

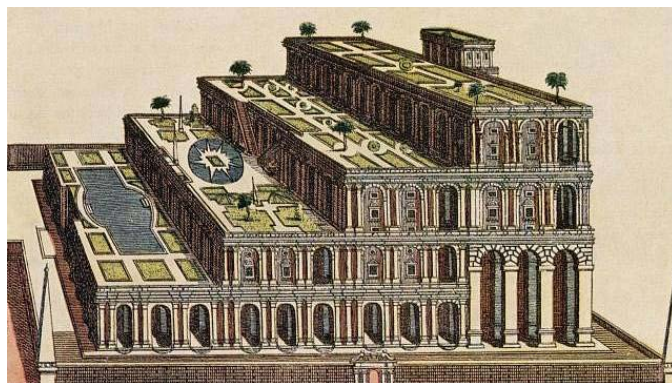
# AKTUÁLNY STAV PROBLEMATIKY VEGETAČNÝCH KONŠTRUKCIÍ

Ing. Marek Chabada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra pozemného staviteľstva a urbanizmu, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovenská republika

Klimatické zmeny a nedostatok prírodných zdrojov energie sú v súčasnosti témami, ktoré sú predmetom záujmu v mnohých krajinách [1]. Mestá na celom svete sa rozrastajú. Aby bolo možné vytvoriť obytný priestor pre budúcich obyvateľov, zelené plochy v meste sa znižujú a nahrádzajú budovami. Úbytok zelených plôch má negatívny vplyv na kvalitu života. Efekt mestského tepelného ostrova sa zosilňuje v dôsledku úbytku zelených plôch [2].

Ako sa ukazuje, zakomponovanie vegetačných častí do konštrukcií budov nie je vôbec nová téma. Začiatok tejto ideí siaha do dávnej minulosti. Prvé ľudské obydliá boli zhotovené práve zo surovín, ktoré boli ľahko získateľné a spracovateľné. Vegetačná vrstva, ale predovšetkým vrstva zeminy prevažne na streche sa pri budovaní ľudských sídiel objavuje už v staroveku [3], [4]. V škandinávskych krajinách, krajinách severnej Európy a Ameriky boli dôvodom využívania týchto vrstiev drsné klimatické podmienky, kedy vrstva zeminy a vegetácia chránila obydlie pred vonkajšími poveternostnými podmienkami. V severných krajinách chránila vegetačná vrstva pred nízkymi teplotami a v krajinách s teplým a suchým podnebí zas chránila pred horúcami a vytvárala vo vnútri stavieb príjemne prostredie [4]. Jedna z najznámejších stavieb, kde bola použitá konštrukcia s vegetáciou, sú Semiramidiny visuté záhrady v Babylone, ktoré boli postavené v 6. storočí pred našim letopočtom. Vegetačné strechy sa využívali aj v zikkuratoch, v starovekej Mezopotámii. Podobne ako Babylon, aj rímske a grécke architektúry využívali tieto systémy vo svojich obdobiach. Po mnohých storočiach zriedkavého využívania v európskych mestách opäť prinavrátil život vegetačným konštrukciám známy architekt Le Corbusier, ktorý považoval vegetáciu ako estetický prvok budovy. Približne v tom istom čase navrhli americkí architekti vegetačné strechy ako metódu integrácie budov a prírody [1], [3].



Obr. 153: Historické obydliá a konštrukcie s vegetačnou vrstvou [26]

Významné zakomponovanie vegetácie do konštrukcií budov poväčšine nasledovalo s významnými politickými alebo historickými udalosťami ako boli rôzne summity ohľadom ekológie a environmentálnych aspektov:

- Brutlandova správa (1987)
- Summit Zeme, Rio (1992)
- Svetový summit o trvalo udržateľnom rozvoji, Johannesburg (2002)
- Konferencia, Kodaň (2009)

Až vtedy sa začala aplikácia vegetácie do konštrukcií budov sledovať najmä z hľadiska benefitov na vonkajšie prostredie a budovu ako takú [5]. Jedným z hlavných svetových centier zelenej architektúry je Nemecko. Odhaduje sa, že v Nemecku sa každý rok zazelená približne 10 miliónov km<sup>2</sup> strešnej plochy, z čoho je približne 80% extenzívne strechy a 20% intenzívne strechy. Lídrom v oblasti vegetačných konštrukcií v Nemecku je mesto Hamburg. Hamburg bol prvým veľkým nemeckým mestom, ktoré zaviedlo komplexnú stratégiu zelených striech s cieľom zazeleniť najmenej 70% nových budov ale aj striech, ktoré potrebujú zrekonštruovať [6].

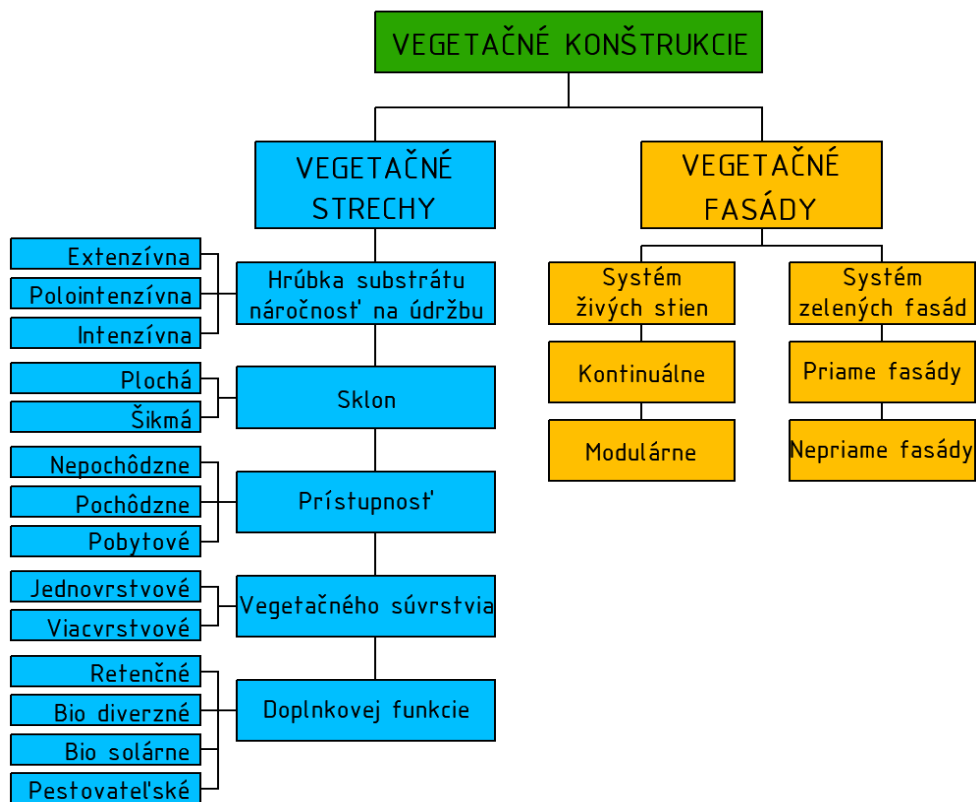
Vegetačné konštrukcie sú konštrukcie so zámerne vypestovanou vegetáciou, teda nie konštrukcie, kde sa vegetácia objavuje vplyvom zanedbanej údržby. Masívna výstavba budov najmä v centrách miest vytláča prírodnú zeleň, čo má za následok množstvo negatívnych vplyvov na človeka a mestskú klímu. Zakomponovanie vegetácie do konštrukčného riešenia budov sa ukazuje ako veľmi inovatívne riešenie na elimináciu absencie prírodnej zelene. Takýmto spôsobom sa môže „betónová džugla“ premeniť na „prírodne klimatizované“ miesto a priamy styk s prírodou [7].



Obr. 154: Možnosť aplikácie vegetácie do konštrukcií budov [27], [28]

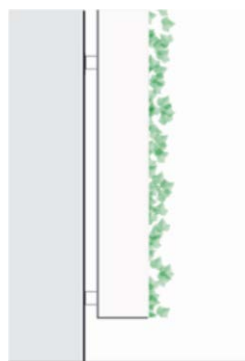
Na trhu existuje niekoľko systémov ozelenenia, najmä vo forme vegetačných striech a vegetačných fasád. Tieto konštrukcie sú čím ďalej viac používané aj v tých najväčších metropolách v Európe, ale aj severnej Amerike či Ázii. Dominantnými lídrami v oblasti využívania vegetačných konštrukcií sú najmä Nemecko, konkrétne mesto Hamburg, Švajčiarsko ale aj Singapore, Čína, či Japonsko. Systémy ozelenenia, ako sú vegetačné strechy a vegetačné steny, sa často používajú ako estetický prvok budov. Súčasná technológia zapojená do týchto systémov však môže maximalizovať funkčné prínosy rastlín pre výkon budov. Systémy ozelenenia môžu tvoriť aj súčasť udržateľnej stratégie, obnovy miest a modernizácie budov. V mestskom meradle zelené strechy a zelené steny prispievajú k začleneniu vegetácie do mestského kontextu bez toho, aby zaberali akýkoľvek priestor na úrovni ulice [8]. Tieto systémy podporujú vytváranie vhodných mestských oblastí, majú terapeutický účinok navodením psychologickéj pohody prostredníctvom prítomnosti vegetácie.

Vegetačné konštrukcie ako také sú istou formou doplnkovými vrstvami budovy. Musia mať vytvorený vhodný podklad, aby mohli ďalej prosperovať a prirodzene sa vyvíjať. Pri vegetačných fasádach ide najmä o druh podpornej konštrukcie. Základné delenie vegetačných fasád je: Systém živých stien a systém zelených fasád. Toto rozdelenie a ďalšie varianty môžeme vidieť na obrázkoch nižšie. V niektorých prípadoch vegetácia nepotrebuje žiadne doplnkové riešenie, a keď tak sú to formy lán alebo drôtov [9]. Rozdelenie vegetačných striech závisí od viacerých faktorov akými sú napríklad: konštrukčné riešenie, hrúbka pestovateľského média, spôsobu využívania vegetačnej strechy ale aj ďalších doplnkových funkcií. Pri vegetačných strechách, je skladba vegetačného súvrstvia pri viacerých druhoch striech totožná. Tvoria ju vrstvy ako: vegetačná vrstva, pestovateľské médium, hydroakumulačná vrstva, filtračná, drenážna a ochranná vrstva. Niektoré vrstvy môžu plniť viacero funkcií a niektoré vrstvy sa môžu v odôvodnených prípadoch vynechať [10]. Vhodný výber samotnej vegetácie potom závisí od mocnosti vegetačného substrátu, resp. rastového média.

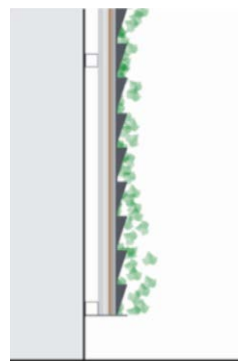


Obr. 155: Rozdelenie vegetačných konštrukcií

### Vegetačné fasády – Systém živých stien [9]

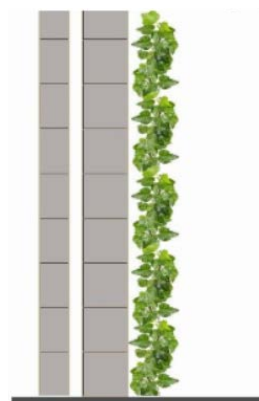


Modulárny systém



Kontinuálny systém

### Vegetačné fasády – Systém zelených fasád [9]

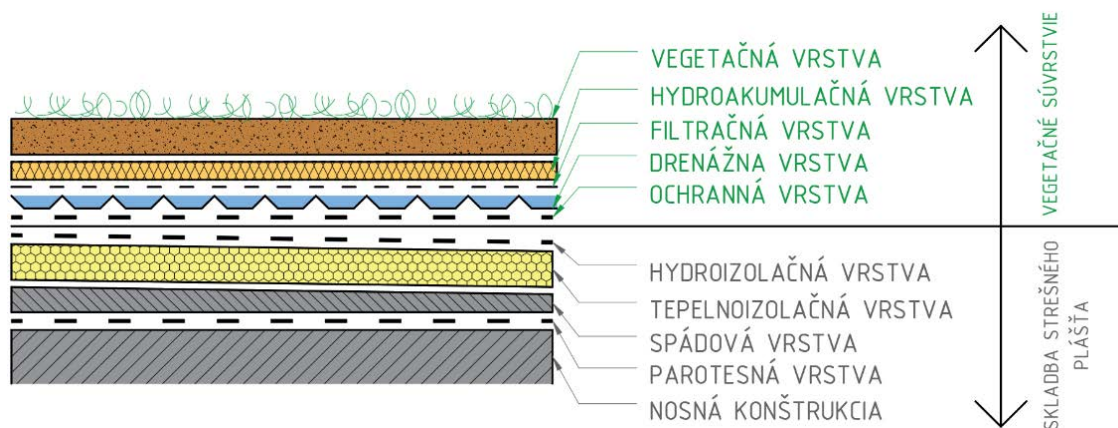


Priama fasáda



Nepriama fasáda

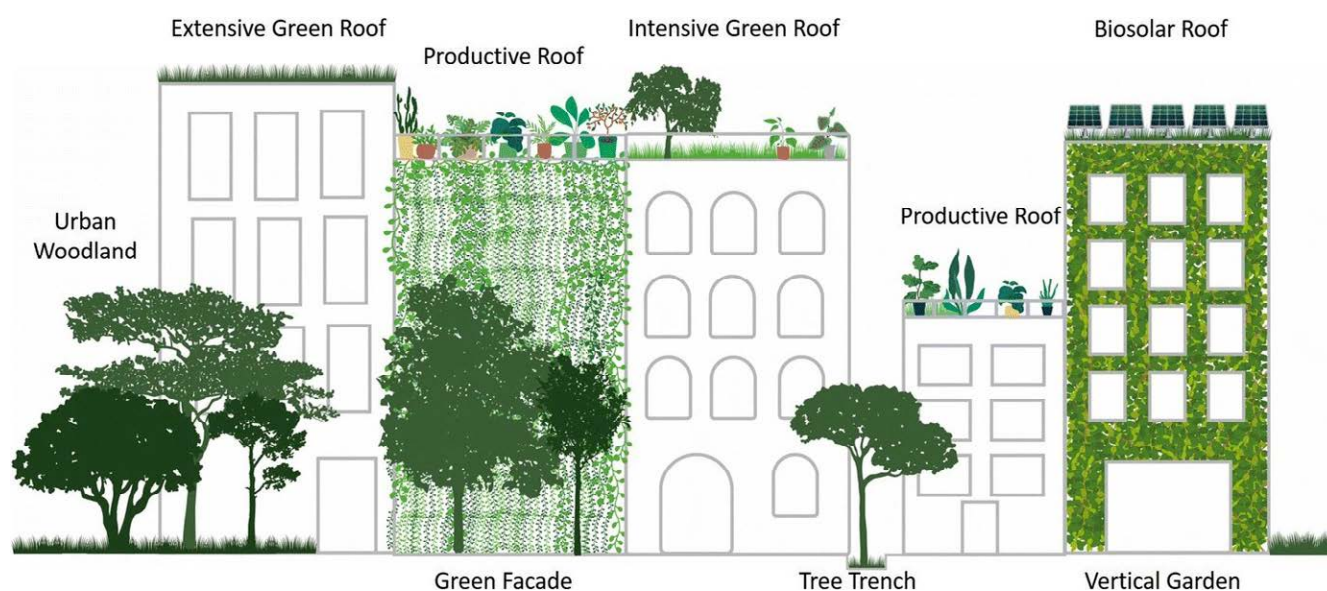




Obr. 156: Skladba vegetačného súvrstvia

Používajú sa rôzne formy aplikácie vegetácie do budov. Panuje silný súvzťah vegetačných fasád a vegetačných striech. Takýmto spôsobom ide o prinavrátenie prírodnej vegetácie do centier miest, kde je vplyvom masívnej zástavby tvrdo vytláčaná a to ma za následok množstvo negatívnych dopadov na ľudí ale aj životné prostredie.

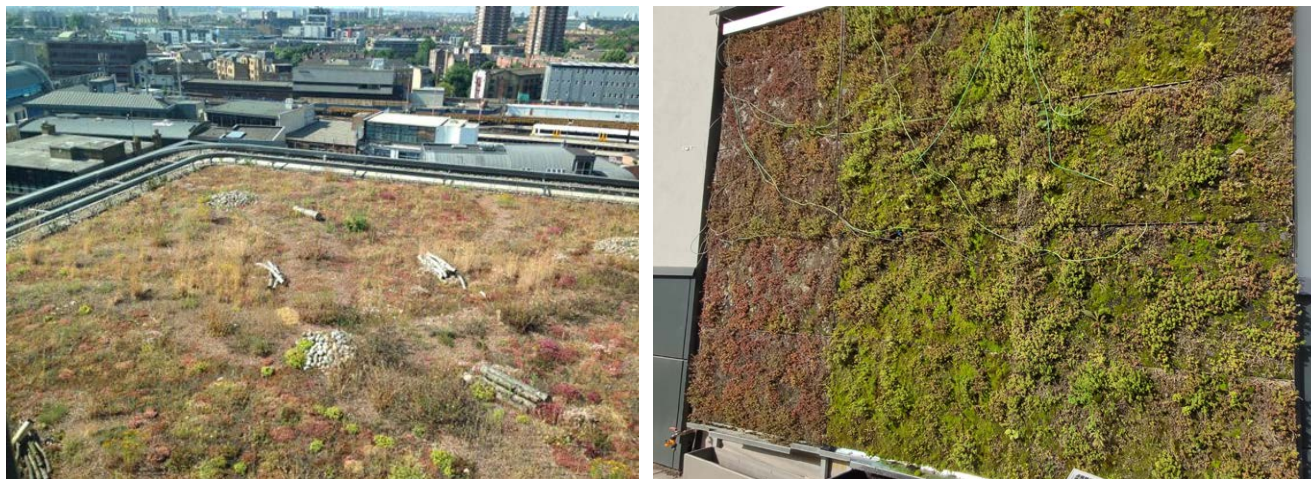
Pred samotným návrhom vegetačnej konštrukcie sa treba rozhodnúť, o aký typ konštrukcie by malo byť, čiže akú bude mať primárnu funkciu a na čo bude využívaná. Tomuto spôsobu treba prispôbiť celkovú konštrukciu a samotnú skladbu. Vegetačné strechy majú podstatne väčší rozsah využitia. Môže ísť buď o priestor na oddych a relaxáciu, najmä v centrách miest, na čo je vhodné použiť intenzívne strechy. Ďalej môže ísť o pestovanie zeleniny na takýchto strechách, využitie vegetačnej strechy v spojení s fotovoltikou kedy nám zlepšuje výkon fotovoltických panelov alebo môže ísť o zväčšenie priestoru pre prírodnú biodiverzitu [11]. To sa týka prinavrátenia živočíchov do miest ako je rôzny hmyz – včely, motýle. Tu treba zakomponovať najmä širokú škálu rôznych typov rastlín. Pri návrhu najmä takýchto typov striech, alebo pobytových striech či rôznych tvaroch vegetačných fasád je potrebná úzka spolupráca s botanikom či záhradkárom [12].



Obr. 157: Rozmanitosť vegetačných konštrukcií [29]

Pre správne fungovanie a najmä životnosť vegetačných konštrukcií je dôležitá správna realizácia, manipulácia a údržba. K riešeniu každej vegetačnej konštrukcii, či už steny alebo strechy, treba pristupovať individuálne. Treba zohľadniť viacero vstupných aspektov akými sú najmä: lokalita, funkcia, prístup, orientácia a v neposlednom rade myslieť na údržbu, ktorú bude potreba. Netreba zabúdať, že vegetácia je živý organizmus a potrebuje mať prísun živín na prežitie, správne fungovanie a rast.

Nevyhnutnou súčasťou vegetačných konštrukcií je zavlažovanie. Správny spôsob zavlažovania a najmä množstvo závisí od viacerých faktorov ako napríklad typ konštrukcie, hrúbka vegetačného substrátu, náročnosť použitých rastlín a v neposlednom rade umiestnenie – orientácia na SV strany. Vegetačné fasády musia byť zavlažované nakoľko nemajú také dostatočné hydroakumulačné schopnosti ako strechy – zvislá orientácia. Z vegetačných striech nemusia byť zavlažované extenzívne strechy [12]. Tento typ strechy však stráca svoje benefity najmä počas teplých letných dlhotrvajúcich dní. Nakoľko nie je zabezpečená prítomnosť vody, nie je možnosť výparu, čo by ochladzovalo okolie. Takáto nezavlažovaná vegetačná strecha sa prehrieva podobne ako klasické tmavé materiály.



Obr. 158: Vplyv zavlažovania na životaschopnosť prežitia vegetácie [30]

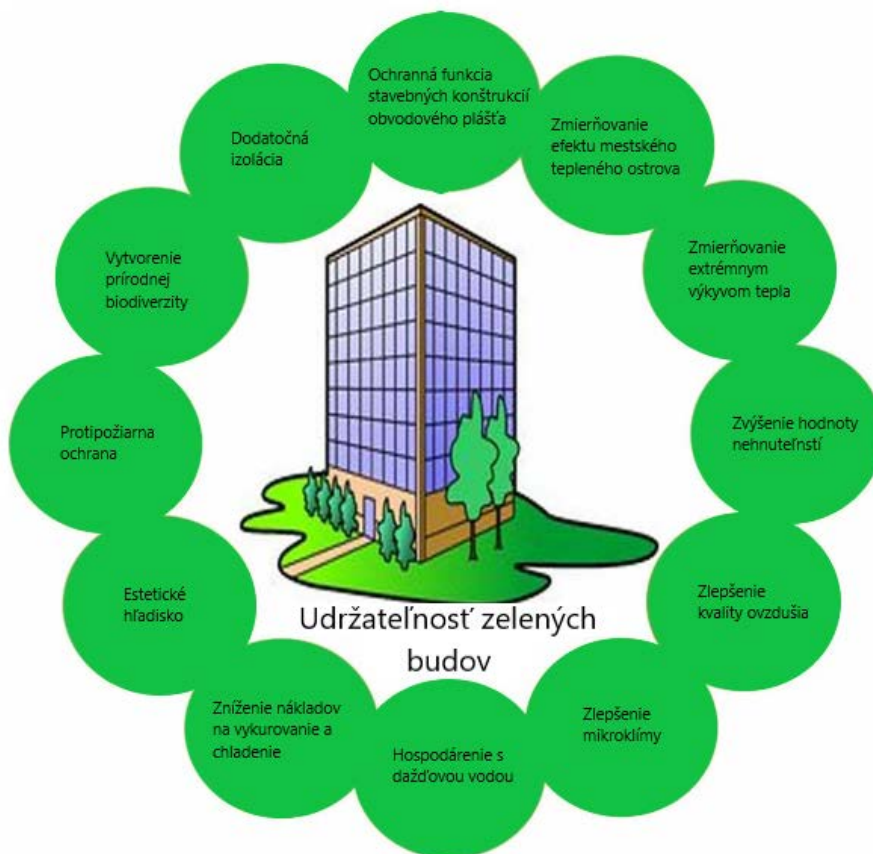
## Vplyv vegetačných konštrukcií na budovu a jej okolie

Najčastejšie benefity konštrukcií s vegetačnou vrstvou uvádzané v literatúre a odborných článkoch, sú úzko spojené s elimináciou prejavov masívnej mestskej zástavby realizovanej na úkor zmenšovania zelených plôch. Pokrývanie budov vegetáciou, ak sa uplatňuje vo významnej mestskej mierke, môže v skutočnosti zlepšiť mestské prostredie tým, že prispieva k mestskej biodiverzite [8], hospodáreniu s dažďovou vodou [13], kvalite ovzdušia [14], znižovaniu teploty a zmierňovaniu efektu tepelného ostrova [15], [16]. Uplatňovanie systémov zelene môže mať okrem environmentálnych aspektov aj sociálne a ekonomické prínosy [9]. Tieto systémy podporujú vytváranie vhodných mestských oblastí, majú terapeutický účinok navodením psychologickéh pohody prostredníctvom prítomnosti vegetácie. Zlepšujú imidž miest, zvyšujú hodnotu nehnuteľností a fungujú ako doplnková tepelná a akustická ochrana. Vegetácia má potenciál zlepšiť mikroklimu v zime, keď funguje ako doplnková izolačná vrstva, a v lete, keď poskytuje tieň a výparný chladiaci účinok. Vegetácia pohlcuje veľké množstvo slnečného žiarenia, zatiaľ čo účinok evapotranspirácie rastlín môže ďalej znížiť povrchové teploty v porovnaní s tvrdými povrchmi a zvýšiť relatívnu vlhkosť v jej okolí [17], [18].

**Výhody** vegetačných konštrukcií sa dajú v zásade zhrnúť do 4 základných skupín a to: **ochranný potenciál, skvalitnenie a zväčšenie pobytových priestorov v mestách, zníženie energetických nákladov a elimináciu prejavov mestskej zástavby** [4]. V týchto skupinách je zahrnutá celá rada benefitov, ktoré vegetačné konštrukcie ponúkajú. Spomínané výhody vegetačných konštrukcií vychádzajú z ich schopnosti reagovať na vonkajšie podnety v inej miere, ako tradičné, bežne používané „tvrdé“ materiály.

Absencia vegetácie a nadmerné používanie tmavých tvrdých materiálov s vyššou tepelnou kapacitou ako má vegetácia spôsobuje najmä v mestách, zvýšenie teploty vzduchu, čo je známe ako efekt mestského tepelného ostrova. Prejavuje sa zvýšením teploty, v priemere o 1–3 °C s maximálnymi rozdielmi až do 10 °C. Spôsobuje to absorpcia slnečného žiarenia počas dňa, akumulácia tepla a následné sálanie tepla vo večerných hodinách. Najvýraznejšie faktory, ktoré ovplyvňujú tento efekt sú albedo, index listovej plochy a evapotranspirácia [15].

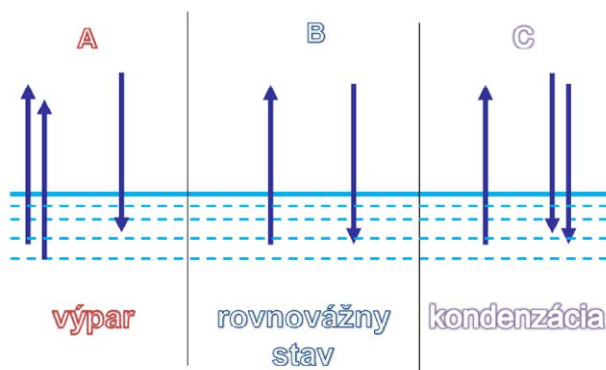




Obr. 159: Benefity vegetačných konštrukcií

## Evapotranspirácia

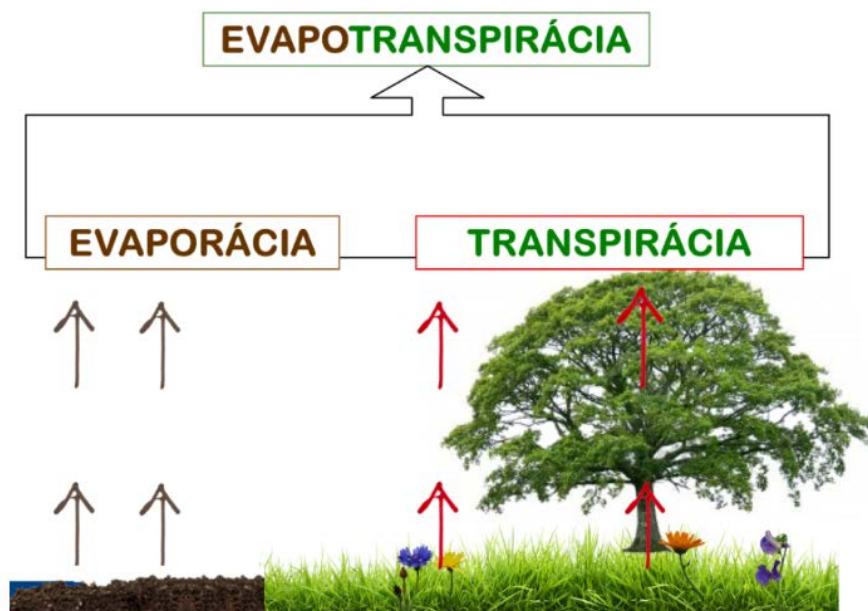
Evapotranspiračný efekt sa ukazuje ako veľmi účinný nástroj na zmierňovanie horúčav a znižovanie zvýšenej teploty v mestách. Experimentálne štúdie ukázali, že vegetačné konštrukcie zvyšujú pasívne chladenie. Pod pojmom evapotranspirácia sa rozumie výpar. Ide o fyzikálny proces transformácie kvapalného alebo plynného skupenstva vody do skupenstva plynného. Výpar je komplexným procesom, ktorý zahŕňa javy prenosu hmoty (vody) a prenosu tepla. Dochádza pri ňom k vyparovaniu vody a zároveň k spotrebe energie (tepla). Závisí od fyzikálnych a chemických vlastností povrchov, z ktorých výpar prebieha a rovnako od vlastností vzduchu, ktorý vodnú paru prijíma. Môžu nastať tri prípady transformácie: výpar, rovnovážny stav a kondenzácia [17].



Obr. 160: Fyzikálna podstata výparu [31]

Evapotranspirácia je celkový výpar z rastlín a pôdy, teda transpirácia rastlín spolu s výparom z pôdy a intercepčným výparom (výpar vody zadržanej vegetačnými povrchmi). Rozlišujeme evapotranspiráciu aktuálnu (ET) a potenciálnu (ET<sub>0</sub>). Evapotranspirácia je ovplyvňovaná

mnohými vnútornými (druh rastliny, anatomická stavba, zalistenie, vek a iné) a vonkajšími činiteľmi (počasie, vlhkosť pôdy, veľkosť vyparujúceho povrchu, atď.) [19]. Ak je zásoba vody dostatočná, je ovplyvňovaná predovšetkým vonkajšími činiteľmi a v období s deficitom vody, je limitovaná skôr vnútornými činiteľmi. Ku transpirácii 1l vody je potreba 0,69 kWh energie, pričom toto množstvo energie sa neprejavuje zvýšením teploty ale mení vodu na výpar, čím zvlhčuje a ochladzuje okolitý vzduch [11].



Obr. 161: Evapotranspirácia [31]

### Albedo

Hodnota albeda udáva pomer medzi intenzitou dopadajúceho slnečného žiarenia a intenzitou slnečného žiarenia odrazeného späť do atmosféry. Z toho vyplýva, že bledé povrchy majú vyššie albedo ako tmavšie povrchy, ktoré sa v čoraz väčšej frekvencii objavujú v mestách. Absorpcia slnečnej energie konštrukciami cez deň a následné uvoľňovanie tepla späť do ovzdušia vo večerných hodinách spôsobuje nárast teploty. Naopak čoraz väčšia plocha presklených častí najmä vysokých budov spôsobuje vzájomné odrážanie slnečnej energie a udržiavanie tepla medzi budovami [16]. Vegetačné plochy majú relatívne nízku hodnotu albeda, čo znamená, že väčšinu slnečného žiarenia absorbujú - pohltené slnečné žiarenie nie je spätne uvoľňované do prostredia ale je využité na tvorbu výparu vody a vlhkosti z vegetačných konštrukcií.

### Index listovej plochy – LAI

Index listovej plochy (LAI) sa ukazuje ako dominantný faktor tieniacej techniky obvodového plášťa. LAI je životne dôležitým faktorom na zabezpečenie úspory energie prostredníctvom evapotranspirácie a slnečného tienenia. Pomer pokrytia a hrúbka listov vedú k regulácii vnútorného tepelného komfortu v období chladenia [20]. Kľúčovú úlohu zohráva najmä pri priamych vegetačných fasádach, nakoľko v tomto systéme nie je použité žiadne pestovateľské médium ani podporná konštrukcia. Pokrytie listami v tomto prípade má rozhodujúci charakter obmedzenia prestupu množstva tepelnej energie do budovy. Viaceré experimentálne merania dokazujú, že vegetačné konštrukcie majú výrazne nižšie povrchové tepoty ako bežne používané materiály. V horúcich letných dňoch má priame slnečné žiarenie dominantný vplyv na zohriatie povrchu obvodového plášťa. Teplota na povrchu vo väčšine prípadov dokonca presahuje teplotu okolitého vzduchu. Čím vyššiu teplotu má povrch konštrukcie, tým viac tepelného toku prechádza do interiéru [21].

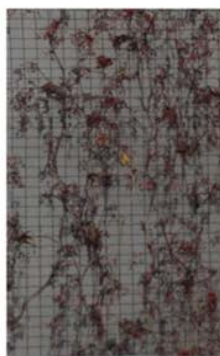
Začiatok leta



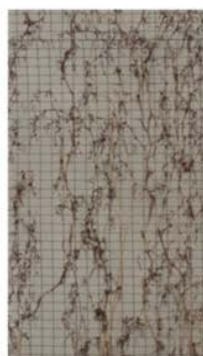
Priebeh leta



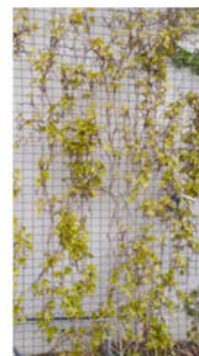
Jeseň



Zima



Jar



Obr. 162: Vplyv obdobia na LAI



Obr. 163: Snímok z infračervenej kamery [32]

Mnohé štúdie dokazujú výrazne zníženie prestupujúceho tepla do budovy v letných mesiacoch, najmä pri aktívnych zavlažovacích systémoch. Vďaka prítomnosti vody dochádza k evapotranspiračnému chladeniu, ktoré spotrebúva značnú časť slnečnej energie. V zime sa naopak ukazuje, že je vhodné prerušiť dodávku vody, aby ostala zemina resp. rastové médium nezvlhčované. Znižovanie prestupu tepla cez obalové konštrukcie nám šetrí energie na vykurovanie a chladenie, čím zlepšujú energetickú hospodárnosť budovy. Vegetačné konštrukcie ako také vytvárajú doplnkové vrstvy, ktoré majú jednak tepelnoizolačný charakter, ale i zvukovoizolačný charakter. Sú to konštrukcie, ktoré majú ochranný potenciál. Chránia nám konštrukciu obvodového plášťa pred priamymi nepriaznivými účinkami vonkajšieho prostredia. Pri fasádach to je najmä ochrana muriva pred vetrom hnaným dažďom a extrémnym kolísaním povrchových teplôt a pri streche nám to výrazným spôsobom ochraňuje hydroizolačnú vrstvu pred UV žiarením a rapidným teplotným výkyvom v priebehu dňa. V neposlednom rade ide o hospodárenie s dažďovou vodou. Ukazuje sa, že približne 10% ročného úhrnu zrážok padne počas privalových dažďov, ktoré sú spôsobené dlhotrvajúcim suchom počas letných mesiacov. Takýto nárazový prísun vody spôsobuje zahltenie kanalizačných sietí. Vegetačné konštrukcie majú hydroakumulačné vlastnosti a dokážu zadržiavať vysoké percento dopadajúcej vody. Množstvo vody samozrejme závisí od konkrétnej skladby a typu vegetačnej konštrukcie. Takisto však posúva časovú amplitúdu špičkového odtoku, čím dosiahneme odtečenie prebytočnej vody oneskorom termíne. Vegetačné konštrukcie nám vďaka vegetácii zlepšujú kvalitu ovzdušia. Rastliny pri fotosyntéze premieňajú oxid uhličitý na kyslík a rovnako zachytávajú prachové časti, najmä PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>10</sub>. Zlepšenie kvality ovzdušia však závisí najmä od druhu rastlín a indexu listovej plochy. Vegetačné konštrukcie sa radia do kategórie nehorľavé [20], [22]–[24].

Medzi hlavné nevýhody vegetačných konštrukcií patria najmä zvýšené investičné náklady a náklady spojené s údržbou, ďalej sa nám zvyšuje hmotnosť stavby a je potreba rátať so zvýšeným zaťažením. Pri výbere rastlín je veľmi dôležité brať ohľad na rôzne typy alergií spôsobené niektorými druhmi kvetov a rastlín [12].



## Výskum vegetačných konštrukcií

Pri analýze vplyvu vegetačných konštrukcií na budovu sa používajú tri základné typy získania informácií:

### Experimentálne meranie IN-SITU

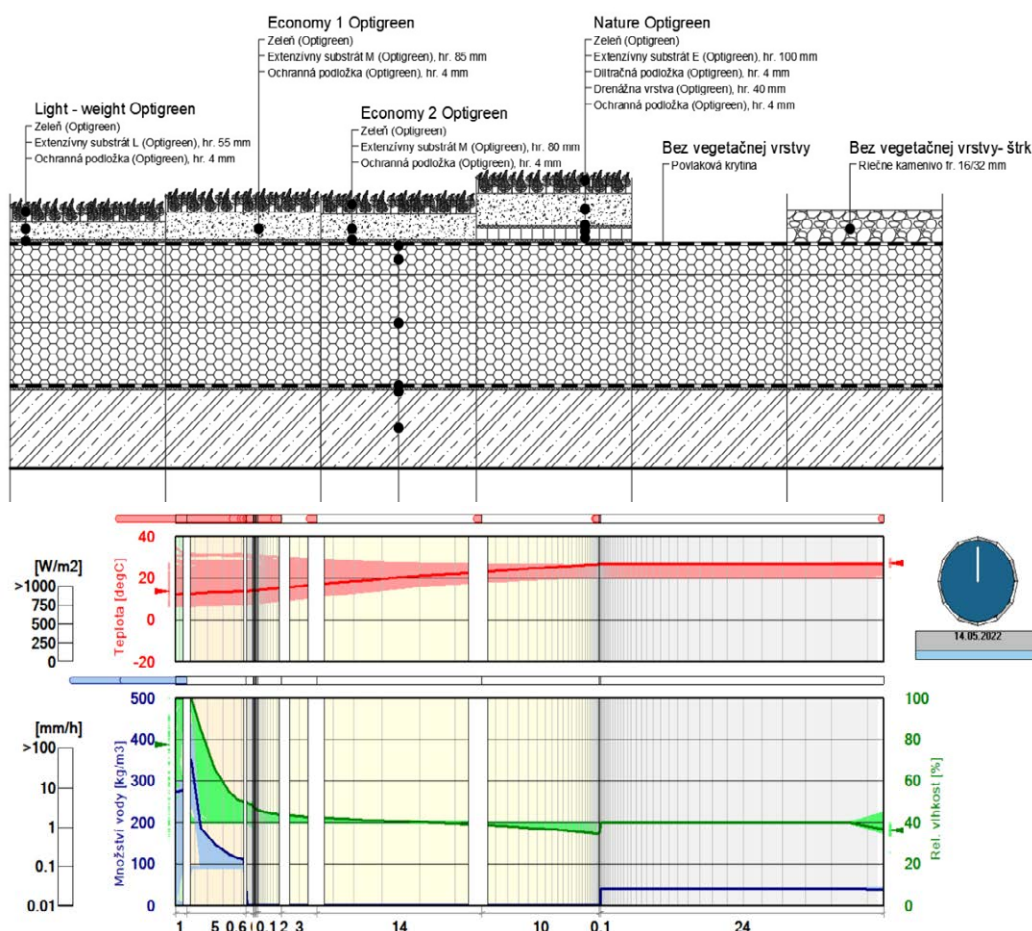
V tomto prípade sú vegetačné konštrukcie vystavené priamo poveternostným podmienkam danej lokality. In situ merania sa realizujú na experimentálnych domoch, čo predstavuje zmenšenú konštrukciu zodpovedajúcu reálnej budove, alebo výskum prebieha na reálne postavenej a využívannej budove. Tento spôsob umožňuje zapojenie väčšej plochy do experimentálneho merania a vykazuje tak relevantnejšie výsledky. Počas experimentov, či už laboratórnych alebo in situ, sú konštrukcie monitorované rôznou prístrojovou technikou, ktorá zachytáva odozvu konštrukcie na vyvolané vonkajšie a vnútorné podmienky. Meracia technika je umiestnená pred konštrukciou, na rozhraní jednotlivých vrstiev či v samotnej vrstve. Týmto spôsobom je možné pozorovať zmeny v správaní sa konštrukcie a určiť mieru efektívnosti vegetačných konštrukcií.

### Laboratórne meranie

Vo výskumných centrách sú realizované rozsiahle laboratórne experimenty so stavebnými konštrukciami pri stálych, kontrolovaných laboratórnych podmienkach. Pri testovaní v laboratórnych podmienkach hovoríme o laboratórnych experimentoch. Tieto experimenty umožňujú meranie tepelno-vlhkostnej odozvy vegetačnej konštrukcie v rôznych vrstvách.

### Výsledky zo simulačných modelov

Simuláciami dokážeme predpovedať správanie a určiť vplyv vegetačných konštrukcií na budovu ešte pred jej realizáciou. Na takúto simuláciu však musíme mať správne odladený simulačný model, ktorý si vyžaduje vhodnú validáciu. Je nutné poznať správanie sa vegetačnej konštrukcie na rôzne zmeny vonkajšieho prostredia. Vegetácia je systém živého organizmu a treba správne



Obr. 164: Simulácia fragmentu

predpovedať najmä transport vody a vlhkosti v skladbe konštrukcie. Kľúčovým parametrom sa stáva správne zadefinovanie nestacionárnych okrajových podmienok. Na toto môžeme použiť údaje z typického referenčného roka alebo typického meteorologického roka. Pre validáciu simulačného modelu je vhodné použiť klimatické údaje z reálne nameraných údajov a výsledky simulácie porovnávať s hodnotami získanými z meraní „in-situ“ alebo laboratórnym meraním, aby sme čo najpresnejšie zadefinovali a nasimulovali správanie sa vegetačnej konštrukcie. Takto odladený simulačný model môžeme následne používať v rôznych podmienkach so zmenou okrajových podmienok. Simulácie sa môžu realizovať v úrovni 1D, 2D alebo 3D. Takto sa môžu získať relevantné údaje buď z fragmentu, alebo z budovy ako celku.

Problematike vegetačných konštrukcií sa v dnešnej dobe venuje už množstvo renovovaných výskumníkov, vedeckých ústavov, laboratórií či vysokých škôl s cieľom bližšieho porozumenia správania sa vegetačných konštrukcií. Výskumy týkajúce sa týchto konštrukcií majú za cieľ najmä kvalifikovať a kvantifikovať jednotlivé vplyvy na budovu ako takú ale aj na vonkajšie prostredie. Z výskumov je dokázané, že dominantný vplyv na výsledky jednotlivých meraní má najmä lokalita skúmanej vzorky, a typ konštrukcie. Výsledkom je optimálny konštrukčný návrh technického a technologického zhotovenia s čo najväčšou mierou uplatnenia výhod [4].

## Smerovanie výskumu vegetačných konštrukcií na Katedre pozemného stavitel'stve a urbanizmu, Stavebnej fakulte, Žilinskej univerzity v Žiline

Katedra pozemného stavitel'stva a urbanizmu (KPSU), Stavebnej fakulty (SvF), Žilinskej univerzity v Žiline (UNIZA) sa už dlhší čas venuje pozorovaniu a skúmaniu konštrukciám s vegetačnou vrstvou ako sú experimentálne extenzívne vegetačné strechy a experimentálna vegetačná fasáda. Hlavným cieľom tohto výskumu je rozšírenie teoretických, technických a technologických aspektov navrhovania, realizácie a užívania vegetačných konštrukcií. Ďalej sa sústreďujeme na hodnotenie faktorov vplyvujúcich na vegetačné konštrukcie, výskum konkrétnych riešení vegetačných fasád a striech zameraných na:

- efektívnosť zavlažovacieho systému s dopadom na vonkajšie prostredie
- analýzu evaporačného chladenia vegetačných konštrukcií
- vplyv indexu listovej plochy a hodnoty albeda na priebeh teplôt v skladbách konštrukcií
- vplyv slnečného žiarenia na evapotranspiráciu vegetačných častí konštrukcií
- vtanovenie vodozáržnosti konkrétnych skladieb extenzívnych vegetačných striech.

Na základe vykonaných experimentov následne správne validujeme simulačné modely vegetačných konštrukcií.

Naša katedra sa aktívne venuje analýze extenzívnych striech rôznych skladieb od bežne dostupných komerčných spoločností od roku 2020, kedy prešla hlavná budova SvF UNIZA rekonštrukciou strešného plášťa. V tomto období boli do jednotlivých vrstiev strešného plášťa vložené snímače, na meranie teploty v konštrukcii. Následne sa postupne rozrastal počet skladieb vegetačných striech, kde sa analyzoval ich teplotný a vodný režim. Jednotlivé skladby konštrukcií sú



Obr. 165: Experimentálne vzorky extenzívnych vegetačných striech



Obr. 166: Experimentálna vzorka vegetačnej fasády

vyhotovené v dvoch identických variantoch, pričom v jednom sa skúma teplotný režim – priebeh teploty v jednotlivých vrstvách a v druhom variante sa skúma ich vodný režim – retencia dažďovej vody v skladbe [25].

V lete v roku 2021 sa výskum rozrástol o vzorku experimentálnej dvojplášťovej vegetačnej fasády, ktorá je súčasťou pavilónového laboratória KPSU SvF UNIZA. Vzorka vegetačnej fasády je zrealizovaná v troch segmentoch, pričom sa na jednotlivých segmentoch skúma efektívnosť a vplyv aktívneho zavlažovacieho systému. Vegetačná fasáda je zhotovená z inovatívnych recyklovaných dosiek spoločnosti MDM Stered s vopred predpestovanou vegetáciou. Pozoruje sa vplyv vegetačnej fasády na vybrané stavebno-fyzikálne veličiny v jej bezprostrednej blízkosti a porovnania týchto hodnôt s „klasickou“ vzorkou fasády – fasáda bez vegetačného krytu. Skúmajú sa a porovnávajú sa veličiny ako sú: teplota vzduchu, relatívna vlhkosť vzduchu, teplota na povrchu konštrukcie, retenčná schopnosť vzorky či nutná údržba vzorky. Táto vegetačná fasáda je prototypom svojho druhu a skúma sa vhodnosť použitého technologického riešenia. Samotná vzorka si prešla už dvomi zmenami technologického vyhotovenia.

Merané veličiny sa zaznamenávajú v minútových intervaloch. Nakoľko ide o rozsiahli štatistický súbor, výstupy budú prezentované v prehľadných grafov. Na priblíženie a spresnenie grafického znázornenia sa do hodnotenia vyberajú príznačné dni s najlepšou výpovednou hodnotou. Z takéhoto dlhodobého merania, sa vedia vyvodiť adekvátne závery ohľadom sezónnosti výsledkov. Údaje z vonkajšieho prostredia sú získane z meteostaníc, umiestnených v areáli UNIZA. Mobilná meteostanica je umiestnená nad experimentálnou vegetačnou stenou, zatiaľ čo pevná meteostanica sa nachádza na streche pavilónového laboratória. Meteostanice zaznamenávajú veličiny ak sú:

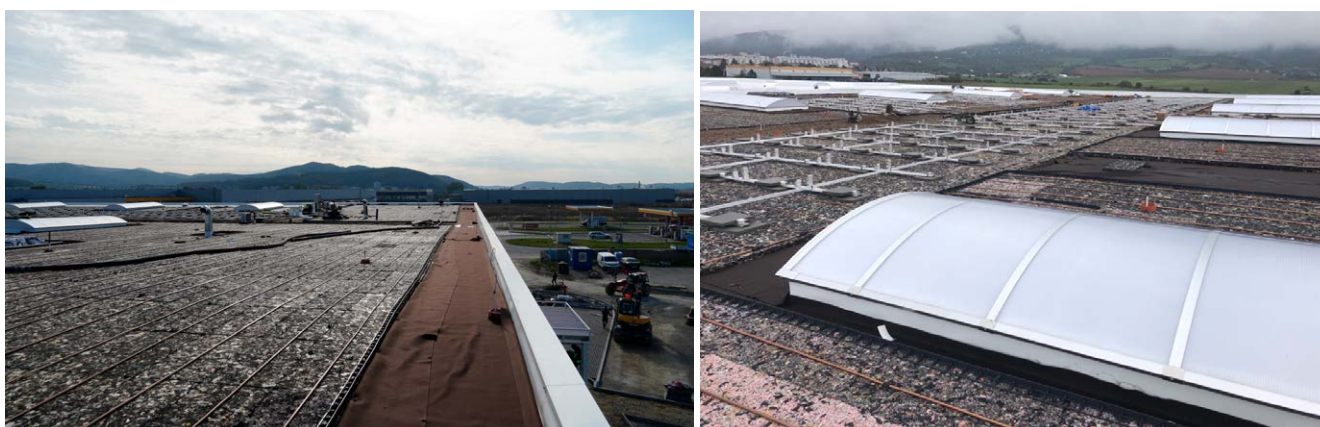
- intenzita globálneho slnečného žiarenia
- intenzita difúzneho slnečného žiarenia
- smer a rýchlosť vetra
- množstvo zrážok
- krátkovlnné a dlhovlnné žiarenie
- UV žiarenie
- teplota a relatívna vlhkosť vzduchu

Nedávno sme na KPSU SvF UNIZA rozbehli pilotný projekt, kde sa bude pozorovať a skúmať vplyv vegetačnej extenzívnej strechy na halovom objekte v Dubnici nad Váhom. Na vegetačnú strechu boli použité inovatívne dosky z recyklovaného materiálu so zeminou a odrezkami rastlín o celkovej ploche takmer 1600 m<sup>2</sup>. V substráte je umiestnená kvapková závlaha. Taktiež sa inovatívne dosky použili aj pod solárnymi panelmi, kde je však vynechaná vegetácia skrz nevhodnej lokality na pestovanie vegetácie – zatienenie a nadmerné teplo v priestoroch pod solárnymi panelmi. V týchto miestach je však takisto vedená kvapková závlaha a tak bude zabezpečený výpar v pod panelovom priestore. V skladbe sú umiestnené snímače na meranie teploty a relatívnej vlhkosti. Priamo na streche je umiestnená aj meteostanica pre relevantné klimatické údaje priamo z miesta merania. Tento projekt podporí a prehĺbi naše poznatky v správaní sa vegetačnej strechy na takomto väčšom priestore.





*Obr. 167: Meteostanice – vľavo pevne stojaca, vpravo mobilná*

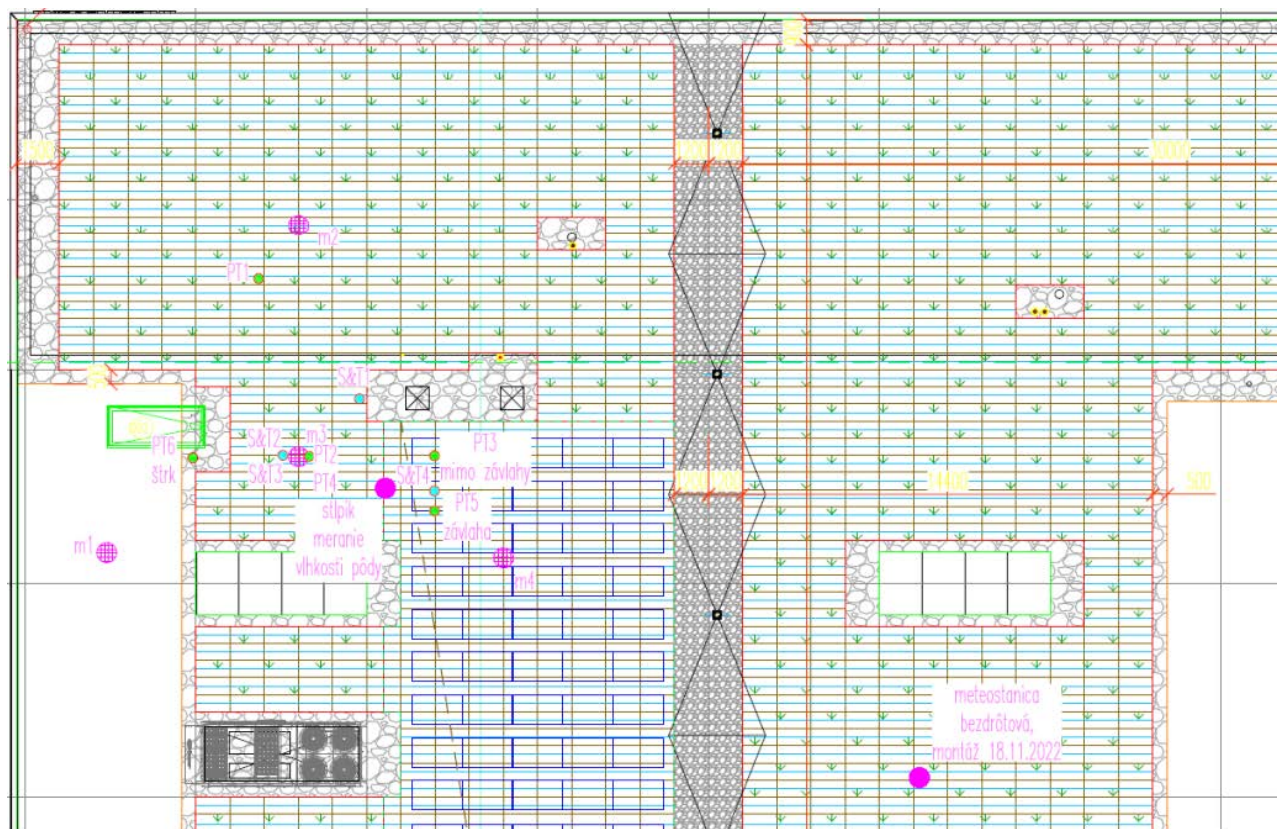


*Obr. 168: Pohľad na strechu s použitím inovatívnych dosiek s umiestnením kvapkovej závlahy (pred zásypom zeminou)*



*Obr. 169: Pohľad na strechu po zásype zeminou, umiestnenie meteostanice*





Obr. 170: schematické rozkreslenie strechy vyznačenej časti s aplikáciou vegetácie

## Použitá literatúra

- [1] CASCONI, S. 2019. Green roof design: State of the art on technology and materials. *Sustainability (Switzerland)*, 11(11), 3020. DOI: 10.3390/su11113020
- [2] TUDIWER, D.; VERTAL', M.; KORJENIC, A.; ČAKYOVÁ, K. 2019. Abbildung der wärmedämmenden Wirkung eines fassadengebundenen Begrünungssystems in einem Simulationmodell. *Bauphysik*, 41(3), 155–161. DOI: <https://doi.org/10.1002/bapi.201900009>
- [3] KÖHLER, M. 2008. Green facades—a view back and some visions. *Urban Ecosyst*, 11(4), 423–436. DOI: 10.1007/s11252-008-0063-x
- [4] ĎURICA, P.; JURÁŠ, P.; PONECHAL, R.; VERTAL', M. 2021. *Vybrané kapitoly zo stavebno-fyzikálneho konštruovania budov*. Žilina: EDIS-vydavateľské centrum Žilina.
- [5] PERINI, K.; OTTELÉ, M.; HAAS, E. M.; RAITERI, R. 2011. Greening the building envelope, facade greening and living wall systems. *Open. J Ecol*, 1(1), 1–8. DOI: 10.4236/oje.2011.11001
- [6] EL-ZOKLAH, M. H.; REFAAT, T. 2021. How to measure the green façades environmental effectiveness? A proposal to green façade systems technical guide,” *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 12(2), 154–169. DOI: 10.22712/susb.20210013
- [7] UFFELEN, C. 2016. *Green, Greener, Greenest*. Braun.
- [8] WONG, N. H. et al. 2010. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Build Environ*, 45(3), 663–672. DOI: 10.1016/J.BUILDENV.2009.08.005
- [9] PÉREZ, G.; COMA, J.; MARTORELL, I.; CABEZA, L. F. 2014. Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 139–165. DOI: 10.1016/J.RSER.2014.07.055
- [10] JURAS, P. 2022. Introduction to the Green Roof Research. In: *XXX Russian-Polish-Slovak Seminar Theoretical Foundation of Civil Engineering (RSP 2021)*, pp. 108–115.
- [11] DOSTALOVÁ, J. a kol. 2021. *Zelené strechy, souhra architektury s přírodou*. Praha: Grada Publishing.
- [12] ČERMÁKOVÁ, B.; MUŽÍKOVÁ, R. 2009. *Ozeleněné střechy*. Praha: Grada Publishing, a.s.
- [13] DE CUYPER, K.; DINNE, K.; VAN DE VEL, L. 2005. Rainwater discharge from green roofs. *Plumbing Systems and Design*, vol. Nov/Dec, 2005.

- [14] PAULL, N. J.; KRIX, D.; TORPY, F. R.; IRGA, P. J. 2020. Can green walls reduce outdoor ambient particulate matter, noise pollution and temperature? *Int J Environ Res Public Health*, 17(14), 5084. DOI: 10.3390/ijerph17145084
- [15] SANTAMOURIS, M. 2014. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682–703. DOI: 10.1016/J.SOLENER.2012.07.003
- [16] ALSAAD, H.; HARTMANN, M.; HILBEL, R.; VOELKER, C. 2022. The potential of facade greening in mitigating the effects of heatwaves in Central European cities. *Build Environ*, 216, 109021. DOI: 10.1016/J.BUILDENV.2022.109021
- [17] BAKHSHOODEH, R.; OCAMPO, C.; OLDHAM, C. 2022. Evapotranspiration rates and evapotranspirative cooling of green façades under different irrigation scenarios. *Energy Build*, 270, 112223. DOI: 10.1016/J.ENBUILD.2022.112223
- [18] BAKHSHOODEH, R.; OCAMPO, C.; OLDHAM, C. 2022. Exploring the evapotranspirative cooling effect of a green façade. *Sustain Cities Soc*, 81, 103822. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103822>
- [19] BIOCLIO. BioClio [online]. Dostupné na: <https://bioclio.com/vypar/>
- [20] BAKHSHOODEH, R.; OCAMPO, C.; OLDHAM, C. 2022. Thermal performance of green façades: Review and analysis of published data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 155, 111744. DOI: 10.1016/J.RSER.2021.111744
- [21] PÉREZ, G.; COMA, J.; CHÀFER, M.; CABEZA, L. F. 2022. Seasonal influence of leaf area index (LAI) on the energy performance of a green facade. *Build Environ*, 207(B), 108497. DOI: 10.1016/J.BUILDENV.2021.108497
- [22] HADBA, L.; SILVA L.; MENDONÇA, P. 2017. *Green Walls an Efficient Solution for Hygrothermal, Noise and Air Pollution Control in the Buildings*.
- [23] BEVILACQUA, P. 2021. The effectiveness of green roofs in reducing building energy consumptions across different climates. A summary of literature results. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111523. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111523>
- [24] BESIR, A. B.; CUCE, E. 2018. Green roofs and facades: A comprehensive review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 915–939. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.106>
- [25] JURÁŠ, P. 2022. Vplyv extenzívnej vegetačnej strechy na tepelnoizolačné vlastnosti plochej strechy. *Tepelná ochrana budov 2021*, pp. 132–138.
- [26] Semiramidine visuté záhrady. 2018. *Wikimedia* [online]. Londýn: wikimedia. Dostupné na: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File: Babylon;\\_the\\_city\\_\(above\);\\_the\\_hanging\\_gardens\\_of\\_Babylon\\_Wellcome\\_L0047679.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File: Babylon;_the_city_(above);_the_hanging_gardens_of_Babylon_Wellcome_L0047679.jpg) [cit. 2023-03-06].
- [27] Možnosť aplikácie vegetácie do konštrukcií budov. 2015. *Wikimedia* [online]. English: wikimedia. Dostupné na: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Midtown\\_Manhattan\\_and\\_Times\\_Square\\_district\\_2015.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Midtown_Manhattan_and_Times_Square_district_2015.jpg) [cit. 2023-03-06].
- [28] Možnosť aplikácie vegetácie do konštrukcií budov. 2018. *Createdigital* [online]. Australia: createdigital. Dostupné na: <https://createdigital.org.au/china-city-home-trees-people/> [cit. 2023-03-06].
- [29] Rozmanitosť vegetačných konštrukcií. 2021. *Greenroofs* [online]. Switzerland: greenroofs. Dostupné na: <https://www.greenroofs.com/2021/04/05/green-roofs-towards-circular-and-resilient-cities/> [cit. 2023-03-06].
- [30] Vplyv zavlažovania na životaschopnosť prežitia vegetácie. 2020. *Zelenestrechy* [online]. Brno: zelenestrechy. Dostupné na: <https://www.zelenestrechy.info/odborne-clanky> [cit. 2023-03-06].
- [31] Fyzikálna podstata výparu. 2016. *Bioclio* [online]. Slovensko: bioclio. Dostupné na: <https://bioclio.com/vypar/> [cit. 2023-03-06].
- [32] Snímok z infračervenej kamery. 2020. *Homebydleni* [online]. Česko: homebydleni. Dostupné na: <https://homebydleni.cz/dum/stavebni-materialy/vegetacni-strechu-ocenite-nejen-v-lete/> [cit. 2023-03-06].

## Kontakty

Ing. Marek Chabada: [marek.chabada@uniza.sk](mailto:marek.chabada@uniza.sk)