření. Je proto vhodné rozdělovat jednotlivé části LGW tak, aby nedocházelo k přemokření, ale ani k nedostatečnému zavlažení jednotlivých míst na LGW. Dále konstatovali, že spotřebu vody ovlivňovala nejen expozice ke slunci, ale též teplota spolu s relativní vlhkostí okolního prostředí. Stěny orientované k východu a jihu měly trojnásobnou spotřebu vody proti ostatním stranám. Uvádí, že déšť dodá stěně zhruba 3 % vody (Segovia-Cardozo et al. 2019).

Novák (1995) ve své publikaci uvádí, že transpirace rostlinami, přestože je ovlivněna mnoha dalšími faktory, představuje v mírném klimatickém pásmu 60 - 80 % podíl na evapotranspiraci za rok a může být během vegetace i vyšší.

Havlíček (1986) uvádí, že v zapojených porostech převládá transpirace rostlin nad výparem ze substrátu.

3.2.5. Sběr vody z mlhy

Pirouz et al. (2020) píše, že dle studie mohou nové systémy živých vertikálních stěn být ve městech úspěšně používány k řízení množství odtoku dešťové vody a snížení odtokové špičky do kanalizačního systému, dále ke snižování hluku, prašnosti, snižování energetické náročnosti budov a k udržení vhodné relativní vlhkosti vzduchu v okolí stěn. Systém sběru atmosférické vody z mlhy prostřednictvím speciálních Raschelových sítí z modifikovaných nanovláken spojených se systémy zelených stěn vytěžuje ve středomořském klimatu vodu v objemu cca 1,4 - 6 l/m²/den. Zároveň se udává spotřeba vody pro zavlažování těchto zelených stěn cca 1 - 8 l/m²/den (červenec - září). U kontinentálního klimatu odhaduje spotřebu vody 1 - 3 l/m²/den v období sucha (červenec - září). Uvádá, že v jiných regionech se u pokusných stěn pohybovala výtěžnost 2 - 8 l/m²/den, v průměru 4,6 l/m²/den. Zároveň se zachycováním vody vyzdvihuje ochranu rostlin před zhoršujícím se klimatem, přímým slunečním světlem. Závlaha přispívá ke zvýšení a udržení vlhkosti u rostlin a projevuje se i zvýšenou vlhkostí v okolí, má tedy vliv na celkové zvýšení účinnosti zelených stěn. Pirouz udává, že energetická náročnost budov tvoří zhruba 40 % nákladů na energie ve městech. Míra úspor ve Středomoří může tímto dosáhnout až 65 %. V aridním klimatu udává nižší úspory s dosahem k 52 % uspořené energie, avšak pouze v chladném období. Podobný vzorec předpokládá i v kontinentálním klimatu.

3.2.6. Využití šedé vody v LGW

Masi F. et al (2016) ve studii projektu NaWaTech uvádí složení substrátu plněného materiálem LECA® (lehčené kamenivo z expandovaného jílu, doplněné později o písek a kokosová vlákna). Udává, že čištěná odpadní voda v určitých vzorcích splňovala požadavky indického zákona pro další použití při zavlažování. Další vzorky vykazaly kvalitu vhodnou pro opětovné využití při splachování toalet (v Indii).

3.3 Funkce vody a substrátu

Van de Wouw et al. (2017) ve své studii odhaduje celkový výkon evotranspirace pro panelové zelené stěny $18 (\pm 3)$ kW/m²/rok. Pro stěny složené z truhlíků nebo pěstebních nádob udává $11 (\pm 3)$ kW/m²/rok. Píše, že zelená fasáda podle místních podmínek spotřebuje až 2,45 MJ/kg (při 20°C) latentního tepla na odpaření vody, a tím ochlazuje adiabaticky své okolí. Průměrný odpařovací výkon stěny při teplotě 20°C, převedený na odpařovací výkon, se pohybuje mezi 21 - 23 W/m². Panelový systém odpařuje stále, tím celkově odpařuje více vody než nádobový systém. Nádobový systém má sice větší akumulační kapacitu, avšak odpařuje proti panelovému systému více vody až v okamžiku naplnění své pufrací kapacity (van de Wouw et al. 2017).

Očekávaná spotřeba energie a související chladicí potenciál systému panelů a sázecích boxů je $18 (\pm 3)$ kW/m²/rok a $11 (\pm 3)$ kW/m²/rok, přičemž vrcholu dosahuje $47 (\pm 12)$ W/m²/den a $83 (\pm 12)$ W/m²/den (van de Wouw et al. 2017).

Voda v panelovém systému, složeném z minerální vlny, protéká do spodních částí panelu. Tím vzniká v horních partiích panelu sušší oblast a v dolních partiích naopak přemokření. V substrátu se voda následně šíří kapilaritou do jeho celé oblasti. Tento rozdíl v šíření závlahy vyžaduje u každého materiálu jiný přístup k rozvodu a dávkování závlahy. Je tedy nutné u materiálu s nižší pufrací vody provádět častější závlahu. U nádobových stěn je k dispozici větší objem substrátu, než u panelových. Navíc sama nádoba vytváří lepší podmínky pro zachycení většího množství vody, jak ze závlahy, tak z dešťových srážek a samotný obal nádoby zabraňuje většímu odpařování. Vodorovný povrch substrátu v nádobách umožňuje i větší zachycení dešťových srážek. Tyto podmínky vedou k efektivnější a nižší spotřebě dodávané závlahové vody proti plošným, panelovým stěnám. Hlavní vliv na výkon odpařování mají především místní podmínky jako je rychlost větru, vlhkost, teplota, sluneční záření, expozice stěny ke světovým stranám, dále např. i způsob provedení stěny atd. (van de Wouw et al. 2017).

Klabzuba (2015) ve své výukové publikaci uvádí, že:

Průměrný obsah vodní páry je 2,34 g v 1 kg vzduchu. Mořský arktický vzduch je příčinou výkyvů střeoevropského klimatu (v 34 % roku) - Vánočních oblev, aprílového, medardového, dušičkového počasí. Aktivní povrch je přechodná vrstva mezi atmosférou a pevným povrchem, v níž se mění záření v teplo.

Autor též definuje období s průměrnou denní teplotou - velké vegetační období od 5°C výše, vegetační zima méně než 0°C. Uvádí také, že pohyb Slunce po obloze během dne určuje denní chod teploty půdy. Minimální teploty nastávají obvykle před východem Slunce, Maximální 2 - 3 hodiny po poledni. Denní rozdíly teploty substrátu jsou větší než rozdíly vzduchu. Teplota půdy je ovlivňována expozicí, obsahem vody a vzduchu v půdě, výškou a hustotou porostu, počasím, srážkami, oblačností a též podnebím místa. Změny objemu substrátu při promrzání a tání zapříčiňují vytahování kořenových balů z půdy. Během zimy převažuje výdej energie z povrchu nad příjmem ze slunečního záření. Albedo pro půdu bez porostu je 7 - 15 % u trávníků 15 - 30 %. Průměrné relativní trvání slunečního svitu je v prosinci - lednu 17 - 18 % v únoru již 28 %, v březnu pak až 41 % (měřeno v H.Králové). Pokud je Slunce nízko nad obzorem, dostává se intenzita záření pod 200 W/m² . Voda má nejmenší objem při teplotě 3,98°C. Má velké měrné teplo, malou tepelnou vodivost, velkou měrnou tepelnou kapacitu (4,180 kJ / kg/ K) a z kapalin mimo rtuti největší povrchové napětí (Klabzuba 2015).

Nečas (2022) ve svém článku upozorňuje na nebezpečí sucha a nezvykle větší intenzitu slunečního svitu za poslední tři roky v období leden - únor dosahující průměrně 114,9 hodin, letos dokonce 210,7 hodin slunečního svitu.

Soukup et al. (1979) se zabývá vzájemným vztahem substrátů, výživy a závlahy a jejich vlivem na růst rostlin. V publikaci je popsán pro rostliny důležitý poměr vody a vzduchu v substrátu. Většina druhů rostlin potřebuje objem vzduchu v substrátu mezi 15 - 25 %. Při poklesech pod 10 % zastavuje většina rostlin růst a také příjem živin. Též při 1 % koncentraci CO₂ v půdním vzduchu (měřeno v hloubce 15 cm) většina rostlin snižuje příjem závlahy se živinami a zpomaluje růst kořenů.

Zablotskii et al. (2017) uvádí, že živé buňky se nalézají v živném diamagnetickém prostředí, a jsou cca ze 70 % z vody, která též patří k diamagnetikům. V souvislosti s rozdílnou vnitro - mimobuněčnou koncentrací paramagnetických iontů, mohou být buňky méně diamagnetické proti svému okolí. Jde o analogii Archimédovy síly.

Poměrné zastoupení vody a vzduchu v různých substrátech (číslo udává stav při nasycení vodou na maximální kapilární kapacitu)				
Substrát	Celkový objem pórů %	Vodní kapacita		Obsah vzduchu objem. %
		plná objem. %	dostupná voda objem. %	
1 „ideální“ substrát	83	—	31	39
2 lehká zemina (brambořky)	79	40	32	39
3 středně těžká zemina (pelargonie)	72	40	31	32
4 těžká zemina (chryzantémy)	69	39	31	30
5 směs rašeliny a jílu 1 : 1	80	49	22	31
6 směs rašeliny a jílu 3 : 1	86	51	33	35
7 rašelinový substrát	93	53	34	40
8 rašelina + perlit + pěnový polystyrén 1 : 1 : 2	91	30	28	61
9 rašelina + perlit 1 : 1	91	43	36	48
10 rašelina + písek 1 : 1	65	37	29	28
11 písek jemný	42	20	18	22
12 perlit	90	33	32	57
13 borová kůra (borka)	84	28	—	56
14 smrková kůra	84	43	—	41
15 Izopěna + jíl 1 : 1	79	44	23	35
16 Izopěna + jíl 3 : 1	86	44	32	42
17 Izopěna + jíl + pěnový polystyrén 1 : 1 : 1	69	26	12	43
18 Izopěna + jíl + pěnový polystyrén 1 : 2 : 1	61	32	14	29

Příjem i výdej vody v substrátu ovlivňují dešťové srážky, retence vody a hladina spodní vody.

Rostliny využívají v prokořeněné části substrátu tu část volné vody, která je vázána slaběji než síla sání kořenů. Rozložení kořenů rostlin má ve volné půdě 10 - 40× větší objem, než v pěstební nádobě. Tím je pro růst rostlin v nádobách potřebný správný poměr kapilárních a nekapilárních pórů v substrátu. Ideální fyzikální charakteristika substrátu představuje celkový objem pórů nejlépe 83 %, podíl kapilárních vodních pórů alespoň 31 %, podíl nekapilárních vzdušných pórů alespoň 39 %. Hydroskopická voda v substrátu je poutaná adhezními silami na půdních, především jílových částicích a je pro rostliny nedostupná. Kapilární voda vyplňuje kapilární póry o světlosti 0,2 - 0,3 mm, je pro rostliny dostupná pod sací silou 0,01 - 0,1 MPa. Kapilární voda o světlosti pod 0,003 mm je již málo pohyblivá a je dostupná pro rostliny pod sací silou vyšší než 0,1 MPa. Dostupnost vody pro rostliny ovlivňuje také koncentrace solí rozpuštěných v půdním roztoku. Při vyšší koncentraci dostupnost výrazně klesá. Propustnost vody substrátem má velký vliv na úpravu jeho vodních poměrů. Při malé propustnosti se voda málo vsakuje, půdu rozplavuje, odtéká nebo se vypařuje z její povrchové vrstvy, způsobuje ztvrdnutí povrchu půdy a její následné pukání. Nadměrná propustnost naopak, zvláště u nádobově pěstovaných rostlin, závlahu rychle propouští mimo dosah kořenů a ty následně zasychají. Zavlažováním protéká voda především nekapilárními póry o rozměrech nad 0,2 mm. Hrubší zrnění zeminy zvětšuje poměr nekapilárních pórů

a způsobuje rychlejší vsakování. Rychlost vsakování ovlivňuje i vlhkost zeminy. Závlaha musí ze suché zeminy nejprve vytlačit vzduch, aby se mohla účinně vsakovat. Suché substráty tak velmi špatně přijímají vodu. Proces je znám především z vyschlých rašelinových substrátů.

Po závlaze voda nasycuje část kapilárních i nekapilárních pórů a je pro rostliny snadno dostupná pod sací silou 0,00001 MPa. Běžným výparem a transpirací vody rostlinami se vlhkost zeminy sníží až na 50 % kapilární kapacity. Voda je dostupná pod sací silou 0,01 MPa. Při pokračujícím vysychání na 25 % se zvýší sací síla až na 0,1 MPa. Překročení této hranice způsobuje zpomalení všech fyziologických procesů rostliny. Růst většiny pěstovaných rostlin se zastavuje, překročí-li sací síla 1 MPa. Následně začíná již bod vadnutí.

Dostupnost vody pro optimální růst rostlin by neměla překračovat hranici v rozmezí 60 - 80 % kapilární kapacity. Při vyšší kapacitě nad 80 % dochází kyslík pro dýchání kořenů a po 2 - 3 dnech dochází za anaerobních podmínek k hromadění ethylenu, který při koncentraci 10 mg v 1 l zeminy zastavuje růst. Snížením kapilární kapacity na 25 % lze záměrně pěstitelsky omezit růst rostlin bez jejich poškození.

Obecnou vzlínavost uvádí: jílovité půdy 200 cm a více, hlinité do 150 cm, písčité do 50 cm.

Čistá dešťová voda je zpravidla měkká, s celkovou tvrdostí 8°N a karbonátovou 2°N. Je slabě kyselá s pH 6 - 6,5 s obsahem kyseliny uhličité 10 - 15 ml/l. Má vysoký obsah kyslíku 10 - 14 mg/l. Skutečnost neplatí pro oblasti znečištěné významným působením člověka, kde dochází ke znečištění různými polutanty a dešťové srážky musí nejprve pročistit ovzduší. Dešťová voda zhruba obsahuje 20 - 100 mg solí/l oproti studniční nebo vodovodní vodě, obsahující 50 - 1500 mg solí/l. Nejzávažnější znečištění závlakové vody způsobují minerální tuky a oleje. Obsah tuků a olejů větší než 0,1 % již v zemině působí toxicky.

Jirásek (1973) v publikaci popisuje hydroponickou "mechovou stěnu" osázenou květinami se spodní závlahovou miskou, ze které vzlíná voda vzhůru. Popisuje též závěsnou keramiku a drobné závěsné zahrádky tvořené přírodními materiály jako je bambus, vykotlaná větev, případně celý kmen osázený epifyty. Závlaha u těchto prvků se předpokládá manuálně. Za substrátovou náplň doporučuje rašelinu, mech, dřevěné uhlí, případně i přídavek antuky. U rašeliny a mechu uvádí, že i při plném nasycení vodou v ní stále zůstává 40 % vzduchu, který zabraňuje zahánění rostlin.

Blanc (2008) ve své knize uvádí vlastní pojetí zelených stěn "le mur végétal" (plachtových stěn) založených bez použití půdy, tvořených z vrstev plsti mezi izolujícími plachtami z různých materiálů, které napodobují prostředí rostlin na skalních převiscích, nebo na větvích stromů, po kterých stéká dešťová a zachycená atmosférická voda. Blanc při návrhu svých stěn kopíruje přírodní systémy.

Novák (1995) ve své publikaci uvádí, že transpirace rostlinami, přestože je ovlivněna mnoha dalšími faktory, představuje v mírném klimatickém pásmu 60 - 80% podíl na evapotranspiraci za rok a může být během vegetace i vyšší.

Havlíček (1986) uvádí, že v zapojených porostech převládá transpirace rostlinami na výparem ze substrátu.

Krištín et al. (1978) v publikaci referuje o prostředí rostlin a jejich vztahu k určitým vegetačním podmínkám a potřebám. Zabývá se složením slunečního záření a jeho využitelnosti rostlinami. Referuje též o albedu různých typů půd a rychlosti a množství příjmu energie různými půdami. Popisuje průběh teplot během dne v různých klimatických, meteorologických a půdních podmínkách, píše o příjmu živin rostlinami, o možnostech a významu ovlivňování podmínek pro rostliny.

Tepelné infračervené paprsky s vlnovou délkou nad 0,76 μm tvoří 45 % slunečního záření, jež rostliny a substrát ohřívá. Pokud je povrch substrátu tmavší a vlhčí a úhel dopadu slunečního záření tupější, je albedo nižší. Nižší albedo představuje příjem energie v podobě tepla. Provzdušněný nakypřený substrát se rychleji zahřívá, ale hůře předává teplo dál. Naproti tomu se vlhčí substrát zahřívá pomaleji, ale více předává přijaté teplo dál. Voda má velkou tepelnou kapacitu. Vodní pára a kapky významně pohlcují sluneční záření, především dlouhovlnné. Nejnižší denní teploty bývají před východem slunce, nejvyšší většinou po poledni kolem 14 - 15 hodiny. Rostliny se transpirací ochlazují vůči okolnímu vzduchu až o 8°C. Nejvíce vody rostliny spotřebují v době růstu do květu, kdy je spotřeba vody rostlinou vyšší než výdej. Při kvetení a následně nejvíce při zrání semen spotřeba vody klesá a převažuje její výdej.

Pokud rostliny nezakryjí celý povrch substrátu, vlivem tepelného záření dochází v substrátu k velkým výkyvům, které především na jaře a následně v zimním období mimo jiné též způsobují vytahování kořenových balů ze substrátu. Za zimní měsíce jsou považovány dny s průměrnou teplotou pod 0°C. Fenologické předjaří u nás začíná táním sněhu a za jaro se považuje období rozkvětu ovocných stromů a jarních keřů. Průměrná roční teplota u nás je 8,5°C. Nejlepší podmínky pro příjem živin jsou mezi 18° - 20°C. Při poklesu teploty pod 10°C je efektivita příjmu živin nízká. Kořeny přijímají živiny již od minimální teploty, např. u ovsa jsou to 3° až 4°C.

Volná kapilární voda, vyplňující kapiláry pod 0,2 mm, se v substrátu šíří bez ohledu na gravitaci všemi směry z vlhčího místa do suššího.

Vázaná voda v minerálech, organických složkách nebo na povrchu půdních částic, se velmi těžko pohybuje a je pro rostliny fyziologicky nedostupná. Vztlínavost vody proti gravitaci závisí

na velikosti kapilár. Menší kapiláry umožňují vyšší, ale pomalejší výšku vzlínání proti širším. Vzlinavost v půdách uvádí: jíly 200 cm, hlinité 110 - 130 cm, písčité pouze 40 cm.

Nedostatek vláhy může být pro růst horských bylin větším omezením než nízká teplota. Ve zprávě se uvádí přímý vliv na vývoj horských rostlin vzhledem k nadmořské výšce, stoupající teplotě a nedostatku vody. Nedostatek vláhy způsobuje zpomalení vývoje rostlin. (Doležal J. a kol. 2020)

Storch (2021) uvádí: Produktivita prostředí se skutečně jeví jako o něco konzistentnější korelát biologické rozmanitosti, poněvadž vyšší teplota zvyšuje počet druhů, jen pokud je spojena s dostatkem vody – a jen tehdy zároveň ovlivňuje primární produkci.

Biodiverzitu jistě ovlivňuje i řada jiných faktorů, ale pořad je rozumné předpokládat, že ty jsou nějak přímo či nepřímo spojeny s teplotou, byť přesné souvislosti pořad neznáme.

3.4. Zásobení rostlin živinami

Do závlahy se obvykle přidávají dávky živin, jež se musí řídit nároky pro jednotlivé druhy rostlin. Před budováním stěny je potřebné rozvrhnout způsob hnojení rostlin ve stěně. Zda se bude jednat o automatické dávkování pro celou stěnu, či budou dodávány v určených intervalech samostatně ručně. Proto je nutné cíleně sestavovat jednotlivé skupiny rostlin se stejnými nároky na živiny. V případě modulárních panelů je možno jednotlivé skupiny závlahou obsluhovat samostatně jen v případě samostatných systémů závlahy. To zvyšuje náklady na stavbu zavlažovacího systému. Částečné řešení nabízí přihnojování dávkou podle nejcitlivější skupiny a zbytek dávky k ostatním rostlinám dodávat ručně samostatnou injektáží k rostlinám. Opět to však ekonomicky zvyšuje údržbu stěn a vytváří tlak na logistiku obsluhy. U stěn s vyšší výškou tyto náklady mohou být opravdu hodně zatěžující.

U živin Burian (2019) poukazuje na skutečnost, že LGW nemají dostatečný objem substrátu, aby byly schopny po delší čas udržet dostatečnou zásobu živin a vody.

Rozdělení rostlin podle nároku na živiny dle Heikeho (2003):

Rostliny citlivé na hnojení - dávky živin v roztoku 0,05 % - 0,2 % (cca 2 kg hnojiva na 1m³)

Rostliny středně citlivé na hnojení - dávky živin v roztoku 0,1 % - 0,3 % (cca 4 kg hnojiva na 1m³)

Rostliny náročné na hnojení - dávky živin v roztoku 0,2 % - 0,5 % (cca 6 kg hnojiva na 1m³)

Hydroponie - dávka živin v roztoku 0,1 % - 0,3 % (dle citlivosti)

Výhodnější pro hydroponii jsou iontová výměnná hnojiva.

4 Metodika

1. Návrh rozdělení vertikálních stěn a konstrukcí podle kritérií literárních rešerší byl proveden do těchto kategorií:

- a) Přímé a nepřímé fasády – pokladem pro kategorii byl růst rostlin v prosté zemi a jejich popínání se přímo po fasádě, nebo po konstrukci na fasádě připevněné.
- b) Stěny na samostatných konstrukcích a živé ploty - pokladem pro kategorii byl růst rostlin v prosté zemi, z níž se pnou po samostatně stojících konstrukcích, nebo rostou samostatně.
- c) Prosté stěny - pokladem pro kategorii byly prefabrikované nebo žlabové stěny.
- d) Přírodně vzniklé stěny - pokladem pro kategorii byly přírodní stěny vzniklé bez přímého zásahu člověka.
- e) Stěny sloužící jako opěrné a zpevňovací, stěny z vegetačních pytlů, osázené nebo přírodně porostlé antropocentrické stěny a zídky - pokladem pro kategorie byly stěny vytvořené člověkem za účelem zpevnění svahů, případně oddělení prostor vystavěnou zdí.
- f) LGW - stěny upevňované i s konstrukcí na zeď, nespojené se zemí, zcela závislé na zavlažovacím systému.
- g) Vertikální stěny různých typů nezařazené výše (kinetické, hydroponické), zcela závislé na zavlažovacím systému.

2. Popsání výhod a nevýhod zelených vertikálních stěn - popsání tří reálně existujících vertikálních stěn s kapkovou závlahou, která byla různými způsoby regulována a jejich porovnání s rešeršemi.

3. Průzkum vertikálních stěn. Čtyř typů stěn v Stadtgärtnerei - Zentrum für Pflanzen und Bildung Zürich, kapsové stěny v Dynex Buštěhrad a čtyř pozemních stěn stejného typu v areálu Demonstrační a výzkumné stanici v Troji.

Jejich pozorováním bylo zjištěno že:

vertikální stěny v Zürichu (kapsová, lamelová, truhlíková) jsou zavlažovány pouze během vegetačního období kapkovým cyklickým systémem, čtvrtá zelená nepřímá fasáda je zavlažována do půdy kapkou. Kapsová kontinuální stěna v Buštěhradě je zavlažována kapkovým cyklickým systémem s vyhříváním závlahy v zimním období. Čtyři stěny v Troji jsou zavlažovány kapkovým systémem pouze přes spínací hodiny.

4. Návrh nové závlahy pro LGW byl vytvořen na základě zjišťování problémů a ve snaze tyto problémy eliminovat. Problém se zamrzáním závlahy a praskáním rozvodů byl řešen plastickým vakem a spádováním rozvodů závlahy. Problém vyplavování substrátu, živin a nerovnoměrného

rozšíření vody v substrátu kapáním vody ve směru gravitace byl řešen kapilárním vzlínáním a dalším rozvodem vody koncentračním gradientem.

5. V samostatné praktické části práce byla rekonstruována jedna původní stěna v Troji. V zadní části stěny byla umístěna mikrotenová fólie pro zmenšení odparu. Dále byla na zadní část umístěna molitanová vložka pro zvýšení akumulace vody v substrátu, byly přidělané police pro snížení tlaku na spodní vrstvy substrátu a pro zpomalení gravitačního odtoku závlahy. Kapková hadice byla spojkou ve tvaru T spojena do okruhu pro vyrovnaní tlaku v hadici. Tímto opatřením bylo zamezeno vypadávání uzávěry na konci hadice.

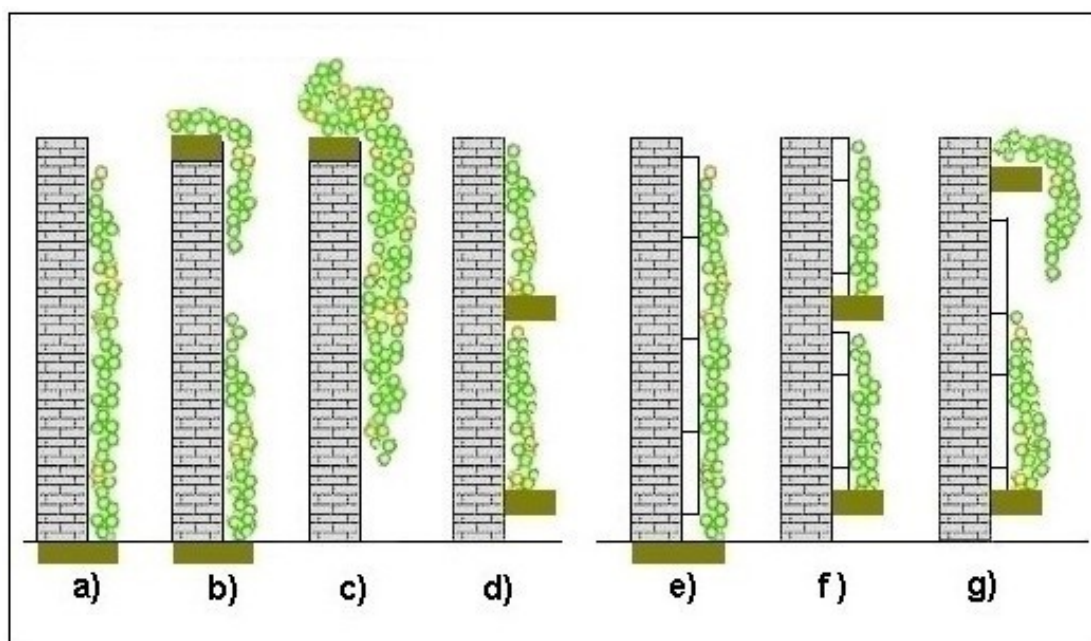
Vyhodnocení funkčnosti stěny bylo provedeno pouze vizuální cestou, protože nebylo možno provádět pravidelné přesné měření z důvodu nedostatku podkladů ke konstrukci stěny a vzhledem k její obtížné dostupnosti.

5 Výsledky

5.1 Návrh rozdělení konstrukcí stěn

Vertikální zahrady byly rozděleny dle několika hledisek. Podle způsobu popínání a růstu rostlin na rostoucí přímo na fasádě, na konstrukci, rostlé v prosté půdě, nespojené s půdou, pěstované v hydroponii. Dále též dle konstrukce stěny, na kontinuální, modulární, atd. Vertikální stěny mohou být také mobilní, nebo kinetické.

5.1.1 Přímé fasády a nepřímé fasády



Obrázek č.1, Přímé fasády a nepřímé fasády

Za přímé fasády označujeme rostliny rostoucí přímo na fasádě zdi. Kromě rostlin vysázených v nádobách nejsou životně závislé na zavlažovacím systému.

a) Rostliny popínavého typu jsou vysázeny k patě zdi. Vláhu si berou z prosté půdy. Pravidelnou závlahu s ohledem na místní podmínky nepotřebují, nebo jsou zalévány spíše doplňkově. Doplňková závlaha je potřebná pouze v případech malého kořenového prostoru, v zastavěném prostředí. Lze ji provést ručně, nebo mechanizovaně pomocí cisterny.

b) Rostliny popínavého typu jsou vysázeny k patě zdi a doplňovány převislými rostlinami shora. Doplnění se provádí pro dosažení větší výšky než rostliny běžně dorůstají, nebo z důvodu rychlejšího pokrytí plochy, případně pro estetické zpestření při výsadbě např. více druhů. Viz foto v příloze č. 5.1.1.A

c) Způsob výsadby pouze shora je používán v případech, kdy nelze z technických důvodů provést výsadbu k patě zdi. Viz foto v příloze č. 5.1.1.B

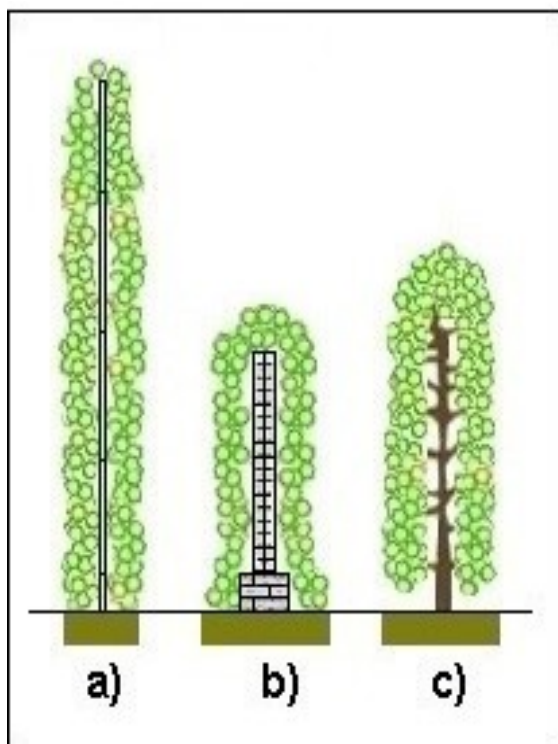
d) Přímá zelená fasáda rostoucí v pěstebních nádobách umožňuje rychleji po menších částech zaplnit požadovanou plochu a dosáhnout větší výšky, než by dosáhly rostliny pěstované v půdě. Je využitelná i tam, kde není možné využít prosté půdy. K závlaze je možno využít způsobu samozavlažovacích truhlíků, případně hydroponicky zavlažovaných truhlíků. Obvyklá je i kapková závlaha.

e) Je nepřímá zelená fasáda, na které jsou rostliny vedeny pomocí samostatné konstrukce. Nepopínají se přímo po fasádě. Tyto způsoby umožňují lepší ochranu samotné fasády zdi a také vznik izolačního vzduchového polštáře s vlastním klimatem mezi zdí a konstrukcí porostlou rostlinami. Viz foto v příloze č. 5.1.1.C

f) Nepřímá zelená fasáda je variantou přímé zelené fasády označené d) rostoucí v pěstebních nádobách. Z části lze tento způsob zařadit i mezi modulární stěny, na nichž je možno z menších modulů předpěstovat rostliny na konstrukce k popínání a celé dopředu připravené moduly následně umístit na potřebné místo a vytvořit tím v krátké době již funkční zelenou stěnu. Viz foto v příloze č. 5.1.1.D

g) Jde o způsob kombinace popínavých a převislých rostlin pro různá technická řešení. Nabízí se tak vhodná kombinace převislých rostlin např. i ze střešní zahrady a popínání od paty zdi. U tohoto způsobu je možné využít akumulaci vody odtékající ze střešní zahrad a zachycující se v jednotlivých etážích, ve kterých se voda akumuluje.

5.1.2 Zelené stěny na samostatných konstrukcích a živé ploty



a) Zelené stěny jsou vytvořeny na samostatných, nebo kombinovaných konstrukcích jako jsou pergoly, loubí, samostatné sloupy, a různě tvarované samostatné konstrukce. Popínavé rostliny jsou vysazované v prosté půdě. Lze k nim přiřadit i letničkové ozdobné stromy. Trvalky se vzhledem k sezónnímu využití a praktické neudržitelnosti přes období vegetačního klidu nepoužívají. Tyto zelené stěny se mohou z různých technických důvodů objevit i v nepřenosných nádobách, pokud nelze využít rostlé půdy. Závlahu si rostliny berou z půdy. S ohledem na místní podmínky mohou být zalévány doplňkově ručně nebo kapkovým systémem. U konstrukcí nespojených se zemí se předpokládá ruční zalévání,

Obrázek č.2, Živé ploty a stěny na samostatných konstrukcích

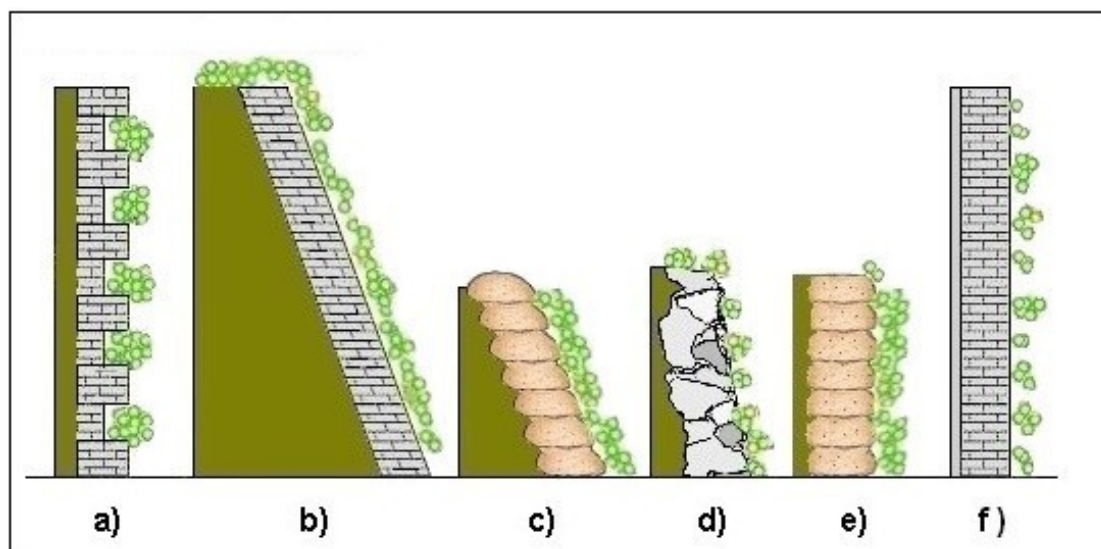
případně samostatných použití samozavlažovacích či hydroponických nádob. Viz foto v příloze č. 5.1.2.A

b) Jedná se o záměrně, nebo samovolně popínavými rostlinami porostlé ploty a samostatné bariéry sloužící většinou k oddělení nebo zakrytí určitých prostor. Vláhu si rostliny berou z rostlé půdy, případně je závlaha doplněna kapkou. Viz foto v příloze č. 5.1.2.B

c) Tento typ zahrnuje do volné půdy vysazované živé ploty, většinou i tvarově upravované. Skladba rostlin může být různá, od vzpíraných popínavých rostlin, keřů různé velikosti, až po stromy. Rostliny berou vláhu z půdy. Ve veřejném sektoru bývají v případě potřeby zavlažovány mobilními cisternami, ale i kapkou napojenou na závlahu dalších zelených ploch. Viz foto v příloze č. 5.1.2.C

Pořizovací a provozní náklady na zelené fasády, zelené stěny na konstrukcích a živé ploty jsou nízké oproti typům živých vertikálních stěn nespojených s půdou. Jejich vývoj je historicky dlouhodobý. Předpokládá se u nich jak okrasný účel, tak i použití k zastínění, snížení slunečního záření, částečný chladivý účinek, snížení proudění větru, snížení prašnosti, případně zakrytí nežádoucích průhledů. Vzájemnými kombinacemi tak stěny zlepšují místní mikroklima.

5.1.3 Prosté živé zelené stěny



Obrázek č.3, Prosté živé zelené stěny

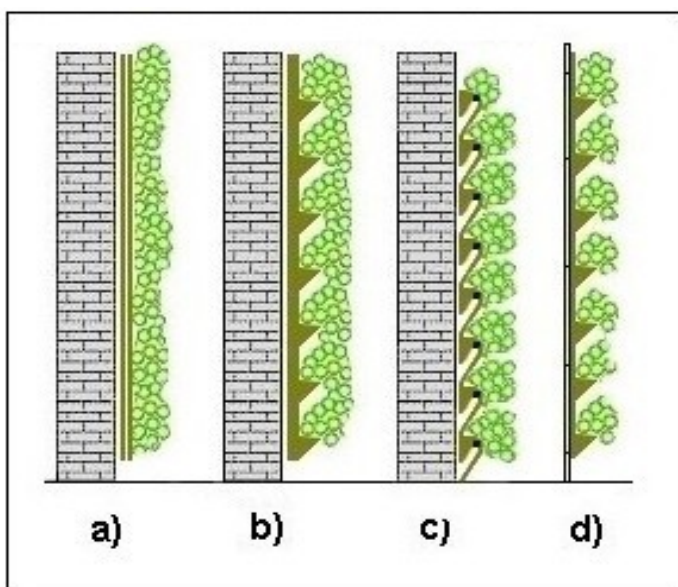
Stěny není nutné zavlažovat, pokud mají možnost si vláhu odebírat z půdy. V případě předpokládaného dlouhodobého nedostatku vody, či nadměrné zátěže z okolí, např. v podobě vytěžovaných komunikací, je možno k rostlinám dočasně použít závlahové vaky, uvažovat o kořenových buňkách, použití drenážní průsakové dlažby využívané pro stromy ve větších dlážděných plochách, nebo zavést kapkovou závlahu.

- a) Prefabrikované, nebo žlabové stěny s prostorem pro výsadbu rostlin Viz foto v příloze č. 5.1.3.A
- b) Opěrné prefabrikované a zpevňovací stěny. Používají se zejména ke zpevnění svahů podél komunikací. Jde o další variantu pro prudké svahy ozeleněné rostlinami shora, zesponu, ale i po celé ploše stěny v případě prefabrikátů zhotovených k osázení. Jedná se o stěny bez závlahy, na nichž rostliny čerpají vláhu ze srážek, z prosté půdy, z průsaků nebo drenážního odvodnění. K tomuto typu je možno připodobnit též šikmé až kolmé stěny na střechách budov, které jsou na rozhraní šikmých a vodorovných střech. Jsou zhotoveny a vyztuženy z nejrůznějších materiálů. Zpevnění má často podobu jednotlivých předělovacích buněk, nebo podélných příhrad. Viz foto v příloze č. 5.1.3.B
- c) Stěny z vegetačních pytlů (typ AS-GREEN SLOPE) sloužících ke zpevnění především strmých koryt a svahů. Trvalá závlaha se nepředpokládá, počítá se pouze s doplňkovou závlahou po vysazení rostlin do doby, než zakoření. Následně čerpají vláhu z prosté půdy.
- d) Přírodní stěny vzniklé v zářezech terénu nebo na skalách. Tyto zelené živé stěny jsou čistě přírodním typem, zahrnujícím přírodní skály a skalky, případně i vertikální zářezy v terénu bez zpevnění, v němž rostliny svými kořeny udržují stabilitu samotné stěny. Viz foto v příloze č. 5.1.3.C

e) Osázené stavěné zidky z přírodních nebo smíšených materiálů. Jsou typem antropocentrické zdi s uměle navrženým materiálem, např. kamenem dřevem, jílovými cihlami, hatěmi, případně jinými materiály, uměle osázeným, nebo samovolně porostlým porostem (např. hraniční, skládkové, protipožární, protierozní zdi). Závlaha je odvislá od charakteru konstrukce a osázení. Může být zcela bez závlahy, nebo může být zavlažována kapkou, případně springlery a jinými postřikovači. Pejchal (2011) ve své práci uvádí též stěny obsahující porézní povrchy, které byly použity na vybudování skalkové stěny v zahradě Mendelovy univerzity v Brně.

f) Přírodně porostlé antropocentrické zdi, na kterých postupně ve spárách samovolně zakořenily rostliny do skulin, nebo byly záměrně do spár usazeny. Tyto zdi neoplývají žádnou závlahou, vláhu rostliny čerpají většinou z různých samovolných průsaků, nebo z odvodňovacích spár, především tedy z dešťových srážek a vzdušné vlhkosti, přímo nebo jejich průsakem do zdi. Viz foto v příloze č. 5.1.3.D

5.1.4 Kontinuální živé zelené stěny



U kontinuálních (celoplošných) stěn dochází k výsadbě rostlin až po dostavbě vlastní konstrukce. Nejčastějším způsobem závlahy u těchto typů stěn je kapková hadice, případně springlery, nebo různé druhy mlžících trysek. Závlaha se působením gravitace dostává do nižších pater. Naspodu je přebytečná závlaha zachycována a odváděna do recyklačních zásobníků. Po přefiltrování doplnění vody, živin a úpravě pH je vracena do závlahového

Obrázek č. 4, Kontinuální živé zelené stěny

systému. Přebytečná závlaha může být bez další úpravy též zcela odváděna mimo zeď a již se pro její závlahu dále nevyužívá.

a) Celoplošné bezsubstrátové systémy typu Le Mur Vegetal vyvinuté Patrickem Blancem jsou tvořeny vrstveným materiálem s přízí.

Jsou nepřetržitě zavlažovány většinou kapkovým, výtokovým způsobem, případně springlery.

Se závlahou jsou zároveň dodávány živiny. Akumulace závlahy je minimální a při výpadku závlahy hrozí bezprostřední úhyn rostlin. Konstrukce stěny sestává z vrstvení plstěného a textilního

materiálu. řídký plstěný materiál slouží rostlinám jako náhrada substrátu. Závlaha se živinami je přiváděna kapkovým, nebo rozstřikovacím systémem. Viz foto v příloze č. 5.1.4.A

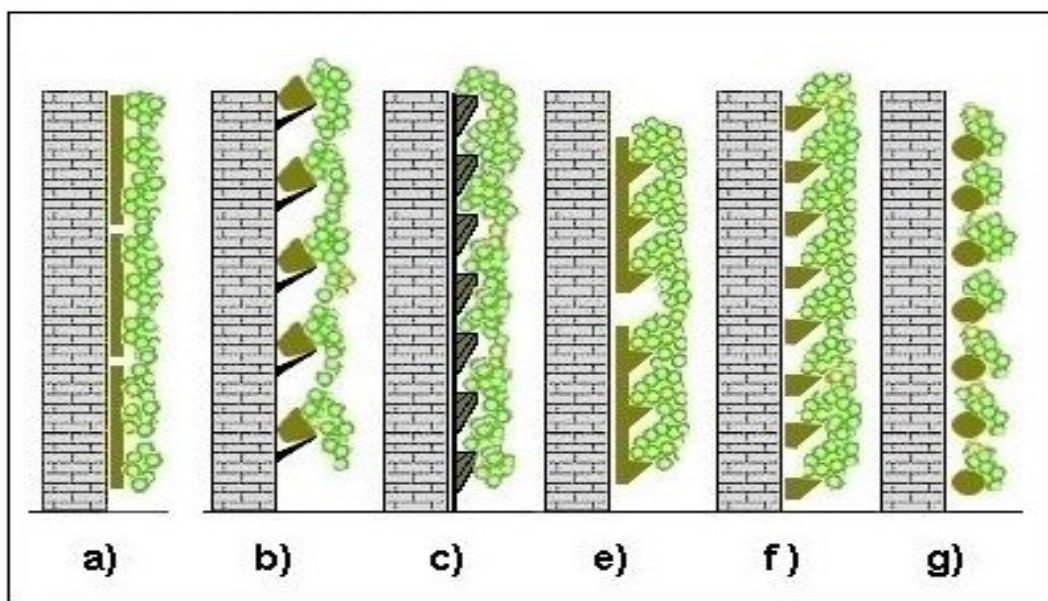
b) Textilní kapsový systém, tvořený ze dvou až tří vrstev textilie a plstěného materiálu. Kapsy jsou vyřezávány do vrchní krycí textilie. Kapsy jsou většinou vyplňovány substrátem, minerální vlnou, fomaldehydovou pěnou, nebo vodo-savým materiálem, atd. Akumulace závlahy je větší a nehrozí okamžitý úhyn při jejím výpadku. Viz foto v příloze č. 5.1.4.B

c) Systém pěstebních kapes podobný předchozímu systému tvořený drátěnou konstrukcí, přes kterou je vedena textilní metráž tvořící jednotlivé kapsy. Kapsy se pro rostliny též vyplňují vhodným pěstebním materiálem. Způsob provedení kapes může být ke zdi, jako na obrázku, nebo naopak od zdi, kdy kapsy tvoří jakési vaky. Viz foto v příloze č. 5.1.4.C

d) Jedná se o zavěšovací systém vrstev textilie tvořících samostatné kapsy. Systém je možné libovolně zavěsit na jakoukoli vhodnou konstrukci. Závěsné kapsáře na konstrukcích a různé závěsné sloupové konstrukce. Závěsné kapsáře z textilních kapes, případně nádob z různých materiálů a podobně, které se po částech, nebo jako celek zavěšují dle potřeby na prostou zeď, konstrukci, i volně do prostoru. Často se využívá v interiérech právě pro nepotřebu stavět složitou konstrukci. V interiérech mohou být kapsy namontovány na mobilní stěny jedno, nebo oboustranně a tvoří tak jeden celek. Většinou jde o malé systémy vhodné zejména pro hobby využití, interiér a malé plochy. Pro hobby použití se předpokládá ruční závlaha prosakující gravitačně shora dolů, v lepším provedení kombinace ruční a kapkové závlahy.

Systém je zavlažován u větších celků většinou kapkovou závlahou s možnou kombinací springlerů a mlžících trysek. Závlaha je často rozdělena do jednotlivých pater v nichž gravitačně prostupuje do spodních kapes, přebytek následně prostupuje až do spodní části. Na spodní, části pokud nekape vlaha do prosté půdy, se umísťuje záchytný žlab na přebytečnou závlahu. U větších systémů se závlaha ze žlabů filtruje a znovu vede do oběhu. U malých ploch se užívá ruční zalití. Pravidelná závlaha "kapsářů" je nutná vzhledem k velkému odparu vody nejen ze substrátu, ale i ze samotného závěsu. Samozřejmostí je dobrá izolace zadní části od podkladu proti průsaku závlahy a vlhkosti na nosnou zeď. Viz foto v příloze č. 5.1.4. D

5.1.5 Modulární živé zelené stěny



Obrázek č.5, Modulární živé zelené stěny

Hlavní výhoda a zároveň důvod pro zavedení modulárních stěn spočívá v jejich jednodušší montáži a demontáži při budování a údržbě. Jednotlivé moduly se při montáži vzájemně spojují do větších celků. Moduly lze připravit a předpěstovat ještě před jejich montáží na místo. Pro jejich závlahu se nejvíce využívá kapková závlaha a různé springlery. Používají se i další kombinace závlah, včetně doplňkových mlžných zařízení.

Modulární (stavebnicové) systémy lze rozdělit na:

a) Panelové a kazetové. Často se u těchto konstrukcí využívá nasákavá minerální vlna, plstěné rohože, zahradnická aminoplastová pěna, nebo minerální vlna v kombinaci se substrátem umístěným do vlny. Pěstební materiál je ke stěně přichycen pomocí mřížek, případně vrchní plstěnou textilií s vyřezanými otvory pro rostliny. Viz foto v příloze č. 5.1.5.A

b) Policové. V policích jsou upevněny pěstební nádoby s rostlinami. Policové systémy se často zavlažují podmokem ve žlabu police, pokud nejsou zalévány jednotlivými kapkovými závlahami. Viz foto v příloze č. 5.1.5.B

c) Košové systémy jsou u nás zastoupeny firmou Liko-S, využívající je především k filtraci šedé vody. Podobné košovým stěnám jsou i lamelové stěny, v nichž jsou místo košů použity horizontální lamely též zadržující substrát pro rostliny. Jejich výhodou je plošné spojení substrátu, ve kterém mohou rostliny volně prorůst do uvolněných ploch. Viz foto v příloze č. 5.1.5.C

e) Kapsové s kapsami formovanými od stěny, nebo do stěny a s otvory prořezávanými pro rostliny do kapes ve vrchní krycí plstěné vrstvě. Životnost kapsových textilních, plstěných systému je

zhruba 10 let, dle použitého druhu a kvality v kombinaci s intenzitou údržby. Závlaha se provádí kapkou rozváděnou v odstupech po jednotlivých etážích, zálivka do spodních částí sestupuje gravitačně. Viz foto v příloze č. 5.1.5.D

f) Nádobové, truhlíkové, kontejnerové, žlabové, trubkové, buňkové a velkoobjemové boxy. U truhlíkových a velkoobjemových nádob je možné kromě kapky využít samo-zavlažování pomocí knotů. Lze použít i hydroponický způsob. U žlabových a trubkových systémů je využitelný podmok přes spodní drenážní vrstvu, častěji se zavádí kapka s odtokem přes spodní drenážní vrstvu. Nádobové a buňkové systémy využívají kapky s odkapáváním do spodních nádob, které tak gravitačním spádem dále zalévají. Viz foto v příloze č. 5.1.5.E

g) Hydroponické stěny tvoří samostatnou skupinu. Využívá se v nich inertní materiál, jako perlit, keramzit, keramické prvky, různé anorganické i organické drtě, minerální vlna, sající rohože, textilie, formaldehydová pěna a další materiály. Stěny mohou být i čistě hydroponické, v nichž je závlaha vedena například potrubím s otvory, nebo žlaby, a rostliny jsou pouze zajištěny proti vytažení. Čistě hydroponické, nebo antropocentrické systémy mají všeobecně minimální zádržnou kapacitu závlahy a v našich podmínkách jsou pro exteriér nepoužitelné, případně jsou použitelné pouze sezónně.

Zvláštní případ tvoří mechové stěny, které se svým složením spíše podobají modulárním, mohou být zařazeny i mezi kontinuální. K této skupině specifických stěn je možné přiřadit i stropní stěny, u nichž jsou rostliny předpěstovány v panelech a následně zavěšovány ke stropu. Nejedná se však o závěsné rostliny epifytického růstu jako jsou například *Tillandsie* (L.), nebo různé epifytické orchideje.

Ve výčtu je nutné uvést pro doplnění i zvláštní skupinu umělých zelených stěn a závěsů s napodobením zeleně. Tato skupina se ojedinele objevuje v nabídce spíše stavebních, nebo dekoračních firem. Podobné výrobky by se jednou mohly stát součástí samostatné technologie na zvlhčování a filtraci vzduchu. V současné době však nemají s funkcí živých stěn, pomineme-li možnost zabránění nežádoucích průhledů a omezení proudění vzduchu, nic společného. Lze konstatovat, že se jedná pouze o jiný druh zakrývacích rohoží.

5.1.5.1 Hydroponický systém modulárních živých zelených stěn

Vertikální stěny typu LGW lze také rozdělit, na rostliny rostoucí v prosté zemi, v substrátech, náhradách substrátů, nebo pěstované bez substrátu - substrátových náhrad, ve své podstatě pěstované čistě hydroponicky. Hydroponický systém vertikálních zahrad lze rozdělit do několika

skupin. Všeobecně jsou tyto systémy v našich střeoevropských podmínkách v zimním období velmi špatně uplatnitelné a hodí se až na nějaké výjimky spíše pro interiéry.

Dělí se na rostliny pěstované v materiálech akumulujících závlahu. Jsou to:

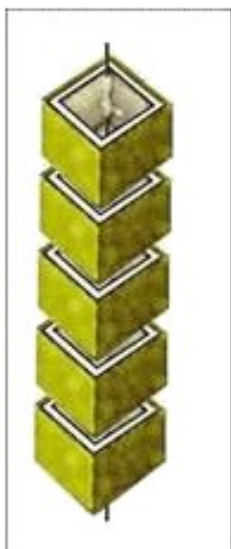
- a) minerální vlna, (vlna může být na svrchní, spodní vrstvě kryta textilií, nebo může být naopak do vlny přidána vrstva substrátu oddělená textilií)
- b) vrstvené plstěné rohože prokládané textilií a podobné kombinace, zahradnická aminoplastová pěna, (může být v kombinaci s jinými materiály většinou textilie, minerální vlna, plstěné rohože)
- c) vrstvený plstěný systém prokládaný textilií nebo podobnými materiály kombinovaný se substrátovým inertním materiálem (keramzit - liapor, písek, perlit, biochar, drcené bazické horniny a montmorillonit, atd.)
- d) substrátové materiály s aktivní složkou zeminy nebo substrátu

Rostliny pěstované v prosté hydroponii (a uchycené ke konstrukci) mohou být zavlažované buďto:

- a) se stálou hladinou závlahy
- b) s dočasnou hladinou závlahy

Samostatnou skupinu tvoří stěny s postřikem kořenového systému, aeroponií atd.

5.1.6 Kinetické živé zelené stěny



Kinetické živé zelené stěny jsou speciální konstrukce rotujících, nebo zavěšených sloupů tvaru válce, kvádru, ale i posuvných, různě sklopných plošných panelů v kombinaci s typem různě konstruovaných modulárních stěn, skýtající možnost pohybu. Dalším speciálním druhem jsou specifické užitkové produkční stěny. Využívají se kinetické stěny typu žlaby, lišty, nádoby umístěné na pohyblivých součástech, případně na otočných válkách. Důvodem je účelné využití prostoru. Současně se tyto systémy snaží poskytnout pěstovaným rostlinám stejné pěstební, především světelné podmínky tím, že dochází k pohybu pěstebních ploch. Pohybem může být dosaženo i samostatného zavlažování. Pěstební koryto, nádoba se smáčí v zavlažovací nádrži.

Obrázek č.6, Kinetické živé zelené stěny

5.1.7 Zelené vertikální stěny na mobilních konstrukcích

Jsou typem mobilních přenosných okrasných menších stěny, sloužících většinou sezónně k oddělení nebo zakrytí určitých prostor, nebo jako náhrada pěstební plochy v místech, kde není možno vysadit rostliny do prosté půdy. Způsob závlahy je možný jako u hydroponických truhlíků, zásobních nádrží, samozavlažovacích truhlíků, nebo nádob obsluhovaných kapkovým nebo jiným systémem (speciální žlaby - závlaha podmokem, nasávací rohože, ale i třeba plošným postřikem postřikovači). V případě potřeby i bez zavlažovacího systému s využitím srážek a občasným doplněním vláhly ručně, u veřejných venkovních prostor např. z mobilní cisterny. Viz foto v příloze č. 5.1.7.A

Může se jednat i o mobilní truhlíkové nádoby s konstrukcí pro popínání rostlin, či jejich zavěšení. Viz foto v příloze č. 5.1.7.B

5.2 Problematika udržitelnosti závlahy stěn

Rešerší odborné literatury a vlastním pozorováním vybraných stěn (fy Dynex Buštěhrad, Stadtgärtnerei - Zentrum für Pflanzen und Bildung Zürich, Demonstrační a výzkumná stanice Troja, ČZU Suchdol, OC Smíchov) byla v závlaze zjištěna problematická udržitelnost stěn v našich klimatických podmínkách bez dalších nákladů (bez náhradní závlahy, bez časté a rozsáhlé výměny odumřelých porostů) nutných na jejich udržení v akceptovatelném stavu.

Cílem práce bylo nalézt řešení k odstranění problémů vznikajících v závlahových systémech středoevropského klimatu, kde v době vegetačního klidu klesají teploty pod zámrazné hodnoty. Závlaha v těchto systémech obvykle zamrzá a způsobuje poškození systému a vícenáklady na údržbu.

5.2.1 Vaková kapilární závlaha - vlastní návrh řešení

Nově navržená závlaha umožňuje zavlažovat stěnu i v přechodné době, kdy teploty ještě nejsou výrazněji pod bodem mrazu. Ostatní zavlažovací systémy je nutno před příchodem mrazů zazimovat, nebo spustit vyhřívání závlahy. Nový systém však umožňuje dodat rostlinám na stěně závlahu do úplného zámrazu. Následně je přívod vody do systému uzavřen, v závlahových vracích však zůstává k dispozici částečné množství vody. V případě vystoupení teplot nad bod mrazu je možné vodu do závlahových vaků krátkodobým spuštěním závlahového systému opět doplnit. Rostliny tak netrpí stresem z nedostatku vody.

Právě v zimním a jarním období, kdy teploty mezi dnem a nocí, ale i mezi jednotlivými dny dosahují velkých teplotních výkyvů, bývá slunce nízko nad obzorem a na stěny dopadá sluneční záření v téměř kolmém úhlu. V této době se i navyšuje doba osvitů přímými slunečními paprsky.

Nový návrh zavlažování LGW je možno využít i pro jiné případy, například pro závlahu truhlíků, městské mobilní zeleně atd. Systém funguje na principu kapilárního rozvodu závlahy do pěstebního substrátu přes kapilární vložky. Jedná se o netlakový, ve své podstatě otevřený závlahový systém. Systém je tvořen soustavou pružných závlahových vaků umístěných do pěstebního substrátu, nebo pěstebního média.

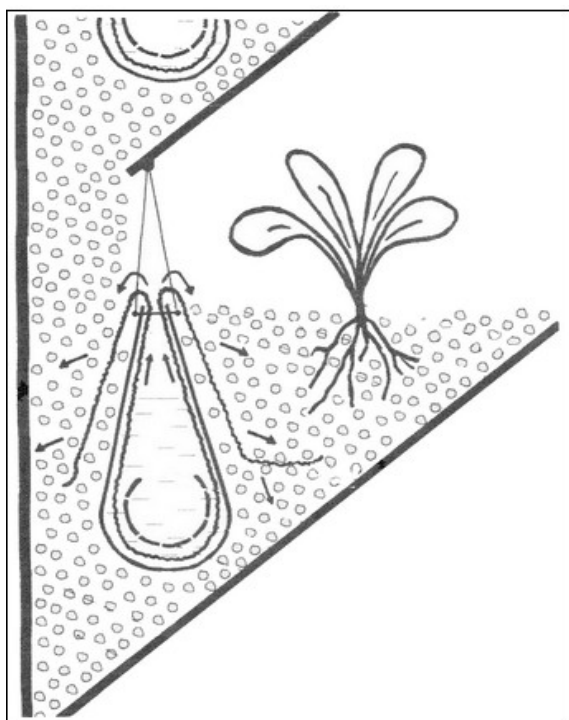
Tato závlaha je určena především pro externí modulární zelené vertikální stěny (LGW) a pro zelené fasády umístěné v nádobách.

Systém je navrhovaný pro konstrukce, ve kterých je vegetace prokořeněna po celé ploše modulu, lze ji však s úpravami použít i do dalších variant, případně ji využít i k závlaze další zeleně. Nový systém odstraňuje nutnost vypouštět zálivku ze systému, nebo ji temperovat. Tím značně šetří více náklady na provoz závlahových systémů. Pomáhá řešit nedostatečnou zásobu vody v substrátu při rychlém střídání vyšších denních teplot, kdy se substrát nadměrně ohřívá, a nočních mrazových teplot, pro něž nelze nechat závlahu v provozu.

5.2.2 Technické řešení závlahy

Podstatou nového zavlažovacího systému jsou pružné závlahové vaky, zhotovené z elastického hydroizolačního materiálu na bázi flexibilních polyolefinových folií. Vaky jsou naplněné vodou a vzájemně propojené pro průtok. Uvnitř vaku jsou umístěny jedna, nebo více nasávacích kapilárních rohoží (ovlivňujících dávku závlahy - množství kapilárního proudění). Svým koncem přesahují přes hrdlo závlahového vaku do pěstebního substrátu vně vaku. Vaky jsou v substrátu zapuštěny až po hrdlo. Doporučuje se zároveň chránit výstupní hrdlo závlahových vaků proti zanášení nečistot vhodnou geotextilií, nebo mulčovací textilií. Nasávací kapilární rohože mohou být různé délky, a tím je též možno ovlivňovat dávku závlahy.

U dna závlahových vaků jsou kapilární rohože jištěny proti náhodnému vytažení tvarovacími výztuhami. Výztuhy zároveň zpevňují celý závlahový vak. Místo substrátu mohou být nasávací kapilární rohože zapuštěny i do jiného, vodu přijímajícího, pěstebního materiálu. Kapilárními rohožemi je závlaha po naplnění vaků vedena koncentračním spádem do okolního substrátu s rostlinami. Potřebné množství závlahy na jednotlivých místech lze ovlivnit množstvím, tvarem, délkou a rozsahem zapuštění kapilárních vložek, přes které ze závlahových vaků vzlíná voda do substrátu nebo pěstebního média.



Obrázek č.7, Průřez vakovou kapilární závlahou

Celý závlahový systém LGW může být tvořen závlahovými vaky s kapilárními vložkami, které jsou umístěny uvnitř. Může být také tvořen závlahovými vaky s kalibrovanými otvory pro odkapávání závlahy na vnější kapilární vložky pod otvory. Případně může být dle potřeby jakoukoli jejich kombinací. Celá soustava závlahových vaků je spojena propojovacími trubkami a opatřena přívodem a odvodem závlahové vody. Závlahové vaky v soustavě mohou být uspořádány v řadě za sebou, nebo i v několika řadách pod sebou, v závislosti na velikosti plochy zelené stěny. Viz foto v příloze č. 5.1.2.A

5.2.3 Přednosti nového závlahového systému

Vaková kapilární závlaha doplňuje závlahu průběžně, nezpůsobuje vyplavování substrátu a živin, nepřesycuje substrát vodou, a tím nadbytečně nevytláče vzduch ze zbylých kapilárních pórů. Kořeny rostlin tak mohou volně dýchat a nedochází k afylaxi a jejich zahnívání. Pružné závlahové vaky přinášejí hlavní výhodu oproti dosud používaným systémům kapkové závlahy, nebo závlahy podmokem v tom, že v nich voda může zůstat i v zimním období, kdy teploty klesají pod bod mrazu a závlaha běžně při těchto teplotách zamrzá. Není tedy nutno vypouštět zavlažovací systém před očekávaným příchodem mrazů, aby se předešlo jeho poškození roztahujícím se ledem. Přívod závlahy tak stačí pouze s příchodem mrazů vypnout. Potrubí závlahového systému je vyspádované tak, aby v něm voda nezůstávala a nezamrzala, teče do závlahových vaků a její případný přebytek oteče do recirkulační nádrže. Není nutné z důvodů očekávaných mrazových teplot zavírat a při přechodném oteplení naopak hned otvírat přívod vody pro doplnění závlahy a systém následně znovu vypouštět a kontrolovat. Závlahový systém tak umožňuje lepší závlahu LGW v přechodných obdobích. Závlaha zůstává uskladněná v závlahových vácích a je dle své zvolené velikosti schopna pokrýt na krátké období spotřebu rostlin. Spotřeba závlahy rostlinami je v těchto přechodných obdobích silně redukována. Zavlažovací vaky tak spíše vyrovnávají spotřebu vody především evaporací substrátu. Substrát tak zůstává přirozeně vlhký. Substrát nevysychá, nedochází u něj vlivem velké akumulační hodnoty vody k rychlým teplotním výkyvům.

Během podzimních měsíců při poklesu teplot pod bod mrazu dochází k ohřevu substrátu účinkem tepla akumulovaného ve vodě v závlahových vacích. Vyrovnávají se tak skokové rozdíly denních a nočních teplot substrátu. Ve chvíli, kdy voda v závlahových vacích již zamrzne, slouží zároveň jako chladič umístěný v substrátu. Při případných krátkých denních otepleních zabraňuje rychlému ohřevu substrátu, kdy nadbytečné teplo ze substrátu odebírá pro potřebu odtávání ledu ve vacích.

V případě, že je přísun tepla ze slunečního svitu tak velký, že led již odtává, kapilárními rohožemi se odtávající voda dostává k rostlinám a zásobuje je vodou v době, kdy není možné spustit závlahu, a to ještě dříve, než začnou rostliny trpět stresem z nedostatku vody. K odtávání ledu zamrzlé závlahy v závlahových vacích tak bude postačovat teplo odebírané ze substrátu ohřívánoho jarními denními slunečními paprsky. Sluneční paprsky v období zimy a předjaří dopadají na substrát vertikálních stěn téměř v kolmém úhlu a způsobují předčasné probuzení rostlin do vegetace. Noční mrazové teploty následně narašené rostliny nejen poškozují, ale i vytahují z mělkého pěstebního substrátu. Rostliny v této době mají listy většinou částečně svinuté, nebo i zcela opadané a průnik slunečních paprsků k substrátu je o to intenzivnější. Dopad slunečního záření v tomto období se může za slunečného dne pohybovat dle situace a klimatických podmínek od 60 do 150 W/m²/den, tedy především v průběhu několika hodin kolem před a po poledni. Při předpokladu, že na naše území je dopad slunečního záření cca 940 až 1340 Wh/m²/rok, z čehož je 75 % obsaženo především v letních měsících. Dle Českého hydrometeorologického ústavu svítí u nás slunce bez oblačnosti v průměru 1400 až 1700 hodin. (Fotovoltaika v podmínkách České republiky, odkaz 1.)

Teplota stěny, především substrátu v krátkém časovém úseku rychle stoupá, aby se v zápětí opět v nočních hodinách rychle ochlazovala pod bod mrazu. Tyto rozdíly teploty spolu s různými rozdíly roztažnosti kořenového balu rostlin a substrátu způsobují vyzdvihování celého kořenového balu ze substrátu. Poškozují se tím především kořenová vlákna na okraji kořenového balu, přerušují se kapilární póry v substrátu a spolu s náhlou potřebou doplnění vody tak dochází k vytvoření stresu vlivem nedostatku vody. Další neméně podstatnou výhodou závlahových vaků je skutečnost, že i v době vegetace se pozvolna vyrovnávají v pěstebním substrátu rozdíly v denních a nočních teplotách.

5.3 Stěny v areálu Demonstrační a výzkumné stanice Troja

U testovaných stěn v areálu Demonstrační a výzkumná stanice v Troji je zaveden tlakový kapkový systém od firmy Irimon, který po dosažení určeného tlaku spouští naráz závlahu umístěnou ve stěně. Problémem této poloautomatizované závlahy se spínacími hodinami je ve špatné kontrole dostatečnosti závlahy. Pokud bude substrát ve stěně více nebo zcela vyschlý, bude krátký zavlažovací cyklus, spouštěný spínacími hodinami, nedostatečný. Pokud bude substrát plně

nasycený, závlaha bude nadbytečně sytit substrát a bude docházet k uhnívání kořenů a zbytečnému vyplavování živin. Otázka živin není ve stěně řešena a je nutno je injektáží dodávat přímo k rostlinám do substrátu, což však zvyšuje náročnost obsluhy.

Tlaková kapková závlaha je ve zkoušených stěnách vedena do zaslepených hadic, pouze u jedné je celý systém kapkové závlahy zapojen do cirkulační smyčky. Stěna s cirkulační smyčkou má v zadní části umístěnou polyuretanovou pěnovou vložku, která po nasátí funguje jako částečný zásobník vody do další závlahy. Je umístěna shora do 3/4 stěny. V nejspodnější části stěny je již pouze substrát bez nasávací vložky. Viz foto v příloze č. 5.3.A. Voda má tendenci se gravitačním spádem hromadit v níže položených částech stěny, kde právě její nadbytek vyplněním většiny kapilárních pórů způsobuje nedostatek vzduchu pro kořeny. Zadní část stěny k budově je navíc chráněna mikrotenovou folií. Slouží k izolaci vlhkosti od stěny a zároveň zabraňuje odpařování vody z rostlinami nezakryté části substrátu.

Substrát je ve stěně z obou stran chráněn proti vysypání geotextilií. Obě strany geotextilie zajišťuje pozinkované pletivo, vrchní nosnou stěnu zajišťuje prostá nezinkovaná betonářská Kari síť s oky o rozměrech 15 cm se zpevněným rámem z úhlového železného profilu, připojená mezi dva železné kruhové sloupy o průměru 10 cm.

Již u předchozího stavu stěny se projevily nedostatky v koncepci stěny a řešení závlahy. Kapající voda v místech výtoků z hadice vytvářela vzdušné krátery gravitačním splavováním substrátu. V místech růstu vitálnějších rostlin naopak docházelo k zarůstání kořenů přímo do prolisů kapkových výtoků a k jejich ucpání, přestože v prolisech byla výrobcem namontována herbicidní měděná vložka. Špatná byla i instalace kapkových prolisů, protože jejich nasměrování vzhůru způsobilo časté zanášení částčkami substrátu. Viz foto č. 5.3.B, foto č. 5.3.C.

Problémem při nové výsadbě stěny způsoboval sypký substrát, jež měl i při nasycení vodou tendenci se z otvorů vytvářených pro výsadbu vysypávat. Nad kořenovým balem tak vznikal prázdný prostor, který se po spuštění závlahy po výsadbě počal zasypávat výše položeným substrátem. Tímto opět vznikaly vzduchové bubliny ve stěně, které nebylo možné již dostatečně zaplnit substrátem shora. Ani částečné proložení stěny policemi do dvou třetin situaci moc nezlepšilo.

Dělení na police částečně zabránilo rychlejšímu pronikání vody vlivem gravitace do níže položených vrstev substrátu. Problematická byla ale skutečnost, že přílišná rozdílnost substrátu ve stěně a v balech rostlin způsobovala vytahování kořenového balu. Rostliny v rašelino - kůrovém substrátu snadněji vysychaly a zpětně hůře nabíraly závlahu oproti více minerálnímu substrátu použitému ve stěně. Tím se rostliny hůře zakořeňovaly do substrátu stěny. Bylo tak způsobeno (za přispění ne vždy kvalitní sadby) odumírání některých rostlin. Výhodou celoplošného substrátu

ve stěně je naopak možnost některých druhů rostlin překořenit substrátem do uvolněných partií stěny. Viz foto č. 5.3.D - F.

5.4. Příklad chyb závlahy na konkrétní stěně v Buštěhradě

Některé závlahové systémy jsou pro tato přechodná období temperovány, aby je zamrzající voda nepoškozovala. Systém závlahy s temperováním vody je zaveden např. u kontinuální LGW se systémem kapes naplněných substrátem u firmy Dynex, se sídlem v Buštěhradě. Z fotografií je patrné, že systém je pro potřeby zimní závlahy předdimenzován. Neustále proudící množství vody vytlačuje většinu půdního vzduchu a dochází zde především k druhotnému nárůstu řas a mechů. Nárůst mechů signalizuje přemokření i klesající pH substrátu. Dochází i k značné degradaci upevňovacího materiálu a následně i plstěného materiálu nesoucího pěstební kapsy. Viz foto v příloze č. 5.2.A.

Na snímcích je vidět i vznik ledových krápníků z přebytečné zamrzající závlahy. Viz foto v příloze č. 5.2.B. Neustálým prouděním temperované závlahové vody tak dochází k poklesu pH substrátu, vyplavování živin i částec substrátu, nadbytečné oxidaci konstrukce stěny (především sponek upevňujících plstěné substrátové kapsy), usazování solí ze závlahy na okrajích konstrukce, ale především ke zbytečným ekonomickým nákladům na neustálé cirkulační čerpání závlahy, filtrování a její zimní temperování. Viz foto v příloze č. 5.2.C.

Není známo, v jakém množství je nastavena dodávka vody, je však zřetelné, že se jedná o nepřetržitý provoz, aby nedocházelo k zamrznutí vody v nevyspádaném potrubí. Pokud je spotřeba závlahy LGW v době vegetace odhadována na 4 - 8 l/m²/ den (Segovia-Cardozo et al. 2019), tak spotřebu vody v zimním období lze odhadnout max. na 0,1 - 0,3 l/m²/ den a to ještě v případě, že se teploty v době vegetačního klidu pohybují nad bodem mrazu a předpokládají se slunečné dny. U stěny firmy Dynex je patrné, že dochází k přemokření substrátu závlahou především ve spodních vrstvách, ale i ve středu stěny, a tudíž k pozdějšímu nástupu vegetace, větší náchylnosti ke kořenové asfyxii, a tím k odumírání méně vitálnějších druhů rostlin. Především nastává celková změna vnitřní struktury LGW. Opačně působí okraje a horní část stěny, kde se mechanicky odtrhává plstěná vrstva s pěstebními kapsami. Zároveň v horní části stěny nejvíce zatěžované prouděním vzduchu, nízkou stabilitou mikroklimatu, slabší rovnoměrností závlahy, je viditelná větší stresová zátěž pro rostliny.

Nebylo možné dohledat dokumentaci projektu, zhodnotit vhodnost a životnost konstrukce, natož zohlednit výpočty spotřeby a dodávky závlahy, spotřeby ohřevu závlahy, hmotnosti stěny ani vhodnost použitého materiálu. Viz foto v příloze č. 5.2.D.

5.5 Výhody a nevýhody zelených stěn

Výhody zelených fasád jsou v jejich nízké nákladovosti na založení a následnou další údržbu oproti samostatným LGW a také v nezávislosti na stálé dodávce závlahy. LGW jsou z hlediska závlahy v našich zeměpisných šířkách zranitelné v přechodných obdobích zimy a předjaří. U zelených fasád je v ohrožení celá rostlina. Pokud dojde k poranění ve spodních částech rostlin a v oblasti kořenů, je ohrožena značná část celé zelené fasády. Často dochází k odumření velkých částí vlivem mechanického poškození, nebo zhoršujících se půdních podmínek ovlivněných např. náhlým zvýšeným provozem kolem rostlin, utužením, uzavřením půdy pro závlahu, znečištěním psími, lidskými výkaly, zasolením, atd.

Nevýhodami zelených fasád je jejich omezená diverzita, pomalý růst, pomalé pokrytí zamýšlené plochy, nemožnost rychlé nápravy v případě úhynu nebo poškození rostlin. Dalším záporem může být přímé znečištění domovní fasády přičepivými kořeny popínavých rostlin. Tento nedostatek je možno řešit vedením po samostatné konstrukci. Na obtíž je i prorůstání některých druhů (především druhů *Hedera L.*) pod zateplenou fasádu a do vzniklých spár.

Hlavními nevýhodami zelených stěn typu LGW je především jejich velká ekonomická nákladnost na výstavbu a následný provoz. Nákladná je stálá nutnost kontroly funkčnosti stěny jak řídicím systémem, tak i odborným pracovníkem. Dosud také není zcela vyřešená ochrana konstrukce před účinky závlahy a hnojiv. Složitá je zejména obsluha stěny ve výškách, při dosazování odumřelých rostlin, při závadách závlahy, ale i při poškození samotné konstrukce zaviněném nejružnějšími faktory.

V našich zeměpisných podmínkách je zapotřebí se kromě vhodné volby typu stěny a osazovaných rostlinných druhů zabývat především problematikou závlahy v období vegetačního klidu. Přesto dochází v předjaří k největšímu úhynu rostlin na LGW stěnách. Pro udržení estetického vzhledu stěny je potřeba provádět každoroční obnovu uhynulých a poškozených rostlin. Může se podle druhů rostlin jednat o 15 - 20 %, ale i o 30 - 80 % úhynu. K odumření často dochází i v letních měsících, kdy teploty v místě přesahují hodnoty únosné pro rostliny. Přidá-li se k problémům i pouhý krátkodobý výpadek závlahy, je poškození rostlin často nevratné. Jedním z opomíjených problémů nejen substrátových stěn, ale i stěn s minerální vlnou, sacími rohožemi, zahradnickou pěnou a podobnými materiály, je jejich krátkověkost z hlediska údržby. V případě úhynu více rostlin ve stěně je nutné vyměňovat celý panel. Kořeny rostlin v minerálních vlnách mezi sebou prorůstají. Vyjmout uhynulou rostlinu bez poškození vlny a okolních rostlin je ve spojení s vertikální polohou téměř neproveditelné. Podobné to je i u substrátů. Obzvláště substráty s přídavkem organického materiálu rychle časem vyžívají a sesedají se. Zásahem se také značně poruší kapilární vlastnosti pěstebního materiálu, který je potřebný ke stejnoměrné závlavě. Jednou z

možností je rostlinu pouze povrchově odstranit s dosazením nové, což v případě chorob a škůdců není vždy žádoucí. Často se na takovém místě vyskytnou plísňe. Je třeba upozornit i na skutečnost postupného prorůstání kořenového systému materiálem, který následně degraduje a rostlinám přestává vyhovovat. V narušeném systému se špatně udržuje rovnoměrná zvlaha a hnojení spolu s pH. Pro estetické i funkční vlastnosti stěny je potřeba v horizontu 4 - 5 let zvážit výměnu rostlin. Podobnost můžeme vypořádat i u běžných trvalek na zahradách, kde po určité době dochází k postupnému odumírání krátkověkých trvalek a dominanci silnějších a agresivnějších rostlin.

Samostatnou kapitolou stěn jsou technické parametry vycházející z různých předpisů. Nejde opomenout škodlivý vliv prostředí a v současné době stále aktuálnější vliv častých, nepředvídatelných, náhlých změn počasí. Stěny dosud nebyly hlouběji testovány na vysoké nárazové větry a různé druhy neočekávaných srážek. Rovněž požární bezpečnost stěn nebyla dosud u nás zkoumána. Nemáme žádné dlouhodobější zkušenosti s životností a odolností konstrukcí stěn, natož s chováním stěny při rozsáhlejších poškození, či mimořádných událostech, požáru, vichřici, pádu těžkých předmětů, ledovém mrhnutí, atd.

6 Diskuze

Udržitelnost a případná rychlá obnova bez další zátěže životního prostředí (nenákladná recyklovatelnost) je důležitý prvek pro ekonomičnost LGW a jejich další rozvoj.

Instalace zelených stěn se snaží podpořit ekonomicky udržitelný a ekologický přístup naší společnosti k životnímu prostředí. Otázkou zůstává, zda tento způsob ozelenování městského prostředí pouze neodsouvá skutečné problémy nadměrné urbanizace prostoru, nezakrývá neochotu a neschopnost řešit skutečné problémy vytvořené nekompetentním a necitlivým přístupem člověka ke svému okolí. Spočítá-li se skutečná ekologická zátěžová stopa od těžby surovin, přes výrobu až po provoz LGW, není jisté, zda stěny pouze nepřesouvají tuto stopu do jiných oblastí.

Při zpracování této práce, která si kladla za cíl vytvořit účinný a ekonomicky nenáročný zavlažovací systém, jsem vycházel z úvah nad dosud popsány problémy se zvlahou. Empirickým zkoumáním vybraných stěn jsem došel k podobným závěrům, které jsem následně objevil v literárních rešerších. Částečně se tím potvrdil můj náhled na problematiku. Potvrdila se původní lidská snaha tvořit a zlepšovat s využitím dostupných zdrojů a prostředků, jež jsou v této oblasti v současné době k dispozici.

Celkově je třeba polemizovat s tím, nakolik naše lidské nadužívání dostupných zdrojů přináší kýžený cíl ekologizace městského prostředí, zda živé zelené stěny přinášejí alespoň částečně obhajitelnou náhradu toho, co sami svým přístupem neustále ničíme. V dávném klimatu Země

najdeme vyšší i nižší obsah CO₂, a O₂ v atmosféře i vyšší, i nižší průměrné klimatické teploty. V "zelené historii Země" však nenajdeme tak značné zamoření nepřírozenými chemickými sloučeninami jako v současné době. Lidstvo po dobu své existence sice do určité míry ovlivňuje klima Země, ale od doby "průmyslové revoluce" se stále vypouští do životního prostředí bez jakékoli kontroly spousty chemických sloučenin, na které životní prostředí není připraveno. Zde dochází k opravdu velkému negativnímu ovlivňování klimatu s dopadem, který zpětně zasáhne nejen přírodu, ale i nás. Můžeme doufat, že si Země postupně dovede poradit i s naší pro ni nepřírozenou výzvou. Návraty k novému normálu budou velmi těžké, provázené dalekosáhlými následky, které si dnes neumíme představit.

7 Závěr

V práci byla vytvořena kategorizace stěn na základě prostudovaných rešerší a pozorování vybraných stěn.

Studiem charakteristik jednotlivých typů stěn byl potvrzen jejich současný rozvoj ve všech směrech.

Byly popsány výhody a nevýhody vybraných druhů stěn.

Došlo k nastínění problematiky závlahy v přechodných obdobích.

Byly zjištěny slabiny stěn typu LGW - závislost na závlaze, časté špatné rozložení vody ve stěnách, přemokření spodních částí stěn, časté odumírání rostlin, degradace materiálu především ve spodních částech stěn.

Bylo zjištěno, že nejvíce ztrát rostlin ve stěnách způsobují přechodná období vegetačního klidu a extrémní podmínky v průběhu vegetace. Každoroční úhyny rostlin z tohoto důvodu vyžadují jejich opakovanou obnovu.

Stěny nelze v jejich současné technické podobě považovat pro naše klima za stabilizované.

Zvláštní úpravu stěny umístěné v Demonstrační a výzkumné stanici Troja nebylo možno vzhledem k nedostatku srovnávacího materiálu hodnotit. Oproti ostatním stěnám vykazovala zelenější vzhled. Příčiny nebyly odhaleny. Je možné se domnívat, že policové rozdělení pěstební plochy způsobilo menší gravitační sesedání substrátu a tím i nižší poškození kořenů rostlin.

Nebylo možné ověřit, zda molitanová vložka způsobila delší akumulaci vody ve stěně.

Lze očekávat, že folie umístěná v zadní části stěny snížila odpar vody ze substrátu oproti původní stěně, která zadní folii neobsahovala.

V modelovém řešení vakové kapilární závlahy se promítla možnost zmírnit dopady současných závlah na rostliny především v přechodných obdobích.

V době silných mrazů voda v těchto vacích zamrzá bez poškození vaků.

Při oteplení zmrzlá voda ve vacích taje, při tání voda teplo odebírá a vydává vodu z tajícího ledu skrz kapilární vložky.

Lze předpokládat, že nová závlaha zabezpečí rostlinám dostatek vláhy a zároveň umožní vyrovnávat extrémní teploty a bude chránit rostliny před předčasným nástupem vegetace a stresem z nedostatku vody.

Rozvoj vertikálních stěn může do budoucna přinést větší ozelenění sídel.

Lze očekávat, že s postupujícím vývojem technologií bude dosaženo optima pro udržení skutečně funkčních a ekologičtějších stěn.

S rychlým vývojem a různými způsoby využití stěn bude nutno neustále upravovat jejich klasifikaci.

Další dělení typů stěn bude záviset na všeobecné diskusi a vytyčení hlavních bodů pro jejich klasifikaci.

8 Literatura

Bildungstafeln Stadtgärtnerei 2019 - Zentrum für Pflanzen und Bildung Zürich

Blanc P. 2008, The vertical garden: From nature to the city, W.W. Norton & Company, New York

Burian S. 2011, Přehled druhů pnoucích dřevin, Zelené fasády - jednodenní odborný seminář, Praha

Burian S. 2011, Využití pnoucích dřevin, Zelené fasády - jednodenní odborný seminář, Praha

Burian, S. 2019. Vertikální zahrady střízlivým pohledem, Inspirace číslo 3, Mladá fronta, Praha

Davis M.M. & Himer S. 2015, The potential for vertical gardens as evaporative coolers:

An adaptation of the 'Penman Monteith Equation', DOI:10.1016/J.BUILDENV.2015.03.033

Corpus ID: 109327118, Available from

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132315001511?via%3Dihub>

Doležal J. a kol. 2020, Nedostatek vláhy může být pro růst horských bylin větším omezením než nízká teplota, Tisková informace BÚ AV ČR, Průhonice

Hanzlík J. 2019, Nové technologie v závlahách a jejich použití, časopis Zahradnictví, Praha

Havlíček V. 1986, Agrometeorologie, SZN, Praha

Heike K. 2003, Atlas pokojových rostlin, Vašut, Praha

- Jirásek F. 1973, Květiny našich domovů, SZN, Praha
- Kleinod B. 2004, Zahradní architekt - Zeleň na domě a dvoře, Grada, Praha
- Křištín J. et al. 1978, Nauka o prostředí rostlin, SZN, Praha
- Manso M., Castro-Gomez P. J. 2016. Green wall systems: A review of their characteristics, Renewable and Sustainable Energy Reviews 41:863–871, DOI: [10.1016/j.rser.2014.07.203](https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203)
Available from
www.researchgate.net/publication/266078897_Green_wall_systems_A_review_of_their_characteristics
- Mára et al. 1982, Rukověť zahrádkáře, Naše vojsko, Praha
- Masi F. et al. 2016, Green walls for greywater treatment and recycling in dense urban areas: a case-study in Pune, Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development,
Available from <https://doi.org/10.2166/washdev.2016.019>
- Nečas T. 2022, Úroda meruněk je opět v ohrožení, Ústav ovocnictví (ZF) Mendelovy univerzity v Brně, Available from <https://mendelu.cz/35428n-uroda-merunek-je-opet-v-ohrozeni>, 23. 3. 2022
- Novák V. 1995, Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania, Veda, Bratislava
- Patentová přihláška PV 2021-553, 2021, Úřad průmyslového vlastnictví ČR
- Poláčková A. 2016, Zahrady na konstrukcích a jejich potenciál v městské zeleni - bakalářská práce, Mendelova univerzita v Brně
- Pirouz B. et al. 2020, A Novel Idea for Improving the Efficiency of Green Walls in Urban Environment (an Innovative Design and Technique) University of Calabria, Italy, Available from <https://doi.org/10.3390/w12123524>
- Segovia-Cardozo A. et al. 2019, Living green walls Estimation of water requirements and assessment of irrigation management, DOI: 10.1016/j.ufug.2019.126458, Universidad Politécnica de Madrid, Available from <https://www.researchgate.net/publication/335696847>
- Součková M. 2000, Pnouce rostliny na zahradě i v bytě, Grada, Praha
- Soukup J. et al. 1979, Výživa rostlin, substráty, voda, SZN, Praha
- Storch D. 2017, Dobře už bylo - Globální biodiverzita, masové vymírání a klimatické změny, Vesmír, Praha
- Syrovátka T. 2012, Pěstování květin, orchidejí, zeleniny a hub v samozavlažovacích truhlících, Grada Publishing a.s., Praha
- van de Wouw P.M.F. et al. 2017, Precipitation collection and evapo(transpi)ration of living wall systems: A comparative study between a panel system and a planter box system Available from <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.002>
- Takke 2019, ústní sdělení, Stadtgärtnerei - Zentrum für Pflanzen und Bildung Zürich
- Zablotskii V. et al. 2017, Bilogie a magnetismus vzájemná přitažlivost, Fyzikální ústav Akademie

věd ČR, v.v.i.

Odkaz 1. Fotovoltaika v podmínkách České republiky (20.3.2022),

<http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>,

Foto č. 5.1.4.C (13.4.2022)

<https://www.plantwalls.ca/products/florafelt-pro-system>

9 Seznam použitých zkratk a symbolů

ČZU - Česká zemědělská univerzita v Praze

VÚRV - Výzkumný ústav rostlinné výroby Ruzyně

LGW - Living Green Wall

10 Samostatné přílohy

Textu k objasnění výkresu a technického popisu fungování mého vynálezu upraven na základě mých podkladů panem Belfinem. (patentová přihláška PV 2021-553, Úřad průmyslového vlastnictví ČR)

I. Objasnění výkresů

Vynález je dále blíže objasněn pomocí výkresů příkladných provedení závlahového systému vnější zelené stěny podle vynálezu, kde znázorňuje:

Obr. 1 - závlahový vak závlahového systému v řezu;

Obr. 2 - schematické zobrazení řady závlahových vaků v prostorovém pohledu;

Obr. 3 - řez alternativním provedením závlahového vaku.

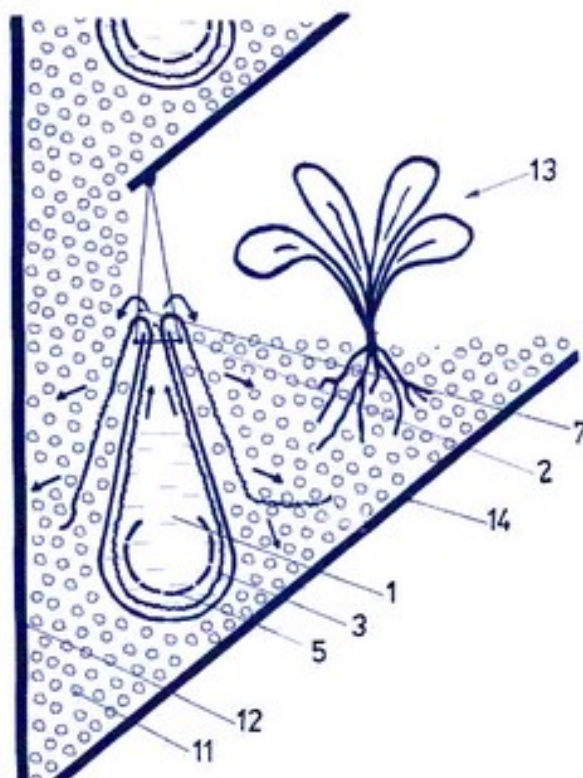
II. Příklad uskutečnění inovace

Závlahový systém v příkladném provedení vynálezu sestává, jak je patrné z obr. 1, ze soustavy závlahou naplněných a propojených závlahových vaků 1, zhotovených z elastického materiálu a umístěných v zelené stěně, tvořené jednotlivými moduly 14, svisle mezi vnější proti vlhkosti izolovanou stěnou 12 budovy a čelní plochou 13 zelené stěny. Pomocí úchytů 7 jsou tyto závlahové vaky 1 zavěšeny v zelené stěně, přičemž jsou v pod nimi zapuštěny po své hrdlo 2 do pěstebního substrátu 11. Uvnitř jsou tyto závlahové vaky 1 opatřeny kapilárními vložkami 3, přesahujícími oběma svými konci přes hrdlo 2 závlahového vaku 1. Oba přesahující konce kapilárních vložek 3 jsou pak zavedeny do pěstebního substrátu 11 kolem závlahových vaků 1 do hloubky dle množství vody, potřebné pro závlahu v něm rostoucích rostlin. U svého dna nad kapilárními vložkami 3 jsou

pak závlahové vaky 1 opatřeny tvarovacími výztuhami 5, tvořenými výsečemi děrovaných trubek, zhotovených z plastických hmot, např. z polyvinylchloridu nebo polyetylenu. Šipkami je na obr. 1 naznačeno vztlínání vody ze závlahového vaku 1 kapilární vložkou 3 a její pronikání do pěstebního substrátu 11.

Závlahové vaky 1 jsou uspořádány v řadách nad sebou a jak je patrné z obr. 2, jsou podélného obdélníkového tvaru, přičemž v každém závlahovém vaku 1 jsou vedle sebe umístěny dvě obdélníkové kapilární vložky 3. Závlahové vaky 1 jsou v každé řadě navzájem propojeny propojovacími trubkami 10 a na začátku každé řady je do nich zaústěn přívod 8 závlahy z řady nad ní a na jejím konci odvod 9 závlahy do řady pod ní.

III. Schematický řez vakovou kapilární závlahou



Obr.1

Ing. VLADIMÍR BELFÍN
pátrová 305
253 01 Prostějovice