



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

PŘIDANÁ HODNOTA ZELENÝCH STŘECH

ADDED VALUE OF GREEN ROOFS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. VOJTĚCH HRACHOVINA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ PETŘÍČEK, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	N3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3608T001 Pozemní stavby
PRACOVISŤE	Ústav pozemního stavitelství

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. Vojtěch Hrachovina
NÁZEV	Přidaná hodnota zelených střech
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	Ing. Tomáš Petříček, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

.....
prof. Ing. Miloslav Novotný, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

(1) Směrnice děkana č. 19/2011 s dodatkem a přílohami; (2) Katalogy a odborná literatura; (3) Stavební zákon č. 183/2006 Sb. ve znění zákona č. 350/2012 Sb.; (4) Vyhláška č. 499/2006 Sb. ve znění vyhlášky č. 62/2013 Sb.; (5) Vyhláška č. 268/2009 Sb.; (6) Vyhláška č. 398/2009 Sb.; (7) Platné normy ČSN, EN; (8) Vlastní dispoziční a architektonický návrh.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Zadání VŠKP: Teoretická diplomová práce zaměřená na problematiku zelených střech a jejich přínosu zejména v zastavěných oblastech.

Cíl práce: Konkrétní cíle diplomové práce budou stanoveny na základě semestrální práce z předmětu CH08 Diplomový seminář I a upřesněny vedoucím práce na základě odborné rozpravy v průběhu řešení teoretické části práce.

Zásady zpracování teoretické diplomové práce:

- textové a výpočtové přílohy budou napsány výpočetní technikou;
- výkresy budou zpracovány na bílém papíře s využitím výpočetní techniky, opatřeny jednotným popisovým polem a k obhajobě budou předloženy jako příloha textové části;
- desky budou z tvrdého papíru potažené černým plátnem se zlatým písmem;
- rozsah textové části cca 60 až 80 normostran A4 + přílohy.

Požadované výstupy:

Textová část VŠKP bude mimo jiné obsahovat: titulní list, zadání VŠKP, doklady od vedoucího diplomové práce, abstrakt v českém a anglickém jazyce, klíčová slova v českém a anglickém jazyce, bibliografická citace VŠKP, prohlášení autora o původnosti práce, podpis autora, obsah, úvod, vlastní text práce: současný stav řešené problematiky, cíle diplomové práce, zvolené metody zpracování, výsledky diplomové práce s uvedením zjištěných poznatků, seznam použitých zdrojů, seznam použitých zkratk a symbolů, seznam příloh.

Požadované výstupy dle uvedené Směrnice:

Textová část VŠKP bude obsahovat kromě ostatních položek také položku h) Úvod (popis námětu na zadání VŠKP), položku i) Vlastní text práce a položku j) Závěr (zhodnocení obsahu VŠKP, soulad se zadáním, změny oproti původní studii).

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....
Ing. Tomáš Petříček, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá analýzou zelené střechy coby části konstrukce stavby, kdy shrnuje zásady správného návrhu jednotlivých vrstev střechy. Plynule navazuje hlavní část práce, která zkoumá zelené střechy ve vztahu k širšímu celku, kdy ve srovnání s klasickým typem zastřešení existují určité přednosti u zelených střezech. Tyto přidané hodnoty zelené střechy jsou sledovány v kategoriích: trvale udržitelná výstavba, mikroklima budov, venkovní klima, retence srážkových vod. Závěr práce se věnuje psychologickému efektu zelených střezech, téma doprovází dotazník zkoumající vztah veřejnosti ČR k zeleným střechem.

KLÍČOVÁ SLOVA

zelené střechy, návrh zelených střezech, přidaná hodnota zelených střezech, životní cyklus objektu, evapotranspirace, mikroklima, venkovní klima, městský tepelný ostrov, retence srážkových vod, psychologický efekt, vztah veřejnosti ČR

ABSTRACT

Introduction is focused on analyze green roof like a part of buiding construction, when thesis assembly principles of right proposal green roof layers. Main part describes characteristic properties green roofs at global impact. We get some added values after comparison with classic roof types. Master thesis consists of survey of added values of green roofs in these categories: life cycle assessment, microclima, outdoor climate, water retention. End of thesis devote to psychological effect of green roofs include questionnaire about relationship between czech society and green roofs.

KEYWORDS

green roofs, proposal of green roofs, added value of green roofs, life cycle assessment, evapotranspiration, microclima, outdoor climate, urban heat island, water retention, psychological effect, czech society questionnaire

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Vojtěch Hrachovina *Přidaná hodnota zelených střech*. Brno, 2016. 105 s.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav
pozemního stavitelství. Vedoucí práce Ing. Tomáš Petříček, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 17. 12. 2016

Bc. Vojtěch Hrachovina
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 17. 12. 2016

Bc. Vojtěch Hrachovina
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. Tomáši Petříčkovi PhD. za užitečné rady, vhledy a odborné vedení práce. Děkuji Ing. Antonínu Žákovi PhD. za inspiraci, která vedla k volbě téma diplomové práce. Děkuji své rodině a přítelkyni Pavlínce za podporu a trpělivost po dobu mého studia.

PŘIDANÁ HODNOTA ZELENÝCH STŘECH

Obsah

1	Úvod	11
2	Historie vegetačních střech.....	12
3	Současnost	15
4	Konstrukce zelených střech.....	16
4.1	Popis jednotlivých vrstev	18
4.1.1	Nosná konstrukce	18
4.1.2	Parozábrana	19
4.1.3	Tepelně izolační vrstva.....	20
4.1.4	Hydroizolační vrstva	21
4.1.5	Ochranná vrstva.....	23
4.1.6	Drenážní vrstva, hydroakumulační vrstva.....	23
4.1.7	Filtrační vrstva.....	24
4.2	Substrát.....	24
4.2.1	Fyzikální a hydrofyzikální parametry	24
4.2.2	Chemické parametry.....	25
4.2.3	Výskyt plevele.....	26
4.2.4	Materiály pro substrát.....	26
4.3	Vegetace.....	27
4.3.1	Zeleň na extenzivní střeše	28
4.3.2	Zeleň na intenzivní střeše	28
4.3.3	Založení vegetační vrstvy.....	29
4.4	Odvodňovací prvky.....	31
5	Údržba vegetačních střech.....	33
5.1	Údržba extenzivní střechy.....	33
5.2	Údržba lehké intenzivní střechy.....	34
5.3	Údržba náročné intenzivní střechy.....	34
5.4	Hnojení.....	34
5.5	Zavlažování	35

5.5.1	Potřeba vody.....	35
5.5.2	Zdroj závlahové vody.....	37
5.5.3	Systemy zavlažování na vegetačních střeších.....	38
6	Přidaná hodnota zelených střech.....	39
6.1	Trvale udržitelná výstavba.....	39
6.1.1	Posouzení životního cyklu vegetačních střech.....	40
6.1.2	Princip vyšší životnosti zelených střech.....	41
6.1.3	Studie životního cyklu zelených střech.....	41
6.1.4	Návratnost emisí svázaných s produkcí PE a LDPE.....	41
6.2	Technika prostředí.....	53
6.2.1	Mikroklima budov.....	53
6.2.2	Venkovní klima.....	73
6.3	Retence.....	80
6.4	Zvukově izolační funkce.....	82
6.5	Estetika a psychologický účinek na člověka.....	83
7	Názor veřejnosti ČR.....	85
7.1	Zadání formuláře.....	85
7.2	Identifikace respondentů.....	86
7.3	Vyhodnocení odpovědí.....	87
8	Závěr.....	90
8.1	Poznatky.....	90
8.2	Vize.....	92
8.2.1	Světové projekty budoucnosti.....	94
9	Zdroje.....	96
10	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	100

1 ÚVOD

Diplomová práce na téma Přidaná hodnota zelených střech se zabývá znovuzrozením vegetačních střech a jejich přínosem pro prostředí staveb, kde pak zkoumá ve srovnání s klasickými plochými střechami jejich přidanou hodnotu.

Tradiční materiály a technologie v konstrukcích vegetačních střech přestaly v průběhu let postačovat požadavkům na stavby a v důsledku toho vegetační střechy zůstávaly opomenuty. Hlavním důvodem byla velká tíha všech vrstev, která kladla zvýšené požadavky na nosný systém (místo netkaných textilií a nopových fólií se používaly těžší násypy) což se promítalo ve vyšší ekonomické náročnosti. Dále pak nižší kvalita či zdravotní nezávadnost materiálů (dehet – utěsnění).

Dynamika vývoje materiálového inženýrství nabrala v posledních dekadách na síle a vyvinula moderní materiály, které jsou lehčí a spolehlivější. Konkrétněji důmyslnější provedení hydroizolace střechy ze souvrství asfaltových modifikovaných pásů nebo střešních fólií, ochranné vrstvy a filtrační vrstvy z netkaných textilií, drenážní rohože a desky a nové typy substrátů. Dobré zkušenosti s aplikací těchto materiálů odstartovaly realizace vegetačních střech ve větší míře, protože jak víme spolehlivost funkcí zelené střechy a její trvanlivost determinuje kvalita návrhu zahrnující použití kvalitních materiálů se správnou technologií provedení. Stále je však dobré mít na paměti, že případné poruchy vrstev zelené střechy způsobí neplánovanou ekonomickou zátěž spojenou s odstraňováním již vzrostlé vegetace a veškerého substrátu pryč ze střechy, čemuž je nutné se vyvarovat. Zkrátka veškeré opravy jsou nepřijatelné. Protiváhou tomu je ochranná funkce substrátu, která zvyšuje životnost vrstev ležících pod substrátem.

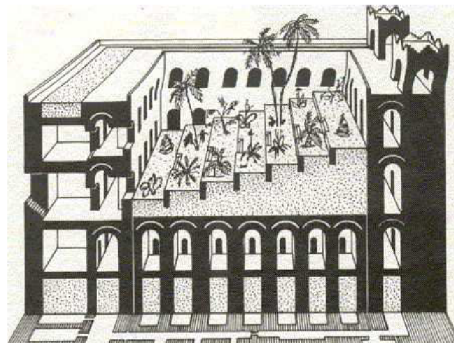
Vzestup vegetačních střech je dán jak z důvodu dostupnosti kvalitních materiálů, ale i z pohledu množství studií, které v mnoha ohledech prokazují přínos zelených střech pro kvalitu života obyvatel v porovnání s klasickými střechami.

Obsahem diplomové práce je obeznámení s historií a současností používání zelených střech, následně vysvětlení typů konstrukcí vegetačních střech a princip fungování a návrhu jednotlivých vrstev. Hlavním bodem je pak rozbor a posouzení pravdivosti nejnovějších dostupných studií o vegetačních střechách, které ve většině prokazují výhodné vlastnosti vegetačních střech v oblastech trvale udržitelné výstavby,

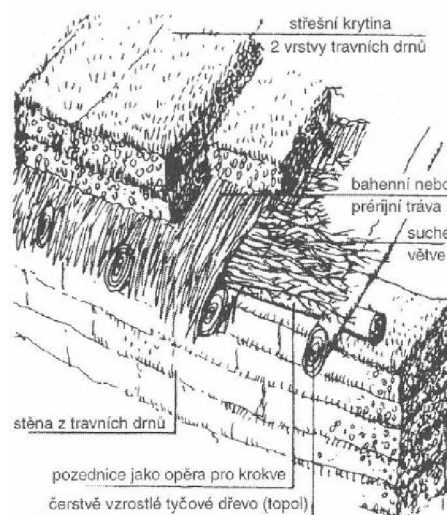
tepelné techniky, odstraňování efektu urban heat island, pohlcování znečišťujících látek, psychologického dopadu na člověka, dopadů na biodiverzitu a retenci srážkových vod.

2 HISTORIE VEGETAČNÍCH STŘECH

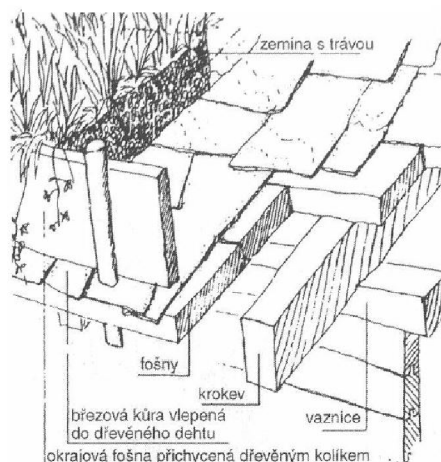
Jak je známo, historii píší vítězové nebo není zaznamenána a stejně je to i s objevováním a vynálezy, a tak je dle mého názoru obtížné přesně odhadovat stáří a původ vegetačních střech ve starších dobách. Jednoduše se můžeme shodnout na tom, že vegetační střechy se vyskytují a vyskytovaly jak v chladných tak v teplejších místech na naší planetě. Možná si kladete otázku, proč mají vegetační střechy potenciál jak v zimě, tak v létě? Odůvodnění je jednoduché: vegetační vrstva substrátu nám v létě chladí (brání přehřívání objektu) a v zimě brání ztrátám tepla (tvoří tepelně izolační vrstvu). Dlouholetou tradici mají zelené střechy jak na chladném Islandu nebo Skandinávii tak i v Africké Tanzanii. Když budeme věřit dochovaným zmínkám o vegetačních střechách pak se dozvíme, že zaznamenaná historie použití vegetační střechy sahá do roku 600 př.n.l. V dobách, kdy na světě vznikaly první civilizace, byly v Mezopotámii postaveny Visuté zahrady Semiramidiny (Obr. 1). Zmiňovaná stavba tehdy patřila k sedmi divům světa. Jednalo se o palác s předsazenými zahradami (zelenými střechami) v tehdejší době zavlažovanými vodou z řeky Eufrat. Vegetační střechy našly své uplatnění i ve Starém Římě, kde plnily estetickou funkci na patricijských sídlech. [1][2][3]



Obr. 1 Visuté zahrady Semiramidiny [3]



Obr. 2 Sod house – drnový dům [1]



Obr. 3 Skandinávský dům [1]

Ve středověku, konkrétně ve vikingské době, se začala používat technologie „SOD HOUSE“. Sod je z angličtiny drn (Obr. 2). Travní drny se používaly jak v nosných stěnách, tak ve střeše. V Norsku během této doby pokrývala většinu domů drnová střecha. Za „výhodu“ tohoto typu zastřešení se dala považovat velká hmotnost střechy, která přispívala k větší stabilitě objektu a výška substrátu zajišťovala kvalitní tepelnou izolaci. V minulosti tento typ domu převládal i na Islandu a kolem roku 1900 se k používání této technologie pro své obydlí uchýlili imigranti v Severní Americe, kteří se takto vypořádali s nedostatkem dřeva. Z technologie drnového domu pak vycházela konstrukce střechy Skandinávského domu (Obr. 3). Při návrhu a realizaci výše zmiňované střechy je nutné důsledně odseparovat vegetační vrstvu od bednění, nejlépe vytvořením vodotěsné vrstvy odolné proti prorůstání kořínků. Za tímto účelem se používala vrstva březové kůry lepená do dřevěného dehtu. Při pozdějších studiích se prokázalo, že dřevěný dehet může mít rakovinotvorný vliv a jeho používání se nedoporučovalo. [1][4]



Obr. 4 Nejstarší vegetační střecha v ČR
Zdroj: www.info.mesto-lipnik.cz

Přelomovým bodem v historii vegetačních střech se stal v roce 1867 vynález železobetonu, který tím, že umožňoval stavět konstrukce s vyšší únosností, měl za následek velký pokrok ve stavebnictví a tím také rozvoj moderních zelených střech. [3]

Na českém území se zřízení první zelené střechy datuje do roku 1863 (Obr. 4), toho času vznikala střešní zahrada nad objektem koňských stájí na zámku v Lipníku nad Bečvou. Stavitelem byl Josef Žák ve spolupráci se zahradníkem Ferdinandem Weltzlem. Svého času se jednalo o první vegetační střechu v zemích severně od Alp. [7]

Ve 20. století pak přišla éra architektů, která začala zavádět zelené střechy do urbanistické koncepce měst.



Obr. 5 Zelená střecha na Rockefeller Center v NYC

Zdroj: www.inhabitat.com

Z nejvýznamnějších

propagátorů můžeme jmenovat původem švýcarského architekta Le Corbusiera. Tato osobnost je silně spjata s počátkem moderní architektury funkcionalismu. Svou vizi a chápání moderní architektury shrnul do proslulých pěti bodů moderní architektury (1927). Druhým bodem je použití vegetačních střech, které mají za úkol nahradit na pozemku domem zastavěnou zeleň. [5] Od Počátku 20. století se začaly zelené střechy používat na širokém spektru staveb. Například první moderní americkou vegetační střechou je střecha na mrakodrapu Rockefeller centre v New York City vystavěná mezi lety 1933 až 1936 (Obr. 5). Naopak Velká Británie používala v druhé světové válce zelené střechy za účelem kamufláže jejich hangárů. [4]

V druhé polovině 20. století se v Německu objevil koncept „střech z dřevěného cementu“, kde hydroizolaci tvořil dehet (vedlejší produkt při výrobě uhlí) aplikovaný mezi vrstvy papíru. Na hydroizolaci se pak provedla vrstva šterkopísku a jílovité hlíny, která sloužila jako protipožární ochrana. Vegetace byla řešena náletovou zelení. V 70. letech se rozvíjely technologie na vodotěsnost a vznikala nová řešení závlah vegetačních střech. V roce 1989 pak Německo dosáhlo 100 ha vegetačních střech [15].

Dalším evolučním krokem pak byla v 80. letech nově vzniklá extenzivní střecha, která se stala populární díky své nižší hmotnosti a ceně. [6][12]

3 SOUČASNOST

Vegetační střechy velmi pomáhají velkým světovým metropolím, které trpí v důsledku velké dopravní zátěže, geometrie a materiálů povrchu v letních měsících přehříváním center (New York City, Boston, Chicago, Toronto, Vancouver, městský stát Singapur, ad.).

V New York City jsou zelené střechy velmi rozšířené. Jejich použití zvyhodňuje sleva na daních pro majitele ozeleněných objektů (min. pokrytí zelenou střechou je 50%). Úleva na dani se udává na 48USD/m² zelené střechy, maximálně může činit 100 000USD. Velkým přínosem je pak i



Obr. 5: Highline NYC [14]

izolační vlastnost vegetační střechy, která ročně přináší úspory energií zejména při chlazení objektů.

Mimo ozelenění střech se v NYC v letech 2009 až 2011 použilo ozelenění také pro revitalizaci staré nadzemní dráhy (Highline, západní část Manhattanu, délka 2,3 km), na které je dnes vysázena parková



Obr. 6: Ozelenění staré nadzemní dráhy - Highline NYC [14]

zeleň a slouží jako komunikace pro pěší. Ze zapomenutého brownfieldu se tak stala nová ozeleněná promenáda, která mezi Newyorčany nachází velkou oblibu. (Obr. 5, Obr. 6) [14]

V mnoha městech je použití vegetační střechy zakotveno v legislativě např. Toronto. Požadavek města Toronto platí pro všechny industriální, státní, komerční a rezidenční budovy s plochou větší než 2000 m². Stanovuje povinné % pokrytí půdorysné plochy vegetační střechou. Pro nejmenší plochy 2000 až 4999 m² nařizuje 20 %, škála končí 60 % pro objekty s plochou nad 20000 m². [19]

V německém Darmstadt vlastníci zelené střechy obdrží dotaci 5000 €. Dánské hlavní město Kodaň nařizuje ozelenění všech nových střech se sklonem < 30 °. [37]

V době expanze rozlehlých nízkopodlažních hal se přichází také na to, že zelené střechy mohou zmírňovat dopady efektu Urban Sprawl, kdy se zástavba rozšiřuje do volné krajiny (logistická centra, nákupní centra ad.) tím, že zabranou půdu nahradí zpátky ve střešní konstrukci objektu.

Rozvoj vegetačních střech přináší rozvoj nejen ve stavebním inženýrství a architektuře, ale i v dalších odvětvích jako je zahradnictví a gastronomie. V Paříži spojili reprezentativní vzhled zelených střech s možností pěstovat plodiny na střeše v zajímavý záměr založit restauraci, která připravuje jídlo s čerstvé zeleniny vypěstované na stejné vegetační střeše. Když to shrneme, silnou motivací pro zřizování vegetačních střech stále zůstává jejich reprezentativní vzhled spojený s eco-friendly myšlenkami. [18]

4 KONSTRUKCE ZELENÝCH STŘECH

Od tradičních šikmých skandinávských drnových střech přes střechy z dřevěného cementu (Německo) přes nedokonalé vegetační střechy (viz. bod 2.), dospíváme k moderním vegetačním střechám (Obr. 7). Kapitola 4. - Konstrukce zelených střech se tedy bude zabývat konstrukcí a popisem vrstev současných zelených střech. Dle sklonu je můžeme dělit rovněž na šikmé a ploché. Při návrhu každé



Obr. 7: Skladba současné vegetační střechy
Zdroj: www.pinterest.com

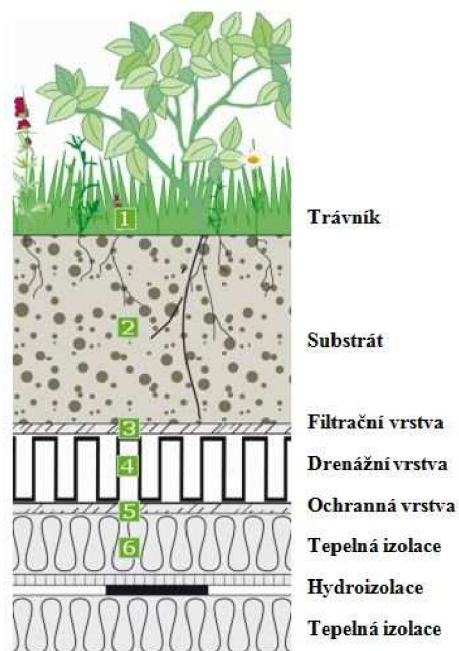
z těchto střešů vychází návrh konstrukce z obdobných principů. Materiál a pořadí vrstev jsou stejné, šikmá zelená střecha je však odvodněna vně stavby a vyžaduje protierozní opatření.

Druh konstrukce primárně rozdělujeme dle účelu používání střechy. Prvním typem je extenzivní střecha, která není pochůzná a přístupná lidem. Slouží výhradně pro estetiku. Tloušťka substrátu bývá nižší (3-15 cm) a zpravidla se na ní osazují méně náročné rostliny.

Extenzivní střechu je vhodné budovat jako jednoplášťovou, nikoliv jako dvouplášťovou,

protože vzduchová mezera, která odvětrává vodní páru ze střešní konstrukce, brání využít plný potenciál vegetační střechy. Rozdělení typů konstrukcí střešů může být také dle pořadí umístění tepelné izolace. Na základě toho rozdělujeme střechy na klasickou (hydroizolace nad tepelnou izolací), obrácenou či inverzní (hydroizolace pod tepelnou izolací) a duostřešou (hydroizolace je mezi tepelnými izolacemi).

Druhá v pořadí - intenzivní střecha (Obr. 8) je nejen, využívána pro relaxaci a pobyt osob, ale pěstují se na ní náročnější rostliny či stromy, které zasluhují pravidelnou údržbu. V návrhu intenzivní střechy je důležité mít na paměti, že výška substrátu se projevuje ve zvýšené retenční schopnosti při dešťových srážkách. Tuto schopnost je nutné zahrnout v momentě, kdy navrhujeme odvodnění střechy (polohu a dimenzi střešních vtoků, chrličů ad.). Větší tloušťka substrátu, vegetace a pohyb lidí na střeše s sebou nesou i větší požadavky na zachování pevnosti a stability stropní konstrukce pod vegetační střechou. S pobytem osob na intenzivní střeše přicházejí další požadavky na ochranu osob proti pádu zbudováním zábradlí nebo vyvýšením atiky a také na ochranu hydroizolace před poškozením. Použití materiálů v hydroizolačních, tepelně izolačních, drenážních, ochranných a filtračních vrstvách se u obou střešů takřka neliší, protože jejich funkce je postavena na stejném principu. [1][3][15]



Obr. 8: Intenzivní střecha

Zdroj: www.optigreen.cz

4.1 Popis jednotlivých vrstev

4.1.1 Nosná konstrukce

Návrh nosné konstrukce musí být proveden s vědomím, že střešní konstrukci tvoří zelená střecha. Důvodem jsou zejména statické účinky vyvozené vegetační vrstvou zelené střechy, která reprezentuje značné přídavné zatížení. Přítížení vegetační vrstvou se promítne do vyšších dimenzí vodorovných a svislých prvků. S mezními stavy použitelnosti a únosnost musíme uvažovat takové zatížení, které předpokládá nejnepříznivější působení na konstrukci, u vegetační střecha se jedná zejména o substrát, který je trvale ve styku s vodou a mění svou objemovou hmotnost.

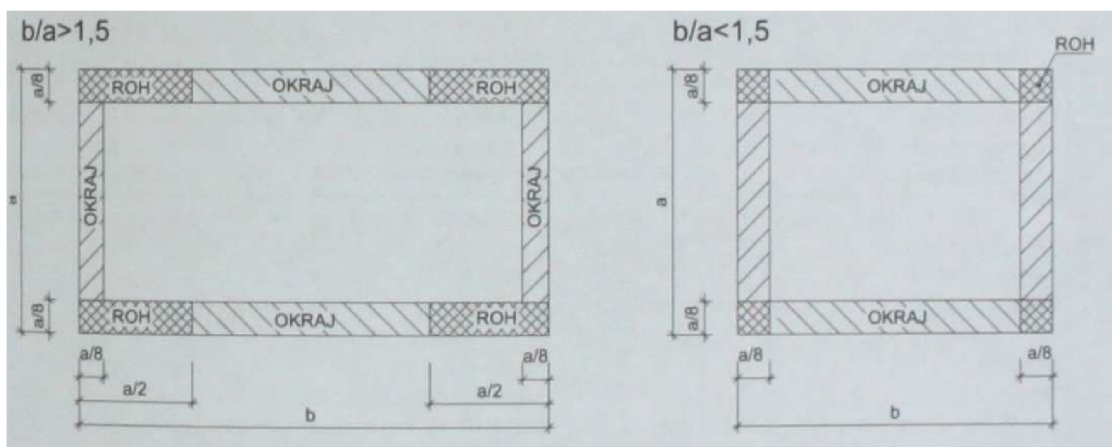
Plošné hmotnosti vegetačních vrstev kolísají v závislosti na typu ozelenění (každé vyžaduje různou hloubku substrátu viz. Tab. 1). Důležitá je představa o údržbě a budoucím stavu vegetace, je také žádoucí zohlednit variantu, kdy nebude o zeleň pečováno a nekontrolovatelně začne narůstat její hmota oproti původnímu plánu.

Tab. 1 Stálé zatížení vegetačních střech [15]

DRUH VEGETACE	TL.SUBSTRÁTU [cm]	ZATÍŽENÍ [kN/m ²]
Extenzivní (skalničky)	2 - 10	0,01 - 1
Extenzivní (včetně drenáže)	6 - 8	0,08
Extenzivní (plné nasycení substrátu vodou)	10	1
Trávník a trvalky	13 - 15	1,5 - 2
Vegetace o výšce 0,5m	16	2,7
Trvalky a traviny	15 - 20	2,7
Trávník a keře o výšce do 1m	20 - 26	3,4
Keře o výšce 1 až 3m	30 - 36	4,8

Nahodilé zatížení střech představují osoby, sníh, teplotní zatížení a vítr. Dle přístupu osob střechy rozdělujeme na nepřístupné (extenzivní střechy, rovnoměrné nahodilé zatížení $q_k = 0,75$ [kN/m²]), přístupné (obytné plochy, obchodní prostory) a se zvláštním provozem (heliport). Postup výpočtu zatížení sněhem stanovuje ČSN EN 1991 – 3, zahrnuje vliv sněhové oblasti (I až V), vliv tvaru střechy.

Zatížení větrem stanovuje ČSN EN 1991 – 4. Referenční rychlost větru v_{ref} je základní hodnotou, která se mění podle větrové oblasti (dle nadmořské výšky). Výsledný referenční tlak větru q_{ref} vychází z v_{ref} , dále závisí na součiniteli expozice c_e



Obr. 9 Oblasti střechy dle velikosti sání větru [15]

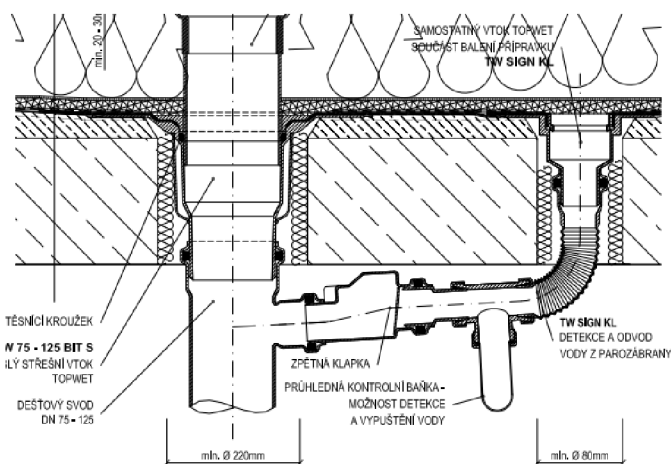
(vliv výšky střechy nad zemí a drsnosti terénu) a součiniteli vnějšího tlaku c_{pe} (závisí na oblasti střechy – Obr. 9, jejím sklonu a tvaru). Vegetační vrstva zelené střechy působí svou hmotností proti sání větru a současně tvoří stabilizační vrstvu. Při použití stromů je dobré brát na vědomí, že přenášejí zatížení větrem a vzniká účinek momentové dvojice (jedna část kořenů tlačí, druhá zvedá vegetační vrstvu), která by se měla do výpočtu zatížení větrem zahrnout. U ostatních ozeleněných střech se díky drsnosti povrchu (vlivem ozelenění) tlak větru částečně vyrovnává.

Pokud je konstrukce vystavena klimatickým změnám (krátkodobé velké změny teplot), pak posuzujeme zatížení teplotou. Konstrukce má pod vegetačním souvrstvím stálou teplotu. Vlivem tepelné setrvačnosti substrátu dochází k dobré akumulaci tepelné energie, velké teplotní výkyvy jsou pak vyloučeny. [15]

4.1.2 Parozábrana

Její účinek můžeme ovlivnit typem parozábrany (velikost difuzního odporu) a pořadím umístění parozábrany v souvrství. Nejvýhodnější je umístit ji první v pořadí ve směru od interiéru do exteriéru. Jejím úkolem je zabránit prostupu vodních par do celé konstrukce. Kde vlivem poklesu teploty pod rosný bod vzduchu (závislost na teplotě a relativní vlhkosti) může vodní pára zkondenzovat a narušit tepelně technické parametry celé konstrukce.

Správný návrh parozábrany a tepelné izolace ověříme dle požadavků v ČSN 73 0540 – 2:2011 Tepelná ochrana budov, Část 2 upřesňuje požadavky na oblast šíření vlhkosti konstrukcí. Prvním požadavkem je, že kondenzace nesmí ohrozit funkci konstrukce (posuzuje projektant). Druhý požadavek $M_{c,a} < M_{ev,a}$ (množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce < množství odparu). Třetí požadavek $M_{c,a} < M_{c,N}$ (množství zkondenzované vody uvnitř konstrukce < než $0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{rok}$ nebo 3-6 % plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně, bereme nižší z hodnot). V problematice odparu kondenzátu je důležité brát na vědomí zhoršený odpar vlivem nepřístupnosti slunce do konstrukce vlivem vegetační vrstvy. [16]



Obr. 10 Odvodnění pojistné hydroizolace
Zdroj: www.topwet.cz

Často se parozábrana pojmenovává jako pojistná hydroizolace. Pojistná HI pojímá vodu, která byla buď zkondenzována, nebo došlo k nežádoucímu zatečení do střechy, proto je předpokladem použití tohoto pojmenování řádné odvodnění vrstvy, spočívající ve vypádování pojistné vrstvy ke vtoku a v ideálním případě použití přídatného odvodňujícího systému (Obr. 10).

Vhodným materiálem pro parozábranu mohou být PVC folie nebo asfaltové modifikované pásy. Měřítkem parotěsnosti je ekvivalentní tloušťka r_D , která je součinem faktoru difuzního odporu μ [-] a tloušťky výrobku v [m]. Parozábrana by měla mít $r_D > 1500 \text{ m}$. Přesnější návrh parozábrany řeší ČSN 73 0540 – 2:2011 Tepelná ochrana budov, Část 2 [16]

4.1.3 Tepelně izolační vrstva

Tloušťka a typ aplikovaného tepelného izolantu mají největší vliv na tepelné technické parametry celého souvrství. Vegetační vrstva se při tepelně technických výpočtech zanedbává, protože je ve styku s vodou (systémovou hranici obálky budovy tvoří izolace). Z hlediska tepelné techniky je při projektování vegetační střechy (stejně jako klasické ploché střechy) hlavním cílem navrhnout takovou skladbu střechy, která zajistí dosažení požadovaného stavu vnitřního prostředí a současně příznivého tepelně-

vlhkostního režimu střechy při daných parametrech vnitřního a vnějšího prostředí. Řídíme se požadavky platných technických norem (ČSN 73 0540 – 2:2011 Tepelná ochrana budov, Část 2). U navržené konstrukce vegetační střechy je nutné prokázat splnění požadavků norem na hodnotu součinitele prostupu tepla $U_{REQ} = 0,24 \text{ W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}^{-1}$ (střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°). Součástí posouzení je i splnění požadavků Teplotního faktoru vnitřního povrchu, normový faktor $F_{Rsi,m}$ závisí na relativní vlhkosti vzduchu (80% - výskyt plísní, 100% - povrchová kondenzace). $F_{Rsi} < F_{Rsi,m}$. Ověření požadavků na množství zkondenzované vodní páry viz Parozábrana 4.1.1. [16]

Správnou volbou parametrů a umístění izolace, můžeme velmi razantně ovlivnit bezporuchový provoz a trvanlivost jak střechy, tak i prostoru, nad kterým se plánovaná střecha nachází. V minulosti se tepelně izolační vrstva umísťovala tradičně pod hydroizolační vrstvu anebo obráceně – ležela pod substrátem. Jak se ukázalo, ze zkušeností inverzní střecha není spolehlivým řešením. Pod izolační vrstvou jsou vhodné podmínky pro rozvoj kořenového systému rostlin (stálá teplota a vlhkost) což může vést k tomu, že růst kořenů bude dál postupovat nahoru do tepelné izolace, naruší její strukturu a izolace ztratí izolační vlastnosti. [3]

Při volbě materiálu tepelně izolační vrstvy je nutné se soustředit na pevnost izolantu v tlaku. Materiál musí být odolný proti stlačení vrstvami nad ním. Vhodné jsou stabilizované tepelně izolační desky z pěnového polystyrenu např. EPS 150S – pevnost při 10% stlačení je 150 kPa. Doporučeným postupem při volbě izolace je provést posouzení výpočtem a ujistit se zda navrhovaný izolant vyhoví na namáhání v tlaku vyvozené vrstvami ležícím nad ním. [17]

4.1.4 Hydroizolační vrstva

Hlavním požadavkem na hydroizolační souvrství jsou spolehlivá vodotěsnost po co nejdelší dobu. Namáhání hydrofyzikálním tlakem s přihlédnutím k přístupnosti hydroizolační vrstvy při případných opravách definuje ČSN P 73 06 00.

Nežádoucím vlivem působícím na vodotěsnost hydroizolace je prorůstání kořenů z vegetační vrstvy. Jádrem problému prorůstání kořenů je přítomnost biologických organismů na konci kořenů, které rozkládají živou hmotu. Pak tedy vzniklou netěsností v hydroizolační vrstvě pronikne voda, vlhkostní senzor špičky kořínku

rostliny ihned zafunguje a dochází k prorůstání. Dobře funguje opatřit hydroizolaci herbicidy, které prorůstání zabraňují.

Trvalé zabránění porušení hydroizolace rostlinnými kořeny řeší ČSN 73 1901. Zkoušky, na jejichž základě stanovujeme odolnost materiálů vůči prorůstání kořenů, jsou upřesněny v ČSN EN 13948: Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Stanovení odolnosti proti prorůstání, která je v platnosti od 1. listopadu 2007. Délka zkoušky je min. 2 roky. Celosvětově uznávaný je atest německé normy FLL (Forschungsgesellschaft Landshaftsetwicklung und Landschaftsbau, v překladu znamená Společnost pro výzkum a výstavbu krajiny). Podmínkou udělení na seznam atestovaných výrobků je splnění čtyři roky trvající zkoušky, při které jsou hydroizolační materiály vystaveny působení rostlin s agresivními kořeny (topol osika, olše šedá, pýr plazivý, vrba jíva ad.).

K případným opravám při poruchách hydroizolační souvrství nemůže dojít z důvodu přítomnosti vegetační vrstvy. V návrhu se tedy hydroizolace předimenzovává. Vegetační vrstva však vytváří ochranu vrstev ležících pod ní a tím prodlužuje jejich životnost.

Vhodné materiály do hydroizolační vrstvy jsou asfaltové modifikované pásy (SBS nebo APP s kovovou nebo polyesterovou vložkou) a hydroizolační fólie (termoplastické – polyethylenchlorid, elastomerní - polyizobutylen).

Za zvážení stojí použití fólií z měkčeného PVC, jelikož životnost takové fólie může být v zelených střechách zkrácena vlivem biokoroze. Pokud se materiál mPVC dostává do styku s cizím nekompatibilním materiálem typu EPS nebo v případě vegetačních střech případné nečistoty ve formě mikrobiologických činitelů, může dojít k migraci změkčovadla a postupnému zmenšování tloušťky fólie. Poznávacím znakem bývá postupné odhalování výztužné mřížky. Takový to proces vyústí v degeneraci fólie, která vede k brzké ztrátě její pevnosti a vodotěsníci funkce. [23]

Použití měkčeného PVC přináší větší riziko jak u obrácené střechy, tak u vegetační střechy s klasickým pořadím vrstev. V obrácené střeše eliminujeme biokorozi přidáváním separačních vrstev z netkaných textilií pro oddělení EPS od mPVC, vydrží však netkaná textilie, po celou dobu životnosti střechy? Ve vegetační střeše můžeme spekulovat o tom, jestli se nečistota dostane přímo k hydroizolačnímu souvrství.

Praktické zkušenosti tomu nasvědčují. Doposud je problematika biokoroze fólií nedostatečně prostudována a tak zbývá jako bezpečné řešení místo mPVC aplikovat ostatní typy hydroizolačních materiálů.

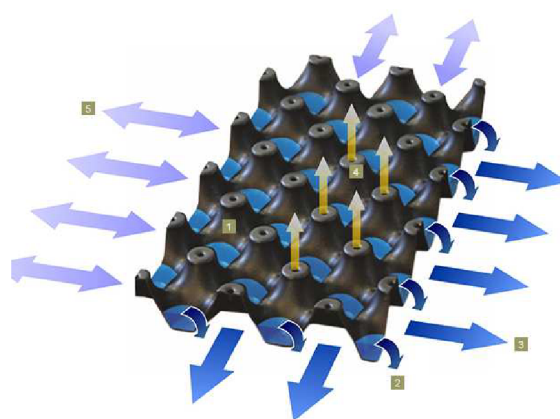
Při navazujících pracích a pohybu lidí na střeše může dojít k porušení hydroizolační vrstvy. Proto je na exponovaných místech nutná opatrnost a zřízení ochrany hydroizolace (oplechování, obklad). Celý proces realizace povlakové hydroizolace bývá zakončen posouzením kvality prací, zkouškou těsnosti (kritická místa jsou zpravidla ve spojích hydroizolačních pásů). Sklon vrstvy se doporučuje ve všech částech střechy min. 2 %, výjimkou jsou retenční střechy, které akumulují vodu pro závlahu. V těchto případech se dovoluje spád 0 %.

4.1.5 Ochranná vrstva

Při výběru asfaltových pásů do hydroizolačního souvrství je žádoucí opatřit celé souvrství ochrannou vrstvou, která zabraňuje protlačení nopů drenážní vrstvy do hydroizolace, v tomto případě spolehlivě funguje netkaná textilie. Ochranná vrstva také někdy může fungovat jako vrstva, která zamezuje prorůstání kořínků. Předpokladem je pak ale použití PVC folie, která zamezuje prorůstání. Tato vlastnost ochranné vrstvy se vyžaduje, pokud provádíme ozelenění střechy a původní hydroizolační souvrství není proti prorůstání odolné. [3][15]

4.1.6 Drenážní vrstva, hydroakumulační vrstva

Úkolem drenážní vrstvy je podržet vodu, odpařit nebo pomalu odvést do vtoku, pokud je však zabudována v tzv. retenční střechě tak pouze zachycuje vodu (max do 2/3 výšky nopu), která se používá pro závlahu. Proto, že zadržuje vodu je někdy také nazývána hydroakumulační vrstvou. Svůj podíl má i na ochraně hydroizolačního souvrství. Použitým materiálem obvykle bývá drenážní rohož,



Obr. 11 Perforovaná nopová drenážní rohož
Zdroj: www.archigreenltd.com

kteřá může být tvořena např. nopovou (Obr. 12) nebo smyčkovou fólií, méně se pak používají násypy z lehkého kameniva o hrubé zrnitosti (drcený keramzit, expandovaná

břidlice ad.) Dalším provedením může být drenážní deska, která výrazně odlehčí celou konstrukci. Sortiment drenážních desek tvoří kaučukové nopové desky, tvarované desky z tvrzeného nebo pěnového plastu s horní stranou opatřenou drážkami pro odvod vody. Odvod vody bývá často řešen pomocí perforace. Při volbě materiálu drenážní vrstvy je dobré vzít v úvahu jeho chemické vlastnosti, které mohou ovlivňovat složení odváděné vody. Vysoké pH násypů z lehkých kameniv (6 až 8,5) může kompenzovat kyselé deště naopak nežádoucí je přítomnost uhličitanů (recyklovaná betonová drť, vápencové šterky).

4.1.7 Filtrační vrstva

Drenážní vrstva má být pokryta filtrační vrstvou (netkaná textilie), která zabraňuje vyplavování substrátu z vegetační vrstvy a tím brání ucpání drenážní vrstvy. V historii se jako materiál používaly šterkové násypy, jejich nevýhodou byla vysoká hmotnost. V současné době nachází uplatnění netkaná textilie, která se pokládá zvláště na drenážní vrstvu nebo je integrovaná v drenážní vrstvě. Důležitým parametrem textilie je její vodopropustnost a umožnění prorůstání kořenům rostlin. [1][3][8][9]

4.2 Substrát

Obecně je účelem návrhu substrátu dosažení souladu substrátu a vegetace. Substrát musí rostlinám umožnit zakořenit, nést rostliny (výška substrátu) a poskytovat jim živiny ze svých zásob. Substrát pro zelenou střechu musí projít řadou zkoušek zkoumajících jeho fyzikální a chemické vlastnosti. Pokud prodejce prodává substrát pod názvem střešní substrát, zavazuje se k dodržení limitů stanovených ve vyhlášce Hodnocení střešních substrátů a jejich zařazení do systému typových substrátů 131/2014 Sb. Tato vyhláška udává max. přípustné limity fyzikálních a chemických vlastností substrátu. Její vznik by měl přispět k používání kvalitních substrátů do vegetačních střešů.

4.2.1 Fyzikální a hydrofyzikální parametry

Fyzikální parametry substrátu výrazně ovlivňuje jeho zrnitostním složení, které udává zastoupení pórů různé velikosti a má dopad na další důležité vlastnosti jako je retence, obsah vzduchu a drenážní schopnost. Dobrou radou pro složení substrátu je použití částic max. velikosti 12 mm, pro mocnost vrstvy do 10 cm, částice o max. velikosti 16 mm, pro mocnosti substrátu větší než 10 cm. Z fyzikálního a

hydrofyzikálního hlediska substrát posuzujeme na obsah vzduchu (podmínka pro suchomilné rostliny >25 % objemu, ostatní rostliny >20 % objemu), dále sledujeme stav plné vodní kapacity v zabudovaném stavu (maximální vodní kapacita – MVK viz. Tab. 2), zjišťujeme jaký je % podíl vody v objemu substrátu, podmínka pro suchomilné rostliny >35%, ostatní rostliny >20%). Drenážní schopnost udává rychlost infiltrace vody. Neméně důležitým parametrem vegetační vrstvy je obsah vyplavitelných částic ($d < 0,063$ mm), který musí být v rozsahu max. 20 % hmotnosti u intenzivních střeš a 15 % hmotnosti u extenzivních střeš. Další podrobnosti a průběh zkoušek udává německá metodika FLL 2008.

Shrnutí požadavků na substrát viz tabulka z Výzkumného ústavu krajiny a okrasných zahrad.

Tab. 2 Měrná vodní kapacita a drenážní schopnost substrátu [9]

Střešní substrát	MVK (% obj.)	Vzduch při MVK (% obj.)	Kfmod* (mm/min)	Kfmod** (mm/min)
extenzivní	35–65	>10	0,6–70	8–70
intenzivní	45–65	>10	0,3–30	5–30
jednovrstvý extenzivní	20–65	>10	60–400	–
jednovrstvý intenzivní	30–65	>10	60–400	–

* doporučení podle FLL, **doporučená změna rozsahu podle VUKOZ

4.2.2 Chemické parametry

Hlavní pilíře jsou hodnota elektrické vodivosti substrátu - EC, dle ČSN EN 13038) stanovující taktéž obsah rozpustných solí (suchomilné rostliny <3,5 g/l, ostatní <2,5 g/l), hodnota pH dle ČSN EN 13037 kde zjišťujeme hodnotu pH (suchomilné 6,5-9, ostatní 5,5-8), a hodnota obsahu spalitelných látek (podíl organických součástí) dle ČSN EN 13039, limity: intenzivní střešy <90 g/l, extenzivní střešy <65 g/l. V poslední řadě zkoumáme obsah živin v substrátu. Tato hodnota sice nepatří mezi vyžadované charakteristiky, ale stanovuje se doporučená hodnota. Vyšší než přístupné množství obsahu živin v substrátu je nežádoucí zejména v době mezi pokládkou substrátu a ozeleněním, protože dochází k vyplavování živin ze střešy (negativní vliv na životní prostředí). Doporučené hodnoty stanovuje tabulka obsahu živin ve vegetačních substrátech podle VDLUFA, která uvádí max. přípustné množství živin v substrátu. Hnojení je žádoucí až v době vývoje vegetace. [9]

4.2.3 Výskyt plevelů

Jakmile substrát splňuje všechna výše zmíněná kritéria, máme napůl vyhráno. Pokud se nám, ale do substrátu během jeho těžby či skladování nedostanou klíčivá semena nebo regenerující části rostlin a nezpůsobí růst plevelů. Prvotním opatřením je nutná ochrana proti navátí semen již při skladování či výrobě – těžbě substrátu. Tento fakt obvykle není v našich silách ovlivnit a je věcí důslednosti lidí, kteří substrát těží a skladují. Na plevel můžeme vyžrát tím způsobem, že použijeme spodní část zeminy do svrchní části vegetační vrstvy, což spolehlivě eliminuje nebezpečí zavlečení plevelů.

4.2.4 Materiály pro substrát

Při návrhu vegetační vrstvy střechy máme snahu snížit tíhu substrátu. Do ornice se tedy přimíchá lehké minerální plnivo frakce 0-16 (pemza, láva, expandovaná břidlice ad.) nebo písek (nesmí obsahovat více než 20 % jílu a slínu). Lehké minerální kamenivo sice snižuje hmotnost a tím zatížení střechy, pracnost, dopravu, ale co se týče obsahu živin je jen těžko srovnatelné s ornici. Vyšší přídavek hnojiva ve výsledku nemusí působit pozitivně na kvalitu odváděné srážkové vody a na okolní ekosystémy, stejně jako materiál substrátu. Výběr vhodného materiálu je zkrátka otázkou kompromisu.

Vegetační vrstvu mohou tvořit at' už sypké hmoty, což jsou podorniční půda, vylepšená ornice nebo také minerální sypké hmoty, které dělíme na s nebo bez organických součástí a se strukturou uzavřených nebo otevřených pórů. Násypy s obsahem cizorodých látek (kusy plastu, cihel a kovu, zbytky obkladaček, sklo) nejsou doporučovány. Další variantou je použití substrátových panelů z modifikovaných pěnových materiálů či z minerálních vláken, vodoakumulačních vrstev (textilie, rohože, desky, panely) nebo vegetační rohože s minerální/organickou směsí sypkých hmot (nosná, spolupůsobící vložka či trvalá nebo vytlívající vložka).

Při umístění vegetační vrstvy je důležitým faktorem sklon střechy, nejčastěji u extenzivních střech platí, že s výškou sklonu potřebujeme lepší retenční (akumulační) vlastnosti substrátu kvůli dostatku vody pro růst rostliny a zachování retenční funkce zelené střechy. Nepřímým pozitivním efektem vegetační vrstvy je i kvalitní ochrana hydroizolace, která přispívá k delší životnosti materiálu a tím celé střechy či objektu.

Pokládka vegetační vrstvy (Obr. 12) se provádí rovnoběžně s vrstvami pod ní s výjimkou situací, kdy je záměrem modelace terénu. Zeminy a sypané substráty se pokládají v přirozeně vlhkém stavu, vegetační rohože se pokládají v suchém stavu (je třeba je chránit před provlhnutím). U strmějších sklonů střech nebo u dlouhé prodlevy mezi uložením substrátu a ozeleněním se zavádí ochrana



Obr. 12: Realizace střešního substrátu
Zdroj: www.casopisstavebnictvi.cz

proti sesuvu, substrát se vkládá do plastových profilovaných roštů nebo se do substrátu vloží protierozní výztuž (mříž z jutových vláken nebo smyčková rohož). Stabilitu struktury substrátu by mělo zajistit vhodné zastoupení frakce zrn. U extenzivních střech by nosnou vrstvu mělo tvořit drcené kamenivo. Sedání způsobené důsledkem vlastní tíhy substrátu, působením vody nebo údržbou střechy může dosahovat max. 10% u výšky vrstvy u vrstev do 500 mm a max. 5 cm u výšky vrstev nad 500 mm. Sléhavost vegetační rohože nesmí dlouhodobě činit více jak 20% tloušťky při tl. rohože 30-50 mm a více jak 10 mm při tl. rohože >50 mm. V dnešní době se při aplikaci substrátu používá čerpadlo, které dopravuje substrát pomocí mechanizace a potrubí na střechu. [8][9]

4.3 Vegetace

Výběr druhu vegetace (viz. Tab. 3) je jedním z prvních bodů návrhu zelené střechy, odvíjí se od něho typ a mocnost substrátu a tím i celá konstrukce zelené střechy. Koncepce návrhu může být i v opačném pořadí, tak že druh ozelenění je podřízen typu vegetační střechy.

Tab. 3 Doporučené druhy vegetace [1]

DOPORUČENÉ FORMY OZELENĚNÍ VEGETAČNÍCH STŘECH			
EXTENZIVNÍ		INTENZIVNÍ	
ploché střechy	šikmé střechy	jednoduché	
<i>mecho rozchodníková rochodníko mecho bylinná rozchodníko trávo bylinná trávo bylinná</i>	<i>mecho rozchodníková rochodníko mecho bylinná rozchodníko trávo bylinná</i>	<p>ploché střechy</p> <i>trávo bylinná divoké trvalky a dřeviny dřeviny a trvalky dřeviny</i>	<p>šikmé střechy</p> <i>trávo bylinná</i>
			<p>náročné</p> <i>trávník nízké trvalky středně vysoké trvalky vysoké trvalky a keře velké keře a malé stromy střední stromy velké stromy</i>

4.3.1 Zeleň na extenzivní střeše

Pro extenzivní ozelenění je prioritou vytvořit nadměrnou biomasu, ale používat rostliny, které dokážou odolávat v extrémních podmínkách (Tab. 4). Regenerace rostlin probíhá pomocí semen, které zajišťují následný růst a existenci možných druhů, zničených vnějšími podmínkami. Přidanou hodnotou těchto rostlin je také schopnost odolávat vysokému slunečnímu svitu, schopnost odolávat suchu a mrazuvzdornost i v tenké vrstvě substrátu. Takovými druhy rostlin bývají především xerofytní (rostliny uzpůsobené na suché prostředí zvládající občasný anebo trvalý vodní stres) a sukulentní rostliny (stavba těla pro pouštní prostředí, shromažďují vodu ve svých dutých stoncích). Dají se použít i některé druhy mezofytních rostlin (nevyskytují se ani ve vlhkém ani v suchém prostředí, v přírodě např. violka vonná), obzvláště pak ty které mají odolnost ve vysokém rozsahu teplot. Důležitou roli však hrají okrajové podmínky, kterými jsou místní klima a jeho specifika. [8]

Tab. 4: Varianty vegetačních vrstev [1]

VARIANTY OZELENĚNÍ			
TL. SUBSTRÁTU [cm]	VEGETACE	ROSTLINY (PŘÍKLAD)	VLASTNOSTI VEGETACE
3 - 5	vegetační rohože doplněné porostem mech - rozchodník	rozchodník ostrý rokyt cypřišovitý rohozub nachový	sukulenty mají odolnost v suchém prostředí (rozchodník + netřesk) malá tíha mech - stinná, vlhká místa
5 - 8	rozchodník + kombinace rozchodník, bylina, tráva	rozchodník ostrý netřesk střešní česnek pažitka sveřep střešní	sukulenty mají odolnost v suchém prostředí (rozchodník + netřesk) malá tíha krátká výška vegetace pažitka může potlačit růst trav traviny vhodné do míst se stálou vlhkostí
12 - 15	čistě bylinný porost zakrslé keře	trvalky (hvozdík, česnek, zvonek ad.) vřes obecný, jalovec	nízká vegetace nepříliš hustá vegetace nízké nároky na živiny v substrátu
14 - 18	porost divoké trávy + kombinace tráva, bylina	lipnice luční kostřava ovčí	vyšoká hustota ozelenění vyšoká přidaná hodnota vegetační střechy

4.3.2 Zeleň na intenzivní střeše

U intenzivního (náročného) střešního ozelenění se spektrum použitých rostlin významně rozšiřuje, je to dáno velkou mocností substrátu a možností závlahy. Ve výběru vhodných rostlin nás limitují pouze jejich vlastnosti a nároky. Dá se říci, že nový ozeleněný prostor téměř nahradí prostor odňatý z přirozeného prostředí zastavením pozemku a naše možnosti výsadby jsou podobné jako na rostlém terénu. [1] [8]

Oblíbenou variantou je zřízení trávníků na substrátu s mocností 30-35 cm. Svrchní vrstvu tvoří trávníkový koberec předpěstovaný v trávníkových školkách, 10 cm

pod terénem se požaduje trávnickový substrát (lepší drenážní funkce), pod něj v mocnosti 20-25 cm prosívaná ornice. Naprosto nezbytné je pak pravidelné provzdušňování, zavlažování, sekání a hnojení.

Pokud máme v úmyslu na vegetační střeše pěstovat zeleninu, drobné ovoce nebo květiny mocnost substrátu se požaduje nad 300 mm, výsadba ovocných stromů na zelené střeše si žádá tloušťku substrátu 400 popř. 500 mm a použití jehličnatých stromů klade nároky až na větší tloušťky substrátu než 500 mm. [3]

4.3.3 Založení vegetační vrstvy

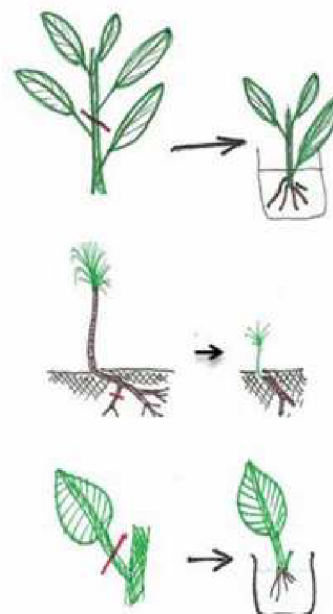
Způsoby realizace vegetační vrstvy rozlišujeme na osivo, řízky, trvalky, cibuloviny, dřeviny, kobercový trávník, vegetační rohože (koberce).

4.3.3.1 Osivo

Nejčastěji slouží pro množení divokých trav a bylin. Sice má menší klíčivost a druhovou čistotu, ale tyto vlastnosti u něj kompenzuje vyšší odolnost. Suchá výsadba vyžaduje 3–8 g osiva/m². Mokrý výsadba (ozelenění nástřikem) se jako pojivo používají celulóza, alginát s hlínou či syntetické emulze, je na množství osiva úspornější, stačí 2 g/m².

4.3.3.2 Řízky – části rostlin

Jedná se o kousky nařezaných částí rostlin (Obr. 13). Růst probíhá velmi lehce a přetrvávají období sucha. Pro výsadbu se předpokládá 40 výhonků na m². Metoda řízků je vhodná jak pro sukulentní rostliny, tak pro cibulnaté rostliny a nízké trvalky. Druhy řízků: listový, stonkový, kořenový.



Obr. 13: Řízky
Zdroj: Rozmnožování rostlin
www.slideplayer.cz

4.3.3.3 Trvalky

Musíme brát na vědomí, že výška balů nesmí překročit mocnost vegetační vrstvy. Důležité je se také vyvarovat použití trvalek pěstovaných v lepivých nebo humózních půdách, které jsou pro zelené střechy nevhodné. Předpokladem použití trvalek je dobře vyvinutá rostlina, pouze mírně přihnojovaná dusíkem s dostatečnou

odolností. Je zakázáno používat rostliny předpěstované ve skleníku. Použití trvalek přináší na jedné straně rychlejší vývoj vegetace, na straně druhé vyšší pořizovací náklady. Pro použití platí směrnice společnosti FLL řízení jakosti pro trvalky.

4.3.3.4 Cibuloviny

Upřednostňujeme pěstování v malých a plochých balech. Cibuloviny je doporučeno pěstovat v minerálních substrátech.

4.3.3.5 Dřeviny

Na vegetačních střeších se požaduje pouze pěstování zakořeněných dřevin. Použití kořenového balu je nutné pouze u menší mocnosti substrátu. Vhodným substrátem pro rostliny pěstované v kontejnerech a plochých balech je substrát minerálního složení, výjimkou jsou substráty pro speciální rostliny požadující humózní půdy. Přesazování rostlin vypěstovaných v soudržné zemině, pro zelené střechy není doporučováno. U vyšších dřevin je vhodná stabilizace pomocí vyvázání a kotvení k podpůrným konstrukcím ve vegetační vrstvě, úhel kotvení by neměl přesáhnout 60 °. Nedoporučuje se vysazování stromů do okrajových a rohových oblastí střechy, protože tyto části mají větší zatížení větrem.

4.3.3.6 Kobercový trávník

Travní koberce tvoří vegetační vrstvu ihned po zabudování, ale nejsou primárně určeny do extenzivních střech. Odůvodněním je z hlediska nižší druhové rozmanitosti rostlin nižší rozsah okrajových podmínek, nižší mocnost substrátu a nutnost dostatečné péče a závlahy. Avšak pokud spojíme dohromady vyšší mocnost substrátu s vhodným druhem luční trávy, můžeme dosáhnout určité odolnosti vegetace v suchém prostředí.

4.3.3.7 Vegetační rohože

Jedná se o rohože s nosnou vložkou (Obr. 14) vhodnou pro pěstování, přepravu i pokládku. Požadavkem je, aby fungovala spolehlivě na místech s výskytem namáhání v tahu. Nutností je odolnost vegetace na vnější podmínky, čili ji nelze před pokládkou pěstovat ve skleníku. Znakem odolnosti je u rostlin správná tvorba výhonků a



Obr. 14: Vegetační rohož
Zdroj: www.optigreen.cz

krátkých stéblových článků. Vegetace má pokrývat min. 75 % celkové plochy rohože. Pokud se vyskytuje dílčí plocha bez substrátu, tak nesmí její plocha přesahovat 30 cm². [1][3][8]

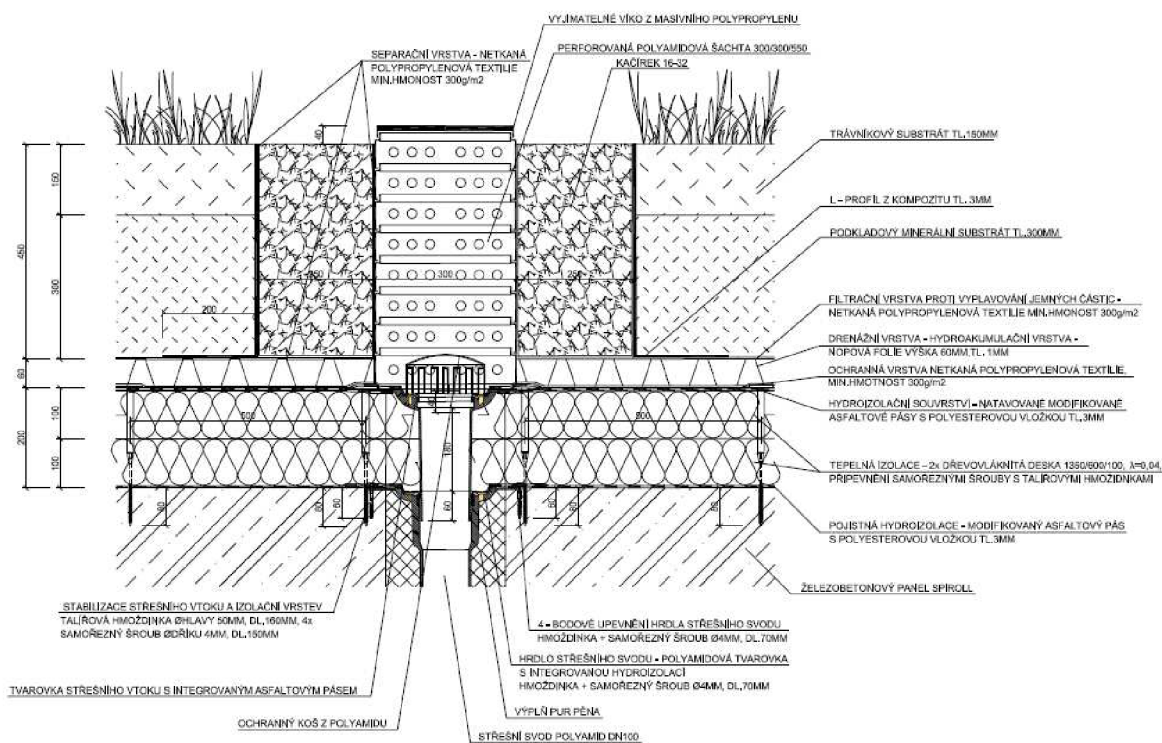
4.4 Odvodňovací prvky

Úkolem odvodňovacích prvků je pojmout povrchovou vodu z vegetační vrstvy a odvést přebytečnou vodu z drenážní vrstvy. Stékající voda z okolních fasád a střech může způsobovat hrozbu pro vegetační vrstvu v tom smyslu, že voda na povrchu, která není řádně odvedena, tvoří kaluže a ničí vegetaci. Této skutečnosti předcházíme vhodným návrhem odvodňovacích prvků, které na vegetační střeše tvoří střešní vtoky, pojistné přepady a chrliče.

Při návrhu dimenze a počtu střešních vtoků počítáme s požadovaným odtokem dešťových vod ze střechy [l/s]. Max. odtok dostaneme ze vztahu: $Q = A \cdot i \cdot C$ [l/s]

- A účinná plocha střechy v metrech čtverečných [m²], příspěvek svislých konstrukcí tj. stěny, které převyšují rovinu střešní konstrukce, zohledňujeme přičtením 50 % z exponované plochy stěny. Účinkem větru se totiž déšť hnaný větrem proti stěně odráží zpátky na plochu střechy. Také u střech odvodněných a na ploché střechy, je třeba ve výpočtu zahrnout jejich účinné plochy.
- i intenzita deště daná v litrech za sekundu na metr čtverečný [l/s.m²], pro střechy a plochy ohrožující budovu zaplavením $i = 0,03$ (l/s.m²)
- C součinitel odtoku [-], zohledňuje vliv retence vegetační vrstvy

SOUČINITEL ODTOKU C (dle FLL)		
Tloušťka vrstvy substrátu	Sklon střechy do 15 °	Sklon střechy větší než 15 °
8 - 10cm	0,5	0,6
10 - 15cm	0,4	0,5
15 – 25cm	0,3	-
25 – 50cm	0,2	-
50cm	0,1	-



Obr. 15 Řešení vtoku u vegetační retenční střechy
Zdroj: archiv prací Vojtěch Hrachovina

Započítání součinitele C je na zvážení, protože střecha se v době montáže nachází bez vegetační vrstvy, tudíž nemůžeme počítat s retencí, dalším předpokladem pro $C=1$ může být nepředvídatelná změna v projektu v realizační fázi, kdy se navrhovaná vegetační střecha vyloučí.

Doporučené umístění vtoků je minimálně 0,5 m od atik a nadstřešních konstrukcí. Důvodem je možnost vytvořit spolehlivé opracování v detailu spoje přířezu hydroizolace na střešním vtoku s hydroizolačním souvrstvím v ploše střechy. S realizací střešního vtoku je spojeno umístění výškově nastavitelné kontrolní šachty (nerez, polyamid) kolem vtoku a ochranné vrstvy šterku kolem šachty v minimální šířce 300 mm za účelem zabránění smývání vegetace do vtoku.

V dalším kroku se zřizují bezpečnostní prvky, které zabraňují zaplavení střechy při dlouhotrvajících srážkách, jedná se o pojistné přepady a chrliče, při jejich návrhu vycházíme z obdobných zásad jako u návrhu vtoků (specifikace v ČSN EN 12056-3:2001 (756760) Vnitřní kanalizace – Gravitační systémy – Část 3: Odvádění dešťových vod ze střeš – Navrhování a výpočet.

5 ÚDRŽBA VEGETAČNÍCH STŘECH

Trvanlivost a funkce zelené střechy je odvislá od kvality péče, kterou jí dodáváme. Po dobu životnosti vegetační střechy provádíme údržbu vegetace, funkčních částí a příslušenství střechy. Samotný způsob údržby by měl přijít v úvahu již při návrhu střechy. V této části práce bude konkrétněji prozkoumána údržba vegetace. Náročnost údržby vegetace většinou závisí na požadavcích zakomponovaných rostlin. Pokud je zřízen zavlažovací systém počítáme také s kontrolou jeho technického stavu.

V údržbě funkčních částí a příslušenství střechy je zahrnuta kontrola bezproblémového odvodu vody. Ta vyžaduje dobrý stav klempířských výrobků na ploché střeše (oplechování atiky, komína), čistotu šachet, střešních vtoků a bezpečnostní přepadů, které musí po celou dobu umožňovat bezproblémový odtok, dále to je správná drenážní funkce ochranných a šterkových vrstev (výskyt kaluže nad hydroakumulační vrstvou může mít za následek úhyn rostlin a vznik mechu). V neposledním případě se vyžaduje provozuschopný stav prvků zajišťujících zabezpečení proti pádu ze střechy tj. zábradlí a kotevní body či opravy mobiliáře a technologií umístěných na povrchu střechy.

5.1 Údržba extenzivní střechy

(rozchodníky a netřesky, suchomilné trvalky, směsné byliny)

Na extenzivních střeších většinou po realizaci střechy a adaptaci rostlin nastává dynamický vývoj utváření vegetace. Extenzivní vegetace není zdaleka tak pracná na údržbu jako intenzivní, náš zásah je zapotřebí pouze při sestřihu nebo odstraňování rostli a v případě výskytu náletového plevele. Provádíme kontrolu fyziologického stavu vegetace a zabraňujeme přítomnosti parazitů či škůdců. Hnojení se provádí jednou ročně z jara pomalu rozpustnými hnojivy. Dobrý vývoj rostlin podporujeme vkládáním zahradnického substrátu s 70% organických látek, který se obsypává kolem rostlin v tl. 1cm. Střecha je zavlažována pouze příležitostně pomocí instalovaného rozvodu. Odhadovaný čas strávený údržbou střechy se počítá na 3 pracovní dny/1000m²/rok.

5.2 Údržba lehké intenzivní střechy

(trávník, trávník s květinami)

Kontrolujeme fyziologický stav vegetace, odstraňujeme nežádoucí parazity a škůdce. Vegetace klade nároky na kypření půdy, hnojení, závlahu, odplevelování a zazimování. Hnojení střechy je žádoucí 2 až 3x ročně na jaře (březen, duben) a v červnu. Pro zavlažování zřizujeme instalovaný rozvod. Množství závlahy upravujeme dle množství srážek, speciálně v letních měsících. Minimální interval sekání trávy je jednou týdně. Časová náročnost údržby se pohybuje kolem 10 pracovních dnů na 1000 m²/rok. Za účelem provzdušňování se provádí strojní provzdušňování, tzv. vertikutace 2x ročně. Pomocí vertikutace odstraňujeme z povrchu substrátu plst', zlepšujeme tak přístup vody a živin ke kořenům rostlin.

5.3 Údržba náročné intenzivní střechy

(zahrada, náročné byliny a keře)

Rostliny požadují provádění stejné péče jako u lehké intenzivní střechy s přídatkem hrabání listů, ořezávání stromků a péče o druhově rozmanitou zeleň (keře, zelenina, byliny). Zavlažování by mělo fungovat v automatickém režimu přes instalovaný rozvod. Na střešní zahradě očekáváme větší druhovou rozmanitost, čas strávený údržbou se tedy počítá na 20 pracovních dnů na 1000 m²/rok. [3][8][10]

5.4 Hnojení

Anorganické živiny se dělí do třech skupin dle potřebného množství hnojiva a to na makroelementy (N, P, K, S, Ca, Mg), mikroelementy (Fe, B, Mn, Mo, Zn, Cu) a stopové prvky. Organické živiny tvoří C, H₂, O₂. Živiny jsou obsaženy v hnojivu, které může být jak v statkové nebo-li přírodní fázi tak průmyslově vyráběné (granule, prášek, kapalina). Nejdůležitějšími prvky pro růst rostlin jsou dusík N (nadzemní růst rostlin), fosfor P (vývoj a zrání plodů, růst kořenového systému) a draslík K (odolnost proti zimě). Existují tzv. NPK hnojiva, která jsou specifikována pro určitý typ rostlin (každá rostlina vyžaduje jiný poměr zastoupení prvků). Při výběru typu hnojiva je třeba dbát na nízký podíl chlóru (některé rostliny na něho neblaze reagují) a účinek hnojení na pH substrátu. Vegetační střechy se sukulenty a střechy s tzv. loukou (přírodním společenstvím) netřeba hnojit vůbec. Pro hnojení by se neměly překračovat optimální

dávky, dochází pak k zátěži životního prostředí. Schválený registr hnojiv je k dispozici na webu www.eagri.cz (ÚKZÚZ - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský).

5.5 Zavlažování

5.5.1 Potřeba vody

Pro návrh zavlažování je výchozím bodem navrhnout potřebu vody. Potřeba vody se provádí výpočtem, který stanovuje ČSN 75 0434 Potřeba vody pro doplňkovou závlahu. Výsledek výpočtu slouží jako podklad pro návrh parametrů závlahového zařízení, posouzení vodního zdroje či určit nároky na energii. Hlavním faktorem ovlivňujícím potřebu vody je množství srážek ve směrodatně suchém roce.

Rostlina potřebuje určité množství vody pro evapotranspiraci (odpařování vody z povrchu rostliny + odpařování vody z terénu bez vegetace). Velikost evapotranspirace závisí na meteorologických a klimatických jevech (intenzita slunečního záření v čase, teplota a vlhkost vzduchu, rychlost větru, srážky, atmosférický tlak) stejně tak jako na vlastnostech substrátu (struktura a vlhkost) či fyziologické stavbě rostliny (velikost transpiračních ploch, kořenový systém ad.). Dobrým ukazatelem hodnoty evapotranspirace by nepřímo mohly být naměřené hodnoty relativní vlhkosti vzduchu v okolním prostoru, zemině a zeleni. Roční úhrn srážek v našich klimatických podmínkách představuje $\frac{1}{3}$ až $\frac{1}{2}$ potřebného množství vody pro kvalitní trávník, která se pohybuje mezi 600 – 800 [mm/m²].

Tab. 5: Model dodatečné závlahy rozchodníků [29]

SEVILLA	rozchodník krátký, LAI = 0,8								
	Počet dnů se srážkou > 5 [dny]	Denní průměrná srážka [mm/m ²]	Denní zadržovaná srážka [mm/m ²]	[%] zadržené srážky	Denní evapotranspirace [l/m ²] = [mm/m ²]	evapotranspirace/průměrná denní srážka [%]	Denní množství umělé závlahy [l/m ²] = [mm/m ²]	Měsíční množství umělé závlahy [l/m ²] = [mm/m ²]	Poměr retence/potřeba vody [%]
Leden	2,6	25,38	1,54	6,1%	0,52	2,0%	0	0	6,1%
Únor	2,6	23,08	1,51	6,5%	0,97	4,2%	0	0	6,5%
Březen	2,4	37,5	1,67	4,5%	1,54	4,1%	0	0	4,5%
Duben	2,6	20	1,45	7,3%	2,53	12,7%	0,92	27,68	6,9%
Květen	1,6	25	1,54	6,2%	3,57	14,3%	2,36	73,13	5,6%
Červen	0,6	16,67	1,38	8,3%	4,58	27,5%	4,27	128,23	6,6%
Červenec	0,3	16,67	1,38	8,3%	5,55	33,3%	5,4	167,46	6,3%
Srpen	0,5	12	1,23	10,3%	5,26	43,8%	5,09	157,67	7,2%
Září	2	10	1,14	11,4%	3,46	34,6%	2,87	86,08	8,9%
Říjen	3,3	21,21	1,48	7,0%	1,76	8,3%	0	0	7,0%
Listopad	4	16,75	1,38	8,2%	0,73	4,4%	0	0	8,2%
Prosinec	3,2	22,81	1,51	6,6%	0,54	2,4%	0	0	6,6%
			17,21		31,01			640,25	

Ve vegetačním období musíme zajistit dostatečné množství vody pro celou vegetaci viz. Tab. 5 a Tab. 6. Když od hodnoty celkové potřeby vody pro vegetaci odečteme účinné srážky na vegetační ploše, získáme závlahové množství vody [mm; m³/ha], které udává nutný objem přiváděné vody k rostlině v době jejího růstu. Hodnota součtu závlahových dávek za celou dobu vegetačního růstu pak musí odpovídat hodnotě závlahového množství dané rostliny za celou dobu růstu.

V místech s nižším výskytem srážek, vzrůstají náklady na zavlažování. I v případě, že je relativní vlhkost vzduchu v prostoru zeleně vysoká nebo se zde nevyskytuje sluneční záření, je nutná minimální nutná závlaha, která obstará životní funkce zeleně.

Tab. 7: Model dodatečné závlahy travin gramineous [29]

SEVILLA	gramineous (dlouhá tráva s kloubovitými stonky), LAI = 5								
	Počet dnů se srážkou > 5 [dny]	Denní průměrná srážka [mm/m ²]	Denní zadržaná srážka [mm/m ²]	zadržené srážky [%]	Denní evapotranspirace [l/m ²] = [mm/m ²]	evapotranspirace/průměrná denní srážka [%]	Denní množství umělé závlahy [l/m ²] = [mm/m ²]	Měsíční množství umělé závlahy [l/m ²] = [mm/m ²]	Poměr retence/potřeba vody [%]
Leden	2,6	25,38	9,65	38,0%	0,86	3,4%	0	0	38,0%
Únor	2,6	23,08	9,43	40,9%	1,591	6,9%	0,324	9,063	40,3%
Březen	2,4	37,5	10,42	27,8%	2,465	6,6%	0,368	11,406	27,5%
Duben	2,6	20	9,09	45,5%	4,012	20,1%	3,067	91,995	39,4%
Květen	1,6	25	9,62	38,5%	5,517	22,1%	4,723	146,423	32,4%
Červen	0,6	16,67	8,62	51,7%	6,91	41,5%	6,749	202,469	36,8%
Červenec	0,3	16,67	8,62	51,7%	8,133	48,8%	8,056	249,723	34,9%
Srpen	0,5	12	7,69	64,1%	7,683	64,0%	7,614	236,032	39,2%
Září	2	10	7,14	71,4%	5,238	52,4%	5,048	151,426	47,4%
Říjen	3,3	21,21	9,23	43,5%	2,77	13,1%	1,495	46,357	40,7%
Listopad	4	16,75	8,63	51,5%	1,202	7,2%	0,119	3,584	51,2%
Prosinec	3,2	22,81	9,41	41,3%	0,86	3,8%	0	0	41,3%
			107,55		47,241			1148,478	

Studie, která integrovala současně množství uspořené tepla na vytápění a chlazení a potřebu závlahové vody s přihlédnutím i na ceny energií a vody v různých oblastech Evropy, prokázala vyšší návratnost zelených střech paradoxně v severních zemích, kde se jeví jejich přínos v nižší potřebě energie na vytápění a rovněž zde působí příznivě nižší náklady na zavlažování, jejichž příčinou je hojnost srážek v dané oblasti, a tedy nelze zavlažování v procesu zkoumání zelených střech zanedbat.

Tab. 8: Porovnání srážek Sevilla – Brno [28]

Uvedené hodnoty pochází z výpočtového modelu ve studii zaměřené na efektivitu zelených střech z pohledu energetiky a finančních nákladů na

Denní průměrná srážka [mm/m ²]	Sevilla	Brno	Brno - Sevilla
Leden	25,38	25	-0,38
Únor	23,08	22	-1,08
Březen	37,5	31	-6,5
Duben	20	28	8
Květen	25	61	36
Červen	16,67	72	55,33
Červenec	16,67	60	43,33
Srpen	12	53	41
Září	10	41	31
Říjen	21,21	35	13,79
Listopad	16,75	37	20,25
Prosinec	22,81	36	13,19

zavlažování v různých částech Evropy. Četnost srážek je v ČR větší než v Seville (porovnání s průměrnými srážkami v Brně viz. Tab. 8). [28] Z hlediska finančních nákladů spojených s nižším množstvím dodatečné závlahy střechy příznivější podmínky v naší zemi. Z tabulek je na první pohled zřejmé, že období letních měsíců (červenec, srpen - dochází k největšímu energetickému benefitu zelené střechy - pasivnímu chlazení) je rovněž doba největšího sucha (nejnižší výskyt srážek), tudíž vzrůstá potřeba umělého zdroje zavlažování, která s sebou přináší další finanční zátěž.

Denní množství dodatečné závlahové vody v červenci a srpnu (Sevilla) se dle tabulky blíží množství vody odvedené evapotranspirací. Docílit vyšší úspory vody se dá zvětšením retence střechy (větší mocnost substrátu a použití drenážní vrstvy s vyšší kapacitou, z které voda vyživuje vegetaci skrze kapilární vzlínavost) či zřízením zařízení pro odchyt vody. Množství dodatečné závlahy je také odvislé od druhu vegetace (viz. tab. 5 a tab. 7), v letní sezóně se mu, ale v případě intenzivních střech nevyhneme, výjimku tvoří sukulenty, které díky svému původu v suchých oblastech dovedou efektivně hospodařit s vodou a závlahu vyžadují častokrát jen při prvním roku své existence.

5.5.2 Zdroj závlahové vody

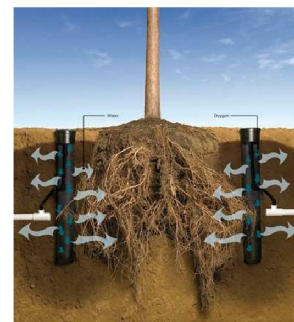
Kvalita závlahových vod je předepsána normou ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu. Posuzují se chemické, fyzikální, biologické a radioaktivní vlastnosti vody. Klasifikace doplňkových závlahových vod se dělí na třídy: I. třída – vody vhodné k závlaze, II. třída – vody podmíněně vhodné k závlaze, III. třída – vody nevhodné k závlaze. Při použití pitné vody klasifikace odpadá. Přivedená závlahová voda je buď původu vody z veřejného vodovodu, vody studniční nebo naakumulované dešťové vody. Na počátku je levnějším způsobem připojení závlahy voda z vodovodu, avšak s postupem času se ukazují její vysoké provozní náklady v porovnání s ostatními zdroji. Obohacení vodovodní vody chlórem nemusí mít dobrý dopad na rostliny př. trávník. Dešťová voda má z pohledu dopadu na vývoj rostlin lepší vlastnosti, je teplejší a měkčí než vodovodní voda. Akumulované dešťové srážky však nedovedou pokrýt potřebu vody, zvláště v letních měsících. Použití studniční vody jako zdroje klade nároky na nákup technologie potřebné k vyčerpání vody ze studny a dochází tak k prodražení celého systému, pokud není na pozemku vybudovaná studna, musíme vzít na vědomí

investice spojené s její realizací. Často také nebývá stabilní chemické složení, přípustnost použití vody se tak musí ověřit chemickým rozbořem.

5.5.3 Systémy zavlažování na vegetačních střechách

5.5.3.1 Mikrozávlaha

Mikrozávlaha (Obr. 16) funguje jako povrchová nebo podpovrchová závlaha, dodávající malé množství vody k rostlině pozvolným výtokem (většinou po kapkách - lokalizované závlahy, nebo postřikem). Pozitivně působí proti zavlečení plevelů, protože zavlažuje jen lokálně rostliny a ne místa mezi nimi. Dále je úsporná z hlediska spotřeby vody a energií, pracuje na nízký provozní tlak.



Obr. 16: Mikrozávlaha
Zdroj: www.ittec.cz

5.5.3.2 Závlaha podmokem

U tohoto typu závlahy se využívá vzlínavosti vody z drenážní vrstvy – hydroakumulační vrstvy. Principem je vsakování srážkové vody a její akumulace v drenážní vrstvě tvořené nopovou fólií s vyššími nopy (max. zaplnění drenážní vrstvy do 2/3). Odtud je voda difuzí a kapilární vzlínavostí přiváděna přes substrát k rostlinám. Střecha s takovou funkcí se nazývá retenční střechou – sklon střechy je max 2 °, může být i 0 ° a střešní vtoky jsou vyvýšené nad povrch, aby přímo neodváděly vodu a dovolovaly vsakování. Předpokladem zřízení takového druhu střechy je návrh hydroizolačního souvrství, kdy počítáme s působením tlakové vody. Benefitem této závlahy je sice teoretická úspora vody a energie, avšak v době letních měsíců, kdy vegetace závlahu potřebuje, bývá nižší výskyt srážek.

5.5.3.3 Závlaha postřikem

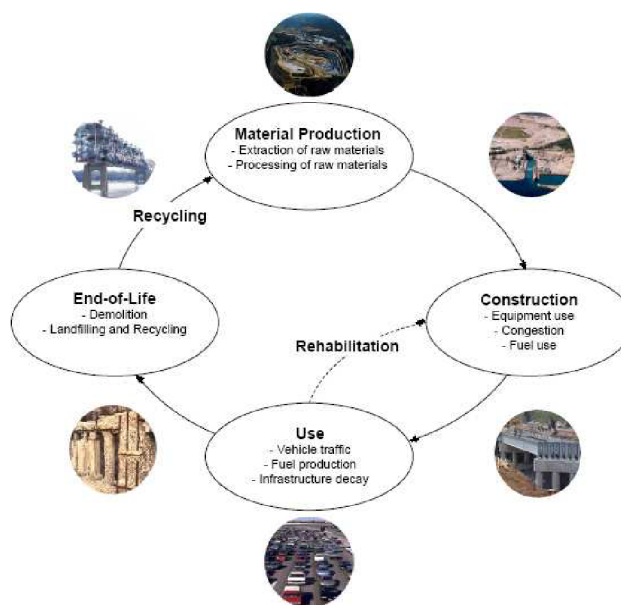
Vegetační vrstva je protkána vodovodní sítí, z které ční nad povrch hydranty, na které jsou napojeny postřikovače. Postřikovač většinou funguje jako rotačního čili zavlažuje vegetaci v plochách kruhů nebo kruhových výsečí. Jeho činnost spotřebovává větší množství energie a vody (je závislá na vydatnějším zdroji). [3]

6 PŘIDANÁ HODNOTA ZELENÝCH STŘECH

Na technické univerzitě bývá často přirozeně tlak ryze na technické pojetí práce. Toto chování je logické a správné. Existují však specifické situace, které jsou multikriteriálním problémem a nedají se označit přímo za technicky zaměřené, byť jejich řešení vyžaduje pokročilé znalosti z technických disciplín. Stejnou situaci navozují rovněž vegetační střechy, které „pokud je rozebereme do atomu“ zasahují do mnoha vědních oborů, avšak dominantním oborem je stále stavebnictví, z kterého pochází osoby tvořící návrhy a realizující vegetační střechy. Tyto kompetentní osoby by měli vědět jak a proč stavět vegetační střechy, zkrátka mít uvědomění o dopadech, příležitostech nebo problémech, které ozelenění přináší. Cílem práce je zhodnotit dosavadní poznatky a studie o vegetačních střechách a zhodnotit existenci určité přidané hodnoty ozelenění, které vyplyne ze srovnání zelené střechy s klasickým typem zastřešení jednoplášňové ploché střechy v městském prostoru. Posuzovanými veličinami budou trvale udržitelná výstavba, technika prostředí, retence srážkových vod, pohlcování emisí a estetika. Teoretická rešerše pak bude doplněna výsledkem dotazníkového šetření o povědomí a motivaci veřejnosti v ČR stavět zelené střechy.

6.1 Trvale udržitelná výstavba

Při návrhu staveb se snažíme koncentrovat také na to, do jaké míry jsou zabudované materiály v konstrukcích šetrné vůči životnímu prostředí. Pohled na stavbu či konstrukci z hlediska trvale udržitelné výstavby je velmi důležitý, a pokud ho přestaneme přehlížet, do budoucna bude mít velký přínos. Zkoumá se jaký má dopad výroba, doprava, užívání a likvidace prvku na životní prostředí. Konkrétní atributy jsou svázané energie a svázané emise. Pro obdržení přesnějších údajů slouží studie životního cyklu produktů, která prochází celou životní cestu výrobku a zaznamenává velikost svázaných energií a emisí souvisejícími s jednotlivými životními cykly (Obr. 17).



Obr. 17: Životní cyklus produktu
Zdroj: www.verus-co2.com

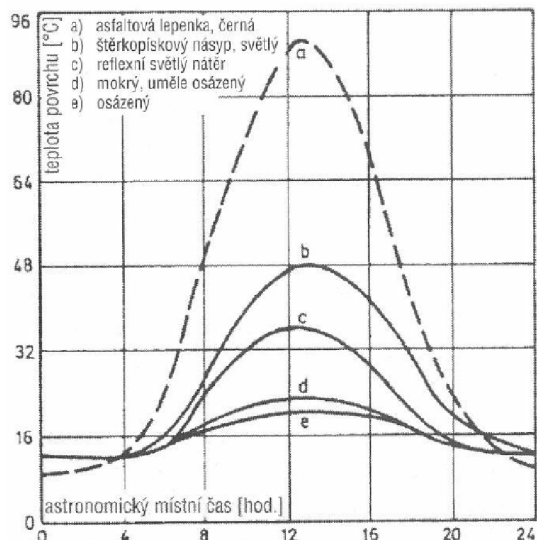
Výstupy studií mají přispět k aplikacím materiálů, nejlépe vyrobených co nejlépe stavbě s dlouhou životností, které vykazují nejnižší hodnoty svázaných energií a emisí.

6.1.1 Posouzení životního cyklu vegetačních střech

Z pohledu udržitelnosti s sebou vegetační střechy nesou řadu benefitů v podobě vyšší životnosti (zvyšují životnost vrstev pod vegetační vrstvou, životnost konstrukce se udává 40 až 50 let, klasická plochá střecha okolo 20-ti let), pohlcování nečistot z ovzduší, retenci vodních srážek, úspor spotřeby energií, snížení prašnosti a tvorbě kyslíku při fotosyntéze. [12] Ve vrstvách konstrukce zelené střechy se však nachází také materiály, na bázi Polypropylenu (PP), nízkohustotního polyethylenu (LDPE) a asfaltu. Pokud tyto materiály nejsou vyráběny z recyklátu, stále se používá ropa. Pro představu na výrobu 1 kg LDPE je potřeba 1 kg ropy u PP je to 0,8 kg na 1 kg ropy. Výroba PP, LDPE konkrétně tvarování materiálu ze suroviny vyžaduje teploty nad 120 °, energetická náročnost výroby je tedy významná. Při zahřívání, lití, vyfukování a chladnutí materiálu dochází také k uvolňování emisí SO₂, NO₂, O₃. Plastové výrobky se aplikují do hydroizolací, filtračních a drenážních vrstev (nopové fólie), veškerých odvodňovacích prvků a šachet. Mezi dalšími prvky na bázi ropy můžeme zmínit hydroizolační souvrství z asfaltových pásů. Potenciál udržitelnosti vrstev pomáhá udržovat substrát, který nejen, že chrání vrstvy ležící pod ním, ale jehož podíl může být tvořen z recyklovatelných částí nebo ryze přírodního materiálu. V případě realizace je důležité zmínit, že se neobejdeme bez těžké mechanizace pro vertikální přesun hmot na střechu (zvedání šterku, izolací a pneumatická doprava substrátu). Výroba a provoz této mechanizace také stojí několik [J] práce a [g] znečištění ovzduší, ale v dnešní době bohudík nemůžeme dělat z lidí otroky a časový harmonogram stavby stlačujeme, jak to jen jde, takže chtít po stavebních dělnících vynesit veškerý materiál na střechu je dnes nereálná představa. Když bychom považovali osoby jako stroje, nízké svázané energie a emise by šly na úkor jejich zdraví, což už převrací správný efekt trvale udržitelné výstavby. Spodním limitem pro snižování svázaných energií a emisí je pak tedy ekonomika a kompromis s lidským komfortem.

6.1.2 Princip vyšší životnosti zelených střech

Vyšší životnost vrstev na vegetační střeše, konkrétně hydroizolace existuje díky přidanému funkčnímu souvrství a vegetační vrstvě, která eliminuje teplotní výkyv ve vrstvách střešního pláště (Obr. 18). Současně zabraňuje styku hydroizolace s povětrností a UV zářením. S výhodou dále užívá zelené barvy svého povrchu, která oproti černému asfaltovému povrchu odrazí část sluneční radiace zpět do atmosféry. U klasické ploché střechy pozorujeme opačný efekt, na hydroizolaci působí vysoký rozdíl povrchových teplot léto – zima v kombinaci s UV zářením, deštěm a průmyslovými odpadními plyny. Povrchové teploty na střeše v letním období (viz. Obr. 18.) [1]



Obr. 18: Teplota střešního povrchu [1]

6.1.3 Studie životního cyklu zelených střech

6.1.4 Návratnost emisí svázaných s produkcí PE a LDPE

Výzkumná studie Fabricia Bianchini na kanadské univerzitě v Kelowna s názvem: How „green“ are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials se zabývala studiem životního cyklu produktů zelené střechy (speciálně se drenážní a hydroizolační souvrství skládalo z materiálů PP a LDPE). Emise vzniklé při produkci se porovnávaly s přínosem vegetace pro městské klima. Studie byla provedena na třech variantách s různými poměry ozelenění střech. Jako prostředí výzkumu bylo zvoleno město Chicago, kde je celkový součet střešních povrchů 16390 [ha]. Skutečná plocha vegetačních střech je v tomto městě 19,8 ha. Avšak ve všech modelových situacích (Tab. 9) brali v úvahu ozelenění všech střešních povrchů města. U první modelové situace počítali poměr intenzivní/extenzivní střechy odpovídající městu Chicago. U druhé modelové situace převládaly extenzivní střechy, v třetí modelové situaci převládali intenzivní střechy. Výsledek studie tvrdí, že emise svázané z produkcí materiálů zakomponovaných ve skladbě (SO_2 , NO_2 , O_3) střecha vyčistí ze vzduchu v horizontu 8 – 32 let v závislosti na typu ozelenění extenzivní/intenzivní a použití

recyklovaných nebo nerecyklovatelných produktů z PP a LDPE do skladeb konstrukce.
[11]

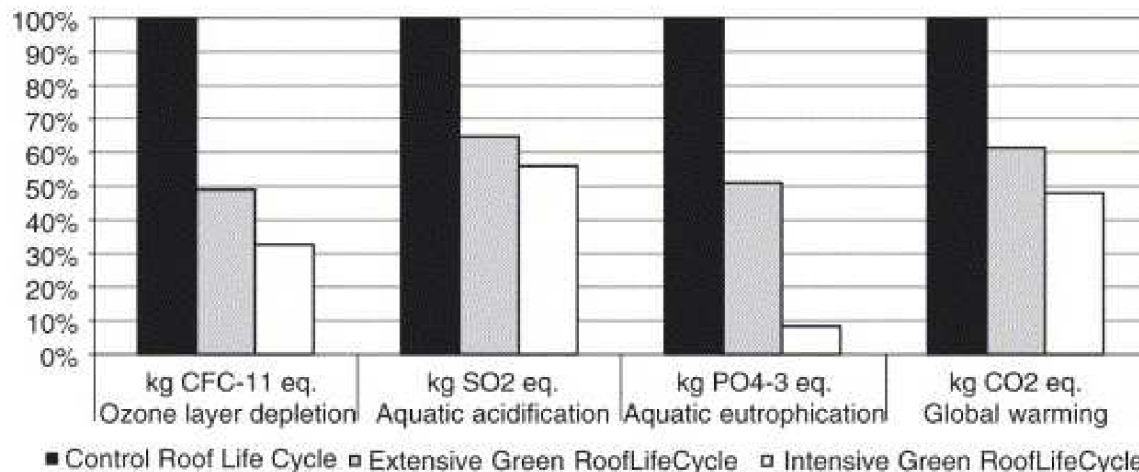
Tab. 9: Modelové situace ozelenění střech [13]

	PODÍL EXTENZIVNÍ STŘECHY	PODÍL INTENZIVNÍ STŘECHY	NÁVRATNOST EMISÍ [počet let] – RECYKLOVANÉ PRODUKTY	NÁVRATNOST EMISÍ [počet let] – NERECYKLOVANÉ PRODUKTY
I. SITUACE – modelová situace města Chicago	33 %	67 %	13	29
II. SITUACE – převládají extenzivní střechy	99,99 %	0,01 %	8	21
III. SITUACE – převládají intenzivní střechy	0,1 %	99,9 %	14	32

V množství vyčištěného vzduchu sice vedly intenzivní střechy, avšak materiálů PP a LDPE v nich bylo víc, což ve výsledku znamenalo výhru extenzivních střech, s menším množstvím zakomponovaného PP a LDPE. Z hlediska trvale udržitelné výstavby je patrné co působilo v této rovnici udržitelnosti nejnepříznivěji a kde jsou příležitosti pro další vývoj materiálů hydroizolací, drenážních, filtračních a hydroakumulačních vrstev vegetačních střech.

6.1.4.1 Návratnost formou snížení svázaných energií s provozem

Výzkum Lisy Kosareo v Pittsburg, PA s názvem *Comparative environmental life cycle assessment of green roofs*, kde se jak je zřejmé z překlada srovnávala klasická plochá střecha se štěrkovým posypem (při 50 t štěrku s objemovou hmotností 1650 kg/m³ nám vychází vrstva tl. 3 cm), se zelenými střechami (tl. substrátu 150 mm a 1200 mm). Z environmentálního pohledu vyšly nejvíce přijatelně zelené střechy, konkrétně intenzivní střecha. Zastřešení s plochou 1115 m² leželo na supermarketu, čemuž odpovídal i model teplotního chování stavby, posouzení spočívalo v komplexním porovnání environmentálních dopadů všech tří střech. Dalším vyšetřovaným jevem bylo uvolňování emisí, výstupem byly celkové počty emisí se zahrnutím emise z vytápění a



Obr. 19 Podíl jednotlivých emisí dle typu střechy [13]

chlazení. Sloupcový graf na obrázku udává zleva potenciál ničení ozónové vrstvy, potenciál okyselování prostředí, potenciál eutrofizace prostředí a potenciál globálního oteplování. V porovnání s referenční plochou střechou zde hrála významnou roli úspora energie na vytápění a chlazení objektu, která se projevila na množství emisí. Z pohledu svázaných energií a emisí se posuzovaly u každé střechy jednotlivé životní cykly. Výsledkem byl počet emisí vzniklých při produkci materiálů, dopravě materiálu, spotřebě uhlí a plynu na vytápění a chlazení objektu, a kvalita a kvantita srážkové vody zadržené střechou. První poznatek výpočtu potvrdil vědomosti o retenci srážkových vod, kdy s rostoucí schopností střechy pojímat vodu klesala přítomnost nežádoucích látek ve vodě (kadmium, olovo, měď, zinek). Střecha se šterkovou vrstvou pojmul 33 %, (Cu 100 g, Zn 25 g) oproti intenzivní s 85 % (Cu 20 g, Zn 6 g). [13]

Volbu okrajových podmínek této studie (použití šterkového násypu u referenční ploché střechy) si vysvětlují tak, že měla navodit u obou střech stejné podmínky zahrnující estetiku a stabilizaci vrstev. Efekt šterkového posypu na celý výsledek tohoto výzkumu je, ale diskutabilní. Zřetelnějším řešením by bylo porovnání klasické ploché střechy bez šterkové vrstvy. Na jedné straně tu stojí svázané emise při těžbě a dopravě šterku na straně druhé prodloužení životnosti hydroizolace, téměř zanedbatelná izolační funkce a lepší retenční vlastnosti. V konečném důsledku, ale použití šterkového násypu nevedlo k nepřesnostem, které by zvrátili celý výsledek. Studie předvedla přednosti vegetační střechy, zejména v celoroční úspoře energií a následně emisí objektu. Příznivě rovněž působila delší životnost hydroizolace a nakonec pohlcování nežádoucích chemických látek substrátem – tento přínos nelze vyvrátit, avšak rozumnějším postupem by bylo umístit pohlcování nežádoucích látek do kontrastu s vlastnostmi hnojiva střechy vegetační střechy, které způsobuje vyšší produkci těchto látek zvláště při skládkování substrátu. [13]

6.1.4.2 Drenážní vrstva z gumového recyklátu

Vývoj řešení technologií a materiálů, s nižším environmentálním dopadem je aktuálně žhavé téma i u vegetačních střech. Vědci z Lleida a Taragona ve Španělsku se ve své studii zabývali možnostmi použít recyklovanou drcenou gumu do drenážní vrstvy u extenzivních střech. Studie se vyhnula běžně používaným výrobkům na bázi PVC, PE, PP, jak bylo výše zmíněno, nepatří mezi příliš eco-friendly materiály. K porovnání se použily přírodní materiály šterk a pucolán, jejichž vytěžení za sebou zanechává environmentální dopad, avšak v menším měřítku než u polymerů (Tab. 10).

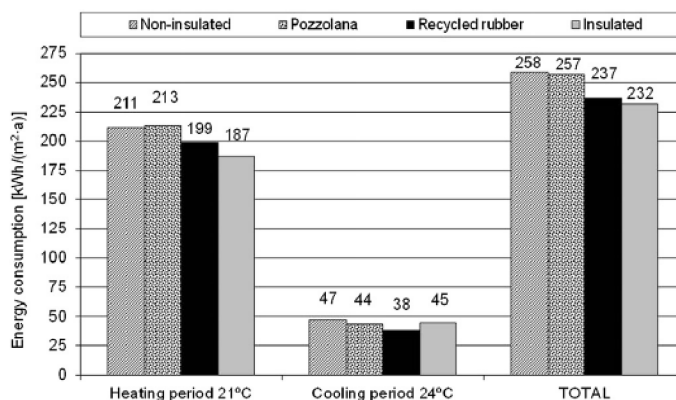
Protože se výroba materiálu rovná recyklaci odpadu (starý pneumatik a ostatní gumový výrobků), příznivě působíme na nižší environmentální dopad. Recyklát z drcené gumy, v podobě násypu může nahrazovat drenážní vrstvu podkladu u silnic či železnic. Jeho dalším zpracováním vznikají výrobky s dobrým tlumením hluku, používají se u dopravních staveb zejména u železnic nebo v podlahách sportovních hal. Z tohoto pohledu se v aplikaci ve stavebních konstrukcích nejedná o premiéru. [20]

Tab. 10: Zadání studie na zjištění environmentálního dopadu drenážní vrstvy z gumového recyklátu [20]

Druhy posuzovaných střech			
1. extenzivní zelená	2. extenzivní zelená	Jednoplášťová plochá zateplená	Jednoplášťová plochá nezateplená
Drenážní vrstva:		PUR 30mm, Lleida	
gumový recyklát 40mm Původ: Lleida Doprava: nákladní auto (48,5km)	pucolán 40mm Původ: Kanárské ostrovy Doprava: loď 2500km+ nákladní auto z přístavu (100km)	Stabilizační vrstva šterku 70mm Původ: Leida, lokální těžba šterku Doprava: (48,5km)	
Substrát 50mm + sukulentní rostliny Původ: Lleida			

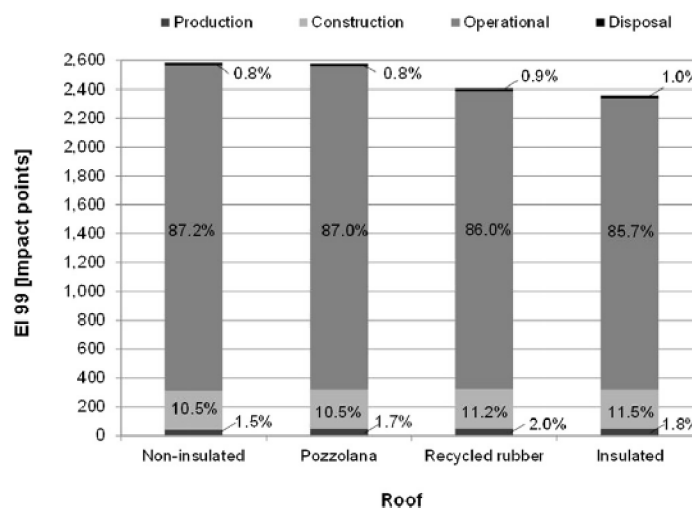
V konstrukci vegetační střechy může drenážní vrstva gumového recyklátu s výhodou nahrazovat sypké materiály nebo nopovou fólii, jednak díky své menší objemové hmotnosti, dobré drenážní schopnosti, dobré izolační funkci a zdravotní nezávadnosti. Ve výzkumu, který se odehrával na čtyřech totožných experimentálních stavbách v klimatických podmínkách středomoří, se porovnávaly 4 typy plochých střech.

Životní cyklus 4 střech porovnával software LCA s nastavenou délkou životnosti objektu 80let. Z výsledků studie vyšlo najevo, že extenzivní zelená střecha č.1 tvořila v letním období největší úsporu



energie při chlazení objektu (Obr. 20). Studie tvrdí, že důvodem je použití drenážní vrstvy s gumového granulátu (do jisté míry to může být efekt vegetační vrstvy – odráží část sluneční radiace). Tepelné chování extenzivní zelené střechy s gumovým recyklátem vykazovalo velkou podobnost s jednoplášťovou plochou zateplenou střechou (3cm PUR), která v totální celoroční spotřebě energie zvítězila s nejnižšími hodnotami. Studie dále uvádí, že zakomponování gumového recyklátu do drenážní vrstvy může směle nahrazovat šterky nebo polymery, protože je v drenážní vrstvě dokáže plnohodnotně nahradit, ale umí propouštět vodu i po skončení životnosti střechy, tudíž stejný materiál můžeme aplikovat do více střech (s tímto faktem studie ve výpočtu enviromentální zátěže nepočítala), čímž přispějeme k úspoře přírodních surovin [21].

Při porovnání nezateplené ploché střechy a extenzivních střechy č.2 ztrácí ozelenění význam, protože hodnoty jsou téměř stejné. Když s tímto vědomím srovnáme (gumový recyklát vs. pucolán) vychází najevo, že gumový granulát má větší vliv na tepelně



izolační vlastnosti než pucolán a přispěl i k tepelně izolační funkci konstrukce. Provozní spotřeba (Obr. 21) se v hodnocení environmentálního dopadu ukázala jako klíčová, logickým faktem, je, že více než ozelenění se na spotřebu tepla projevilo zateplení (opět záleží na materiálu). Výstup studie dle mého názoru naznačuje dosažení nepatrně lepších tepelně-technických a

Obr. 21: Podíl jednotlivých fází na životním cyklu jednotlivých střech [20]







srovnatelných drenážních vlastností gumového recyklátu s tradičními násypovými materiály minerálního původu. Z mého pohledu výsledky neprokázaly přínos extenzivní střechy s nízkou tloušťkou substrátu – 50 mm na tepelně-izolační funkci a následně na svázané emise s provozem (výsledky mohou být částečně zkresleny, protože ostatní funkce př. pohlcování nežádoucích látek z ovzduší nebyly měřeny). Největší páku v působení na zlepšení tepelných vlastností s následnou úsporou energií a tím nižším environmentálním dopadem tvoří stále opatření střechy tepelnou izolací (také záleží na druhu materiálu). V našich podmínkách mírného klimatu toto pravidlo platí obzvláště a je nezbytné, protože venkovní teploty v zimním období jsou nižší a vyžadují v každém případě zateplení tepelnou izolací. Použití střechy z případové studie na našem území by znamenalo enormní spotřeby energií. Znovuvyužití gumového odpadu je z environmentálního pohledu chvály hodné, navíc když jeho aplikaci docílíme i kladených požadavků na stavební konstrukci.

6.1.4.3 Životní cyklus substrátu

Studie *Embedding “substrate” in environmental assessment of green roofs life cycle: evidences from an application to the whole chain in a Mediterranean site* zohlednila význam použitých hnojiv a vliv likvidace střešního substrátu po skončení životnosti střechy. Analyzovaný substrát se nacházel na existující extenzivní střeše lokalizované v italské Sicílii ve Středomoří. Objekt se zelenou střechou o ploše 81,17 m² slouží jako experimentální budova s laboratoří. Zelená extenzivní střecha spočívá na

Tab. 11: Zadání vegetační střechy pro studii zkoumající životní cyklus substrátu [22]

Overview of layers involved in the case study, starting from the structural support to the vegetation (as it is in the reality).

	Roof component	Commercial name of the product used	Materials	Thickness (m)	Sketch of the stratigraphy
Green roofing system	Vegetation	<i>Halimione Portulacoides</i> <i>Rosmarinus officinalis</i> <i>Crithum Maritimum</i>	–	–	
	Growing medium	Agriterram [®] TV5	Lapillus Pumice Zeolithe Peat Compost NPK slow release organic fertilizers ²	0.15	
	Water storage layer	Igropelite [®] T1	Expanded Perlite	0.125	
	Drainage layer	Écodren [®] SD5	Polyethylene terephthalate (PET)	0.005	
	Waterproofing membrane	Solphren [®] H	High Density Polyethylene (HDPE) Polypropylene (PP) Bitumen	0.003	
Existing roof	Structural support	–	Perforated bricks (T profile) with a covering in concrete	0.25	

² NPK slow release organic fertilizer used in the soil is an Osmocote with the following title:16-9-12.

cihlobetonové stropní konstrukci. Území se dále vyznačuje teplem a suchem. Počet degrese days (1 degree day reprezentuje 1° pokles nebo vzestup teploty nad běžnou teplotu, při které není potřeba interiér chladit nebo vytápět) je v dané oblasti 874. Energetická náročnost zde má svou významnost u chlazení budov. Dešťové srážky jsou zde nízké max. 107 mm prosinec a min. 6 mm červenec.

Analyzovaný substrát je složen z části směsí hornin a minerálů vulkanického původu (žula lapidus, pemza, zeolit) z části organické, kterou představuje rašelina, kompost a NPK pomalu rozpustné hnojivo (Tab. 11). Data pro analýzu životního cyklu byla získána od aktérů, kteří jsou přímo zapojeni v dílčích částech životního cyklu substrátu. Jedná se o společnost Perlite Italiana Company, která v Itálii dodává produkty pro zelené střechy a C.R.A. (Centrum výzkumu v zemědělství), jenž poskytl data ohledně vlastností substrátu. V případě, kdy se nepodařilo zjistit přesné hodnoty, bylo využito databáze programu SIMAPRO 7.3. vyvinutým Swiss Centre for Life Cycle Inventories (obsahuje 2500 LCA procesů).

Substrát se posuzoval ve čtyřech fázích jeho životnosti (Tab. 12). Na začátku se jednalo o produkci substrátu zahrnující těžbu prvotních surovin a jejich zpracování, dále pak dopravu na staveniště a zabudování do konstrukce, provozní fázi střechy a fázi po skončení životnosti. Spotřeba energie související s balením substrátu (nutnost obalového materiálu – např. pytle) není v analýze LCA zahrnuta. Funkční jednotkou je 1 m² s dobou životnosti 50 let. Jak už bylo řečeno, životnost vegetačních střech se pohybuje kolem 50-ti let oproti plochým střechám s životností 20 let. Použitým

Tab. 12 Podíl obsahu znečišťujících látek dle fáze životního cyklu vegetační střechy [22]

Characterization results for the case study.

Impact category	Unit	Production phase	Transport to the construction site	Maintenance phase	End of life (including transport)	Total
Abiotic depletion (ADP)	kg Sb eq	0.21	0.12	0.09	0.12	0.54
Acidification (AD)	kg SO ₂ eq	0.08	0.09	0.14	0.08	0.385
Eutrophication (EU)	kg PO ₄ ³⁻ eq	0.015	0.02	0.06	0.03	0.13
Global warming potential (GWP 100)	kg CO ₂ eq	21.1	16.5	24.4	17.6	79.6
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC 11 eq	3.95E-6	3.32E-6	1.42E-6	2.73E-6	1.14E-5
Human toxicity (HT)	kg 1.4 DB eq	4.82	4.21	11.6	11.6	32.3
Fresh water aquatic ecotoxicity (FWAET)	kg 1.4 DB eq	1.15	1.56	3.32	15.3	21.3
Marine aquatic ecotoxicity (MAET)	kg 1.4 DB eq	3.36E3	3.3E3	8.54E3	1.39E4	2.91E4
Terrestrial ecotoxicity (TET)	kg 1.4 DB eq	0.06	0.035	0.11	0.02	0.22
Photochemical oxidation (POX)	kg C ₂ H ₄ eq	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01

materiálem ve skladbách střechy byl v hydroakumulační vrstvě expandovaný perlit a PE, v drenážní vrstvě aplikace HDPE a PP, hydroizolaci tvořila asfaltová živičná hmota. U PP a HDPE se nevažovalo s použitím recyklovaného materiálu (Tab. 11).

Na vzdálenosti mezi místem produkce a stavenišť 1050km byla materiál převážen prostřednictvím nákladního 16 t vozu. Tento fakt nepůsobí příznivě z environmentálního hlediska, protože se nejedná o lokálně dostupný materiál. S tím souvisí i záměr celé studie, nesnažit se již při vstupech jít na hodnoty nízkého environmentálního dopadu a přiblížit se realitě. Motivací pro volbu vzdáleného místa produkce byla tedy ekonomická výhodnost. Doprava substrátu na střechu se uvažovala pomocí dělníků, čili svázané energie s touto fází byly nízké.

Součástí provozní fáze střechy je zalévání rostlin a hnojení. Po dobu prvního roku se na závlahu uvažuje 0,1 m³/m² střechy, v následujících letech se závlaha

Tab. 13: Hlavní zdroje znečištění vzduchu a vody [22]

Global Warming Potential (GWP 100)	kg CO ₂ eq	79.6	Carbon dioxide, fossil Dinitrogen monoxide Methane, fossil	(62.4 kg CO ₂ eq) (13.9 kg CO ₂ eq) (2.69 kg CO ₂ eq)	Air emission
Human toxicity	kg 1.4 DBeq	32.3	Thallium Chromium VI PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons Vanadium, ion Arsenic Nickel	(4.73 kg 1.4 DBeq) (3.98 kg 1.4 DBeq) (3.37 kg 1.4 DBeq) (2.82 kg 1.4 DBeq) (2.47 kg 1.4 DBeq) (2.08 kg 1.4 DBeq)	Water emission Air emission Air emission Water emission Air emission Air emission
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1.4 DBeq	21.3	Vanadium, ion Nickel, ion	(8.01 kg 1.4 DBeq) (7.94 kg 1.4 DBeq)	Water emission

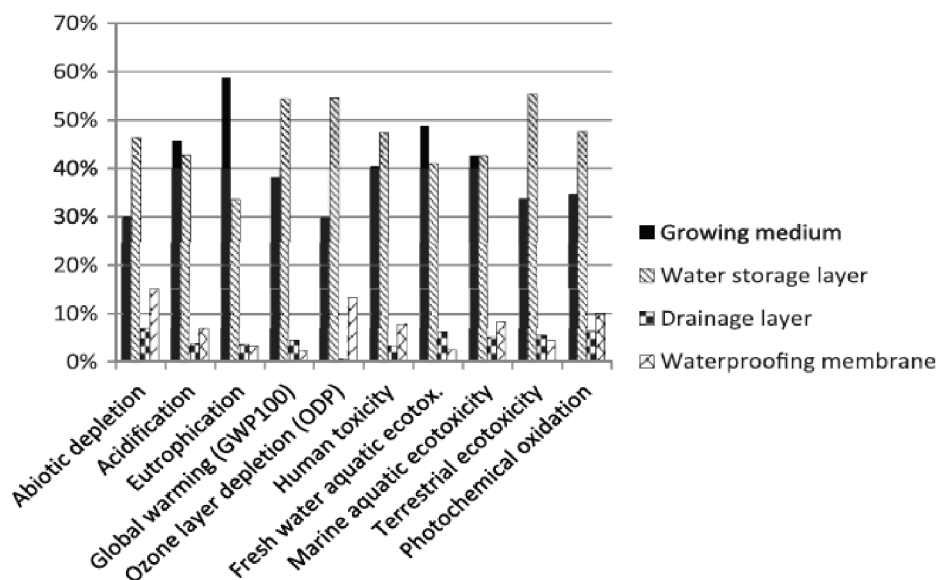
neočekává. Interval hnojení střechy probíhá každý rok dvakrát a to zjara a na začátku zimy, po celou životnost střechy se pak musí zabezpečit dostatečná tloušťka substrátu jeho případným přidáním, v této studii se, ale neuvažuje, protože ke ztrátě substrátu vlivem silného větru nebude docházet (střecha je po obvodu zabezpečena).

Používaným hnojivem v substrátu je pomalu rozpustné NPK s poměrem (16-9-12). Podklady pro hodnocení LCA tohoto hnojiva byly namodelovány pomocí užití LCA podkladů 3 podobných hnojiv z databáze programu SIMAPRO. Zastoupení makronutrientů: dusičnan amonný (45,71 g/m²), trojitý superfosfát nebo-li dihydrogenfosforečnan vápenatý (18,75 g/m²) a síran draselný (24 g/m²). Celkové množství použitého hnojiva za celou dobu existence činí 5 kg. Použití hnojiva do substrátu vede k emisím NO, NO₂ a N₂O, které by měly být rovněž v LCA zahrnuty stejně tak jako množství NO_x pohlceného z ovzduší vegetací, tyto skutečnosti však studie nezahrnuje. V provozní fázi substrátu se dále nevyklučuje vyluhovatelnost kovů do odtékající vody, sukulentní rostliny mohou tyto látky do sebe akumulovat (Tab. 12, Tab. 13).

Po ukončení životnosti se zlikvidovaly tyto materiály spálením ve spalovně se zpětným získáním energie, asfaltová lepenka a expandovaný perlit byly odvezeny na

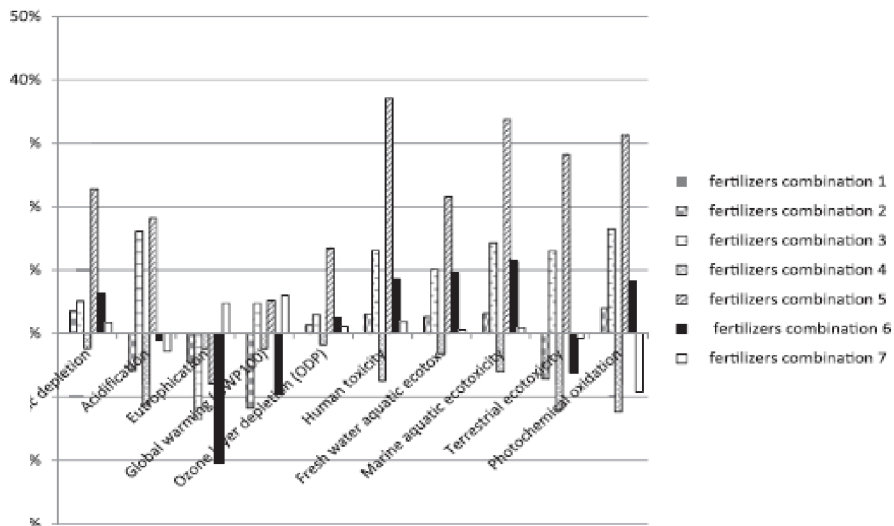
skládku. Při zacházení se substrátem po době skončení životnosti střechy, studie uvažovala uložení na skládku, protože v oblasti nakládání s použitým substrátem v té době jiná praxe neexistovala. Použitím substrátu do zemědělství by dle studie obsažená hnojiva mohla narušit složení půdy v přírodě. Hmotnost substrátu určeného k uložení na skládku byla 94 kg/m², převoz na skládku vzdálenou 30 km zajištěn použitím 16 t nákladního auta. Na skládce, kde už se vyskytuje substrát bez rostlin, je kupodivu vyluhovatelnost kovů zanedbána.

Výstupem studie je environmentální dopad celé střechy, dále pak srovnání environmentálních dopadů jednotlivých vrstev (Obr. 22). Dle studie ve spotřebě zdrojů a množství svázaných emisí s výrobou, dopravou, provozem a likvidací střechy nad ostatními vrstvami vykazuje vyšší čísla překvapivě použitý substrát.



Obr. 22: Podíl funkčních vrstev střechy na celkové emisí [22]

Studie rovněž přinesla zajímavé srovnání environmentálních dopadů jednotlivých druhů NPK hnojiv s hnojivem 1, které bylo součástí substrátu v této studii. Nejnižší environmentální dopad prokázalo hnojivo druhu 2 – tj. síran amonný + trojitý superfosfát (obsah P = 21 %) + síran draselný. Nejhorší environmentální dopad vykazuje hnojivo 5 – dusičnan vápenatý + jednoduchý superfosfát + síran draselný. [22]



Obr. 23: Proměnlivost vlivu na environmentální dopad dle druhu hnojiva [22]

V této studii se neodráží přínos vegetačních střech jak z hlediska úspor energií při provozu objektu nebo pohlcování znečišťujících látek, může proto vyvolávat o životním cyklu zelených střech negativní dojem. Prvotní volba materiálů do skladeb není řešena s akcentem na jejich environmentální dopad, ale na ekonomickou výhodnost, což může vést k reálnějšímu popisu chování dnešních zelených střech stejně tak jako reálné dosažení nižšího environmentálního dopadu.

Cílem studie bylo reflektování hnojiva NPK v substrátu, mnoho studií ho ignoruje a může se u zelených střech zdát jako úskalí. Dobře prosperující flóra je, ale podmíněna jeho přítomností. Z hlediska trvale udržitelné výstavby vykazuje vyšší hodnoty environmentální zátěže díky odpařováním plynů a vyluhováním kovů do odtokové vody. Nejvyšší hodnoty znečištění odtokové vody jsou vykazovány při skládkování po likvidaci střechy. Provozní fáze vykazuje nižší vyluhovatelnost, studie uvádí, že některé rostliny mohou pohlcovat těžké kovy (Tab. 12). Existují však i opačné názory, které ukazují dopad vyluhovatelnosti těžkých kovů na kvalitu odtokové vody.

Zajímavým poznatkem bylo, že environmentální dopad se dá také ovlivnit volbou vhodného typu NPK hnojiva, která může dle Obr. 23 působit velmi příznivě. Současně je také dobré vzít na vědomí, že při výběru hnojiva se primárně klade důraz na požadavky pěstovaného rostlinstva a tak je dobré po konzultaci s odborníkem najít kompromis i z hlediska počtu intervalů hnojení.

Dopad na lidskou ekotoxicitu odpařováním škodlivých plynů těžkých kovů z hnojiva do vzduchu (V, Ni ad.) je nejvíce patrný v provozní a koncové části životního

cyklu (Tab. 12). Vysoké hodnoty byly zjištěny také u potenciálu globálního oteplování, dle mého názoru jsou ovlivněny energeticky náročnou výrobou PP a HDPE a dále dopravou materiálu (produkce – staveniště, stavba – skládka) na dlouho vzdálenost 1500 km, rovněž studie nezahrnuje svázané energie související s dopravou materiálu ze země na střechu, v tomto případě se nejedná o vysoký objekt, ale tam kde zelené střechy mají nejvyšší efekt – vysoké stavby, je nutné s touto hodnotou počítat. Tato studie mě obeznámila s potenciálními riziky použití NPK hnojiv. Přehledně však neuvedla celkovou zátěž, kterou jsem očekával hlavně v provozním cyklu podle počtu denostupňů v dané oblasti (velká potřeba tepla na chlazení). Při zmínění se o neblahých vlivech substrátu bych očekával jako protiváhu alespoň uvést úsporu energie přinesenou zelenou střechou. Z dostupných informací usuzuji, že pokládat substrát s hnojivem za argument v tvrzení, že v konečném důsledku zelené střechy nejsou „zelené“ není úplně opodstatněn. Větší riziko představují dle mého názoru materiály z PP a HDPE ve funkčních vrstvách. Účinek hnojiva na zelené střeše se dle mě výrazně neliší od účinku hnojiva při obdělávání zahrady či pole. Tím však nechci negativní účinek hnojiva přehlížet, naopak zde vidím příležitost ve vývoji pěstebních metod šetrnějších k přírodě a to nejen u zelených střech (př. bio hnojivo) a výzkumu recyklace substrátu po skončení doby životnosti (neexistuje jiná praxe než skládkování). Z hlediska množství uvolňování chemických látek do okolního prostředí, může být východiskem, použití méně náročných rostlin ve vegetační vrstvě (nevyžadující hnojení) a menší tloušťka substrátu. Opatřením proti vyluhování těžkých kovů do odtokové vody v provozní fázi, může být také odchyt (akumulace) přebytečné odtékající vody pro příští zálivku. Dle mého úsudku se při použití 5 kg hnojiva na celou střechu za celou dobu její existence nejvíce jako závratná dávka, zajímavým srovnáním by bylo srovnat tuto studii se studií dopadu hnojení polí. Výsledky studie dále nemůžeme aplikovat na všechny vegetační vrstvy střech, jelikož př. sukulentní rostliny a divoké trávy není třeba hnojit vůbec.

6.1.4.4 Celkové zhodnocení poznatků

Na základě těchto studií můžeme tvrdit, že z environmentálního pohledu má vegetační střecha zřejmě přednosti před klasickou plochou střechou, přínos se zvětšuje s tloušťkou vegetační vrstvy. Bereme však také na vědomí, že větší tloušťka substrátu znamená vyšší nároky na statickou únosnost navržených konstrukcí a vlivem zřízení intenzivní střechy o velké hmotnosti dojde k zesílení nosných konstrukcí a tím pádem k většímu množství zabudovaného materiálu.

Současně je důležité brát na zřetel použité hnojivo a jeho environmentální dopad znečišťováním ovzduší a vod, spojený s provozní fází a likvidací. Stále neexistuje environmentálně efektivní řešení pro nakládání se substrátem po skončení doby životnosti střechy – substrát se odváží na skládku. viz. 6.1.2.5. I přes to všechno si nemyslím, že by kvůli dopadu hnojiv, mělo být používání zelených střech vytlačeno, protože jejich pozitiva převažují.

Zvětšující se tloušťku vegetační vrstvy reflektuje vyšší úspora energií v důsledku, které se objekt stává menším znečišťovatelem ovzduší. Tepelně-technický efekt zelené střechy není prvoplánový, ale je příjemným bonusem, protože vegetační vrstvu nezahrnujeme do výpočtu součinitele tepelného prostupu tepla, následně porovnávaného s normovou hodnotou. V porovnání průmyslově vyráběného substrátu s minerální vlnou, dopadá lépe minerální vlna, která dosahuje nižšího součinitele tepelné vodivosti a nižších svázaných emisí CO₂ (Obr. 24). Tato skutečnost nás utvrzuje v tom, že při snaze uspořit energii a za předpokladu použití průmyslově vyráběného a chemicky hnojeného substrátu je efektivnější a ekologičtější použít tepelně-izolační materiál typu minerální vlny. Úspora energie zelenou střechou by tedy neměla být v prosazování zelených střech hlavním argumentem. [35]

Tab. 14: Porovnání tepelné vodivosti, hmotnosti a svázané potřeby energie při produkci substrátu a minerální vlny (se zanedbáním tepelně akumulčních vlastností a evapotranspirace)
Zdroj: Vojtěch Hrachovina

	SUBSTRÁT (VLHKÝ)	MINERÁLNÍ VLNA
λ [W/m.K]	0,70	0,04
tl. vrstvy [m]	2,74	0,16
U [W/m ² .K] = U_n	0,24	0,24
V [m ³ /m ² vrstvy]	2,74	0,16
ρ [kg/m ³]	950,00	27,00
m [kg/m²]	2603,00	4,32
svázaná spotřeba energie [MJ/kg]	0,10	17,50
svázaná spotřeba energie [MJ/m² vrstvy]	260,30	75,60
svázané emise CO ₂ s produkcí [kgCO ₂ /kg]	0,00	1,20
svázané emise CO ₂ s produkcí [kgCO ₂ /m ² vrstvy]	0,00	5,18
<i>budova 10 x 15m, A = 150m², U = 0,26[W/m².K]</i>		
svázaná spotřeba energie [MJ]	39045,00	11340,00
m [t]	390,45	0,65

Významným podílem přispívá zvyšující se tloušťka vegetační vrstvy k prodloužení životnosti střešní konstrukce. Studie spojené s aplikací recyklovaného PP a LDPE do hydroizolací, drenážních a filtračních vrstev dále prokazují, že recyklované polymerní materiály sice snižují množství emisí při produkci a tím zkracují dobu návratnosti emisí vegetační střechou, k jejich recyklaci, ale vede další technologický proces, při kterém se produkují emise škodlivých látek do ovzduší. Oproti tomu při použití gumového recyklátu (varianta drenážní vrstvy) v první fázi recyklace (př. výroba sypké hmoty gumového recyklátu z pneumatiky) vyžaduje menší technologický proces a v dalším životním cyklu stačí pak jen přemístit materiál ze staré střechy na novou. [11][13][21][22]

Dále by mělo být jasné, že zelené střechy mají význam hlavně u novostaveb, či u kompletních rekonstrukcí. Prvním důvodem, je že střecha s sebou přináší dodatečné přetížení a druhým důvodem je z hlediska ekonomiky či udržitelného chování logický nesmysl provádět zelenou střechu na místě kde je zřízena ještě stále fungující střecha.

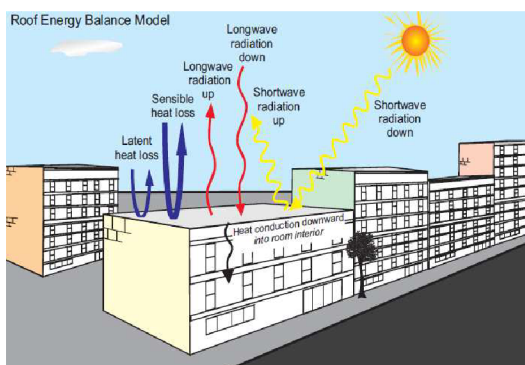
6.2 Technika prostředí

Předmětem této kapitoly bude zvážení přínosu vegetační střechy k zlepšení mikroklimatu budov a následně na klima urbánního prostoru (snížení přehřívání velkoměsta a znečištění vzduchu). Zelené střechy byly navrženy za účelem úspory energie v mnoha zemích s rozdílnými klimatickými podmínkami. Avšak jejich potenciál při chlazení a vytápění objektu se liší v závislosti na charakteru klimatu a konstrukčních parametřů.

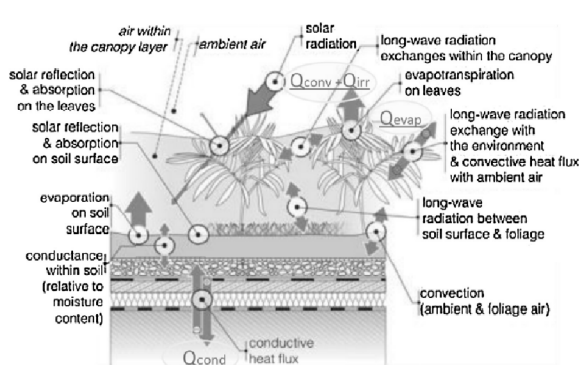
6.2.1 Mikroklima budov

6.2.1.1 Znárodnění tepelného chování zelené střechy

Na střešní plášť působí radiace o krátké vlnové délce, kterou máme na mysli sluneční záření. Část sluneční radiace je zpátky odražena do atmosféry vlivem reflektivity povrchů zelené střechy, zeletň je tmavé barvy, tudíž pohlcuje většinu sluneční záření, pohlcená energie a intenzita světla zajišťují evapotranspiraci. Dalším zářením, které se vyskytuje je infračervené záření o dlouhých vlnových délkách, delších než viditelné světlo, jehož část je pohlcena a část rovněž vyzářena zpátky do atmosféry.[27]



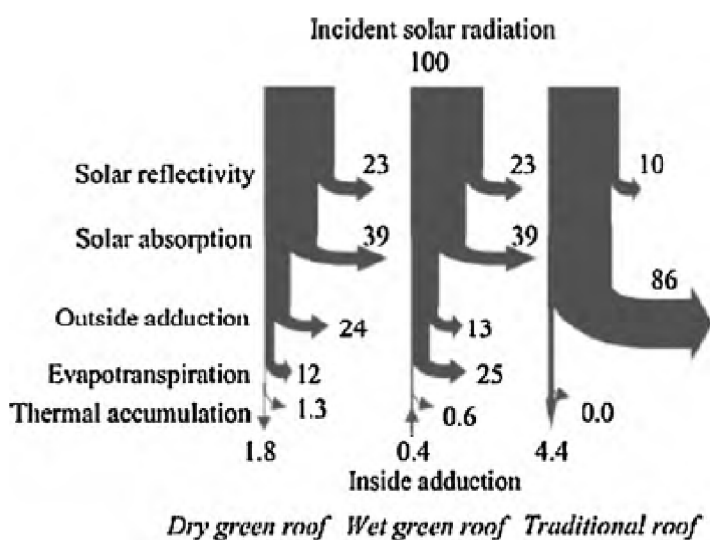
Obr. 24: Tepelné toky na zelené střeše [30]



Obr. 25: Distribuce tepelné energie na zelené střeše

Obr. 25: Hlavní činitelé (popis ve směru hodinových ručiček)

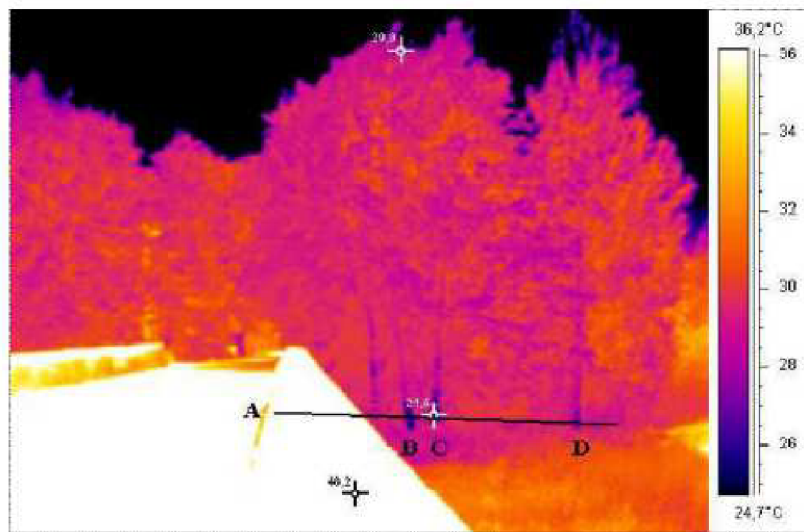
Vzduch ve střešním prostoru; okolní vzduch; sluneční záření; infračervené záření (dlouhé vlnové délky) ve střešním prostoru; evapotranspirace (odpařování vody) z listů; odražené infračervené záření z listů do okolního prostředí a konvektivní tepelný tok list - okolní vzduch; infračervené záření mezi povrchem substrátu a olistěním; konvekce mezi okolí a vzduchovou vrstvou mezi vegetací; tepelný tok střešní konstrukcí vedením z exteriéru do interiéru; vedení tepla v substrátu – v závislosti na obsahu vlhkosti; evaporace (odpařování vody) z povrchu substrátu, odraz slunečního záření a absorpce na povrchu substrátu; odraz slunečního záření a absorpce na povrchu listů. [25]



Obr. 26: Distribuce sluneční radiace dle typu střechy
Zdroj: Lazzarin R.M. Experimental measurements and numeric modelling of a green roof

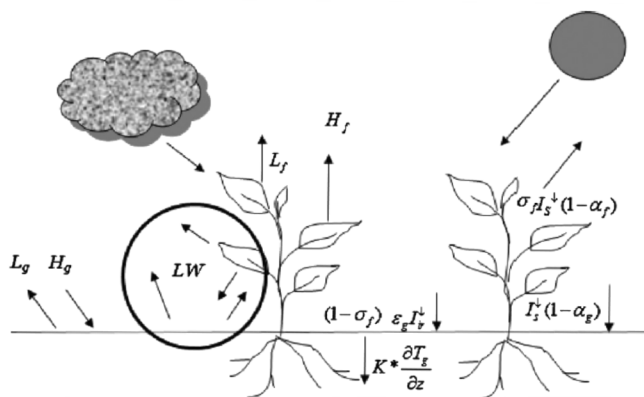
6.2.1.2 Evapotranspirace

Podstatou je odpařování vody z povrchu listů rostliny, které při fázové přeměně vody na páru, za vzniku latentního (výparného tepla) vzduchu odebírá energii a ochlazuje ho. Vegetace mívá zpravidla sice tmavý odstín povrchu listů, tzn. tmavá (= pohlcuje záření), který by teoreticky měl oteplovat okolní prostředí, ale zeleň nemůžeme soudit jen podle barvy. Jejím nejvýznamnějším benefitem je evapotranspirace, která přebíjí efekt tmavé barvy zeleně a okolní prostředí paradoxně ochlazuje. (viz obrázek povrchové teploty mostu a stromů) Atributy ovlivňující velikost evapotranspirace - vývinu latentního tepla viz. níže 6.2.1.3 [27]



Obr. 27: Vliv evapotranspirace na povrchovou teplotu [27]

6.2.1.3 Model tepelného chování vegetační vrstvy



Obr. 28: Schéma pro výpočet tepelných roků zelenou střechou [26]

Výpočetní model tepelného chování zelené střechy (vegetační vrstvy) byl vytvořen v energetickém simulačním programu EnergyPro a úspěšně ověřen při porovnání s naměřenými hodnotami na skutečných zelených střechách po celé USA. Tepelně-technické parametry vegetační vrstvy

střechy definují tepelný tok vegetací F_f a tepelný tok substrátem F_g , které v sobě zahrnují i latentní tepla vznikající při změně skupenství vody na páru při evapotranspiraci (odpařování vody z jejich povrchů).

F_f ... ČISTÝ TEPELNÝ TOK ZELENÍ [W.m⁻²]

$$F_f = \sigma_f \left[I_s^{\downarrow} (1 - \alpha_f) + \varepsilon_f I_{ir}^{\downarrow} - \varepsilon_f \sigma T_f^4 \right] + \frac{\sigma_f \varepsilon_f \varepsilon_g \sigma}{\varepsilon_1} (T_g^4 - T_f^4) + H_f + L_f$$

F_g ... ČISTÝ TEPELNÝ TOK SUBSTRÁTEM [W.m⁻²]

$$F_g = (1 - \sigma_f) \left[I_s^{\downarrow} (1 - \alpha_g) + \varepsilon_g I_{ir}^{\downarrow} - \varepsilon_g \sigma T_g^4 \right] - \frac{\sigma_f \varepsilon_f \varepsilon_g \sigma}{\varepsilon_1} (T_g^4 - T_f^4) + H_g + L_g + K \frac{\partial T_g}{\partial z}$$

σ_f ... poměr plochy zastíněné vegetací a celkové plochy střechy [-]

I_s ... celkové příchozí sluneční záření [W.m⁻²]

α_g ... absorpce slunečního záření substrátem [-]

α_f ... absorpce slunečního záření zelení [-]

ε_f ... emisivita zeleně

ε_g ... emisivita povrchu střechy – substrát

ε_1 ... $\varepsilon_g + \varepsilon_f - \varepsilon_f \varepsilon_g$

I_{ir} ... celkové příchozí infračervené dlouhovlnné záření [W.m⁻²]

σ ... Stephan-Bolzmanna konstanta [W.m⁻².K⁻⁴]

T_f ... teplota povrchu zeleně [K]

T_g ... teplota povrchu substrátu [K]

K ... tepelná vodivost substrátu [W.m⁻¹]

$\frac{\delta T_g}{\delta z}$... derivace průběhu teploty substrátu přes hloubku

H_f ... CITELNÉ TEPLO – ZELENĚ

$$H_f = (1.1 \cdot LAI \rho_{af} c_{p-air} C_f W_{af}) (T_{af} - T_f)$$

Popisuje přenos tepla vzduchem ve střešním prostoru. Když ochladíme vzduch, odebíráme vzduchu množství tepla nazývaného citelné teplo – lze pocítit oproti latentnímu teplu.

LAI ... předpokládaná plocha listů na 1 m² (leaf area index) [m²/m²]

ρ_{af} ... hustota vzduchu při teplotě povrchu zeleně [kg/m³]

C_{pa} ... měrná tepelná kapacita vzduchu při konstantním tlaku [$1005,6 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$]

C_f ... měrná tepelná kapacita listů zeleně [$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$]

w_{af} ... rychlost větru ve střešním prostoru [m.s^{-1}]

T_{af} ... teplota vzduchu ve vzduchové vrstvě střešního prostoru [K]

L_f ... LATENTNÍ TEPLŮ – ZELENĚ [J/kg]

$$L_f = l_f \cdot LAI \cdot \rho_{af} C_f w_{af} r'' (q_{af} - q_{f,sat})$$

Množství energie požadované k fázové přeměně vody na páru (překonání vazebných sil mezi molekulami - odtrhávání molekul vody od sebe) povrch, z kterého se voda odpaří je následně ochlazen. Latentní teplo je podmínkou k vzniku procesu evapotranspirace - odparu vody z listů rostliny. Při kondenzaci vody se latentní teplo vrací nazpět jako možný tepelný zisk.

Voda je v rostlině přepravována za účelem jejího dýchání, kdy se otevírají a zavírají průduchy (mezibuněčné otvory na svršku povrchu listu rostliny).

l_f ... latentní teplo vzniklé odpařováním vody z povrchu zeleně [J.kg^{-1}], jehož hodnota je nepřímo úměrná velikosti povrchové teploty zeleně T_f

$$l_f = 1.91846 \times 10^6 \left[\frac{T_f}{T_f - 33.91} \right]^2$$

r'' ... odpor vůči rozptylu vody odpařováním z rostliny do atmosféry

$$r_s = \frac{r_{s,\min}}{LAI} f_1 f_2 f_3 \quad \begin{aligned} \frac{1}{f_1} &= \min \left[1, \frac{0.004 I_s^{\downarrow} + 0.005}{0.81 \times (0.004 I_s^{\downarrow} + 1)} \right] \\ \frac{1}{f_2} &= \begin{cases} 0 & \text{when } \theta_r > \bar{\theta} \\ \frac{\bar{\theta} - \theta_r}{\theta_{\max} - \theta_r} & \text{when } \theta_r \leq \bar{\theta} \leq \theta_{\max} \end{cases} \\ \frac{1}{f_3} &= \exp[-g_d(e_{f,sat} - e_a)] \end{aligned}$$

Rezistence závisí na intenzitě světla, vlhkosti substrátu a rozdílu tlaku nasycených vodních par mezi vnitřním prostředím listu a okolním vzduchem.

$r_{s,\min}$... minimální rezistence průduchů rostliny, vyjadřuje rychlost transportu vlhkosti rostlinou [s/m], čím nižší je $r_{s,\min}$ rostliny, tím vyšší je její schopnost evapotranspirace. $r_{s,\min}$ zpravidla bývá v rozsahu 50 – 300 [s/m].

Vliv okolností je vyjádřen faktory f_1, f_2, f_3 .

f_1 ... vliv intenzity světla I_s (celkové příchodí sluneční záření)

f_2 ... vliv vlhkosti

θ_r - reziduální vlhkost (stav vlhkosti v substrátu, kdy rostlina začíná uvadat), často 0,01 [m³/m³]

θ_{max} – maximální obsah vlhkosti v substrátu (max. udržitelný stav vlhkosti v substrátu, kdy ještě nedojde k tekoucímu stavu) 0,3 až 0,6 [m³/m³]

$\theta_{stř}$ – průměrný obsah vlhkosti v kořenové části substrátu

$f_3...$ vliv rozdílu nasyceného tlaku vodních par v listech zeleně a v okolním vzduchu

g_d – udává se jen pro stromy (jinak = 0)

$e_{f,sat}$ – tlak nasycených vodních par uvnitř listu

e_a – tlak nasycených vodních par ve vzduchu

$r_a...$ odpor proti transportu vlhkosti rostlinou vlivem aerodynamiky okolního

$$r_a = \frac{1}{c_f W_{af}} \text{ vzduchu}$$

c_f – vliv hrubosti terénu

w_{af} – vliv rychlosti větru

faktor vlhkosti povrchu, nebo-li výsledný odpor proti difuzi vody je poměrem r_a

$$r'' = \frac{r_a}{r_a + r_s} \text{ k celkovému odporu,}$$

pokud je aerodynamický odpor malý, r'' se přibližuje 0 (povrch listů zůstává suchý v důsledku bez problémů probíhajícího odpařování)

Směšovací poměr [hmotnost vodní páry / hmotnost suchého plynu] s vyšší teplotou, může vzduch obsahovat větší množství vlhkosti.

$q_{f,sat}$ – směšovací poměr nasyceného vzduchu ve stavu 100% nasycení vodní parou ve střešním prostoru při teplotě, které dosahuje povrch zeleně

q_{af} – směšovací poměr vzduchu ve střešním prostoru [g/kg]

$$q_{af} = \frac{[(1 - \sigma_f)q_a + \sigma_f(0.3q_a + 0.6q_{f,sat}r'' + 0.1q_{g,sat}M_g)]}{1 - \sigma_f[0.6(1 - r'') + 0.1(1 - M_g)]}$$

$q_{g,sat}$ – směšovací poměr vzduchu ve střešním prostoru při teplotě, které dosahuje povrch substrátu [g/kg]

M_g ... poměr objemové vlhkosti ku pórovitosti substrátu <0;1>

H_g ... CITELNÉ TEPLLO – SUBSTRÁT

$$H_g = (\rho_{ag} c_{p-air} C_{hg} w_{af} (T_{af} - T_g))$$

Q_{ag} ... hustota vzduchu s teplotou střešního povrchu - substrátu

C_{pa} ... měrná tepelná kapacita vzduchu při konstantním tlaku [1005,6 J.kg⁻¹.K⁻¹]

C_{hg} ... koeficient citelného tepla procházejícího substrátem, vliv aerodynamiky (závisí na drsnosti povrchu zeleně a povrchu substrátu)

w_{af} ... rychlost větru ve střešním prostoru [m.s⁻¹]

T_{af} ... teplota vzduchu ve vzduchové vrstvě střešního prostoru [K]

T_g ... teplota povrchu substrátu [K]

L_g ... LATENTNÍ TEPLŮ – SUBSTRÁT [J/kg]

$$L_g = C_{eg} l_g w_{af} \rho_{ag} (q_{af} - q_g)$$

Vzniká odpařováním vody z povrchu substrátu. Hodnota je závislá na rozdílu směšovacího poměru vzduchu ve střešním prostoru a směšovacího poměru vzduchu na povrchu substrátu a rychlosti větru.

C_{eg} ... koeficient přenosu latentního tepla, vliv drsnosti povrchu zeleně na rozhraní s atmosférou a drsnosti povrchu substrátu

L_g ... latentní teplo vznikající při teplotě povrchu substrátu (vzorec viz. l_f)

w_{af} ... rychlost větru ve střešním prostoru [m.s⁻¹]

Q_{ag} ... hustota vzduchu s teplotou střešního povrchu – substrátu

q_{af} ... směšovací poměr vzduchu ve střešním prostoru [g/kg] (vzorec viz. latentní teplo zeleně)

q_g ... směšovací poměr vzduchové vrstvy na povrchu substrátu

[26]

6.2.1.4 Tepelné ztráty/zisky zelené střechy

Byla nalezena korelace mezi dosaženými tepelnými ztrátami/zisky a odrůdou vegetace viz.6.2.1.7. Zelené střechy mohou snížit tepelný tok střechou v létě až o 70-90 % a v zimě 10-30 %. Zelená střecha odráží 20 až 30 % sluneční radiace a absorbuje 60 % skrze fotosyntézu, zatímco pod 20% tepla je předáno do rostoucího média – substrátu. [25]

Mocnost substrátu snižuje tepelné ztráty/zisky objektu přestupu tepla konvekcí a tím tvoří úsporu energií na vytápění v zimě či chlazení v létě. Vegetační vrstva se však

nezapočítává do výpočtu tepelné prostupnosti, protože je ve styku s vodou. Tepelně-technické posouzení souvrství vegetační střechy viz. návrh tepelně izolační vrstvy v bodě 4.1.2. Mimo substrátu ($\lambda_{\text{vlhký substrát}} = 0,7 \text{ W/m.K}$) má příznivý účinek i rostlinný polštář, který tvoří pomyslnou uzavřenou vzduchovou mezeru. Čím je rostlinný polštář hustší, tím je nižší tepelný tok jím procházející, jeho λ nižší (snižuje součinitel přestupu tepla, $\lambda_{\text{hustý rostlinný polštář}} = 0,6 \text{ W/m.K}$), protože zamezuje proudění větru, který jinak ochlazuje povrchovou vrstvu viz. 6.2.1.3 Vliv rychlosti větru na tepelné toky.

Tepelný zisk přináší ranní rosa, která vzniká v době s největším teplotním gradientem (ráno - nejnižší venkovní teplota) při kondenzaci 1 g vody se uvolňuje téměř 530 kalorií latentního tepla viz. 6.2.1.3., které však může pokračovat zpátky v koloběhu výpar – kondenzace. Menším příspěvkem tepla je pak dýchání kořenů, které zabraňuje promrzání zeminy.

V zimním období vzniká pozoruhodný tepelný zisk, je uváděno až 50% zmenšení tepelné ztráty prostupem tepla. Dochází tomu při fázové přeměně 1 g vody na led. Tímto způsobem se uvolní asi 80 kalorií latentního tepla (látka se ochlazuje, uvolňuje teplo do střechy) bez změny teploty venkovního vzduchu, tím pádem si zemina i přes teplotní gradient exteriér $-20 \text{ }^\circ\text{C}$, interiér $20 \text{ }^\circ\text{C}$ dlouho uchovává teplotu kolem 0 ° . Když se led mění zpátky ve vodu, teplota látky roste a většinu potřebného tepla 80 kalorií/gram vody odnímá teplo ve větší míře okolnímu vzduchu, z tohoto důvodu vykazuje střešní konstrukce v důsledku latentního akumulčního účinku při celkové bilanci tepelných toků konstrukce střechy tepelný zisk. [1]

6.2.1.5 Snížení teplotních výkyvů pod střechou a v jejím okolí

Ozeleněním střechy zvětšujeme tepelnou kapacitu celé střešní konstrukce ve srovnání s klasickým typem střechy. Vegetační vrstva pak tedy tvoří masu s delší tepelnou setrvačností a následně přispívá k tepelné stabilitě prostor pod střechou (pokud se bavíme o intenzivní střeše). Akumulační vlastnost vegetační vrstvy přispívá rovněž k úsporám energií v případech s delším přerušením zátopu a v letních měsících snižuje tepelnou zátěž při chlazení kdy, velká intenzita sluneční radiace v poledních hodinách nedokáže nárazově ohřát substrát, který je ještě částečně vychlazen z nočních hodin. [1]

6.2.1.6 Vliv přidané tepelné izolace a druhu vegetační vrstvy na chladicí efekt zelené střechy

6.2.1.6.1 Popis studie

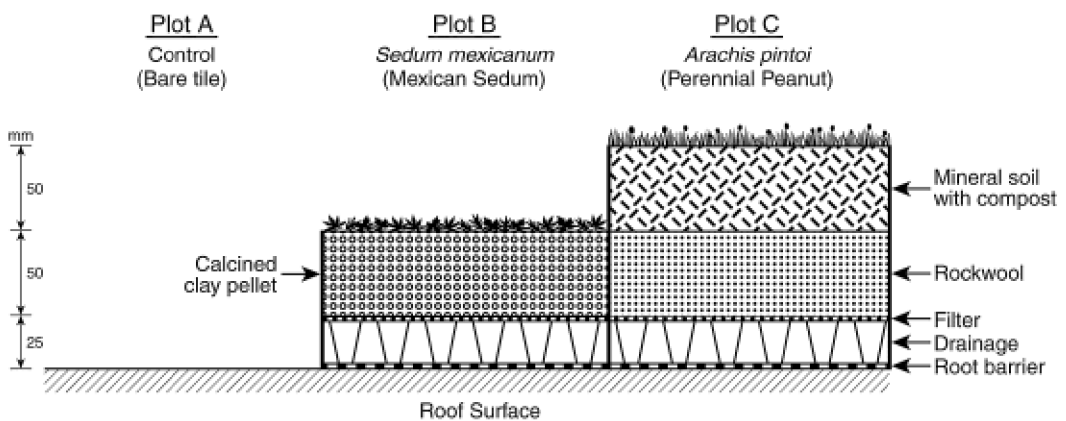
Studie *Building thermal-insulation effect on ambient and indoor thermal performance of green roofs* prokázala účinek zelených střech na chlazení okolního vzduchu. Dále byl pozorován efekt použití tepelné izolace z pěnového polystyrenu tl. 40 mm na teplotní odezvu, kdy se porovnávaly tepelné zisky a teplotních rozdílů v reálně naměřeném svislém teplotním profilu v bodech u klasické ploché střechy a dvou typů vegetačních střech. Teplotní čidla byla osazena z exteriérové strany ve vzduchu 15 cm a 150 cm nad povrchem, dále na povrchu, na jednotlivých vrstvách střechy a ze strany interiéru na stropě a v místnosti 150 cm nad podlahou.

Poloha studie byla ve vlhkém subtropickém klimu čínského města Hong Kong s převažujícím monzunovým klimu. Horké a deštivé období trvá pět měsíců v roce s maximální letní teplotou 33 °C. Celkový počet srážek 2300 mm/m² ročně. Většina srážek spadne ve vlhkém období od května do září. Povrchy urbánního prostoru jsou pokryty nepropustnými vrstvami, což vede k vysoké akumulaci tepla a omezení evapotranspirace. Nutnost chlazení je tedy značná. Dějiště experimentu je lokalizováno na jednom z domů na veřejném sídlišti v Tseung Kwan O new town of Hong Kong. V nedávno postaveném domě byly postaveny dvě střechy ve dvou výškových blocích. Jedno křídlo z bloků s apartmány bylo vyhrazeno pro tuto studii. Šest domácích jednotek bylo necháno prázdných, aby byly poskytnuty standardní experimentální podmínky. Blok 1 – střešní izolační vrstvy byly provedeny se zanedbanou tepelnou izolací. Blok 2 – byla instalována tepelně izolační vrstva 40 mm PPS. Oba bloky obdržely vodotěsnicí vrstvu položenou na potěru umístěném na železobetonové nosné konstrukci. Všechny apartmány mají hlavní okna orientována na jihovýchod. Snaha navodit stejné okrajové podmínky vede zejména k vytvoření stejného počtu průsvitných ploch. Z toho důvodu bylo provedeno zakrytí a zastínění přebytečných malých bočních oken v apartmánech sádkartonovými deskami s tepelnou izolací. Dveře a okna byly v průběhu experimentu zavřeny. Studie pak tedy pracuje s třemi téměř totožnými experimentálními modely. Střecha každého bloku s plochou 85 m² je rozdělena na tři části, pod nimiž leží tři bytové jednotky. Část A bude sloužit jako výchozí a nechá se holá (bez ozelenění). Části B a C byly přiděleny dvěma typům zelených střech. Druhá střecha je osázená mexickými sukulenty (rozchodník mexický), na třetí střeše roste

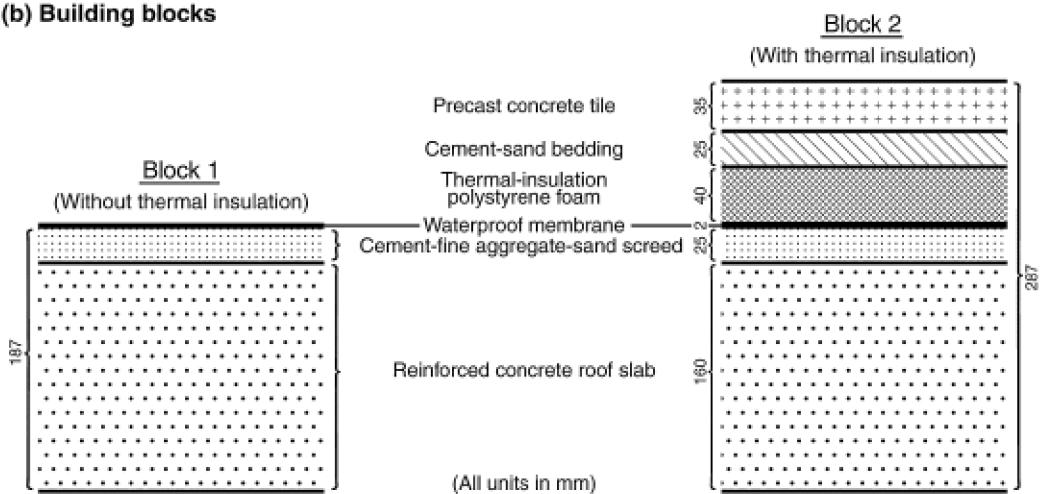
podzemnice olejná (Obr. 29). Napříč vrstvami až ke stropní konstrukci se nachází čidla měřící teploty. Vlastní systém zelené střechy byl přizpůsoben podmínkám FLL.

Experiment zkoumá efekt pasivního chlazení na dvou typech střech s dobrým tepelně izolačním účinkem a špatným tepelně izolačním účinkem. U každé ze skupin pak posuzujeme chování dle druhu vegetace.

(a) Experimental plots



(b) Building blocks



Obr. 29: Skladby použité ve studii [24]

6.2.1.6.2 Pasivní chlazení zelených střech

Zelená střecha přináší pasivní chlazení jak vzduchu okolního prostoru nad ní tak vnitřních prostorů nacházející se pod její konstrukcí. Ochlazený vzduch na střeše

budovy se pak pomocí citelného tepla rozšiřuje do prostor přiléhajících a do prostor nižší úrovně (př. výšková úroveň ulice) a ovlivňuje tak jejich klima. Chladicí efekt působící směrem shora dolů může být přisuzován k několikanásobnému odnímání tepla zelenou střechou, odpařování bere teplejšímu vzduchu kolem energii (latentní teplo) a tím ho ochlazuje, dále překážce kladené zelenou střechou (vzduch musí proudit kolem). Velikost chladicího efektu pak udává rozptyl vlastností systémů vegetačních střech.

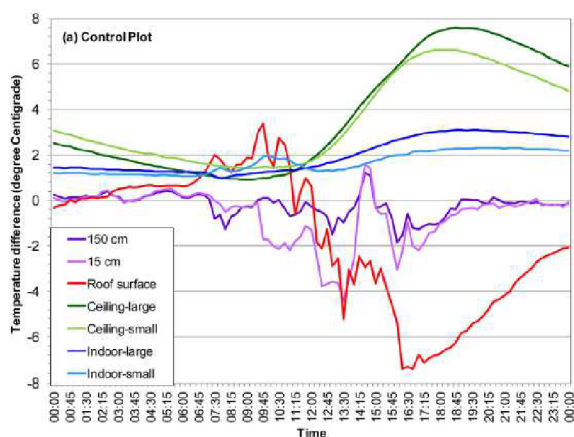
Velké množství tepla absorbovaného zelenou střechou, pochází ze sluneční radiace. Vrstvy skladby (zejména substrát) zelené střechy zamezují přístupu slunečního záření a použití tepelné izolace vede ke zpomalení průchodu tepla konstrukcí od exponovaného povrchu střechy k povrchu nosné konstrukce.

Částečně má dobrý účinek biomasa vegetační vrstvy v horní části a drenážní vrstva s dostatečně prostornou vrstvou vzduchu, která rovněž přispívá k tepelně-izolačnímu efektu. Vegetační vrstva může mít větší reflektivitu než běžná „holá“ konstrukce což redukuje množství absorbovaného slunečního záření. Vegetace může mít rovněž větší emisivitu [vyzařování tělesa/vyzařování dokonale černého tělesa] než konvenční materiály tvořící povrch střech, což usnadňuje vyzařování dlouhých vln sálavého chlazení.

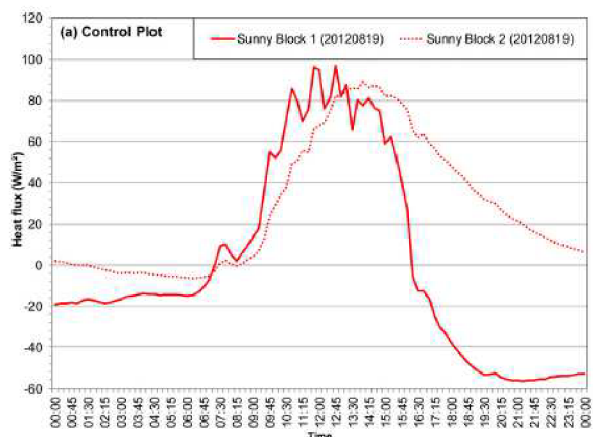
6.2.1.6.3 Demonstrace vlivu tepelné izolace a pasivního chlazení na tepelnou odezvu

Teplotní rozdíly (nezateplená střecha – zateplená střecha) a tepelné zisky (nezateplená střecha – Block 1 a zateplená střecha 40 mm EPS - Block 2) znázorňují vliv tepelné izolace.

Neozeleněná střecha



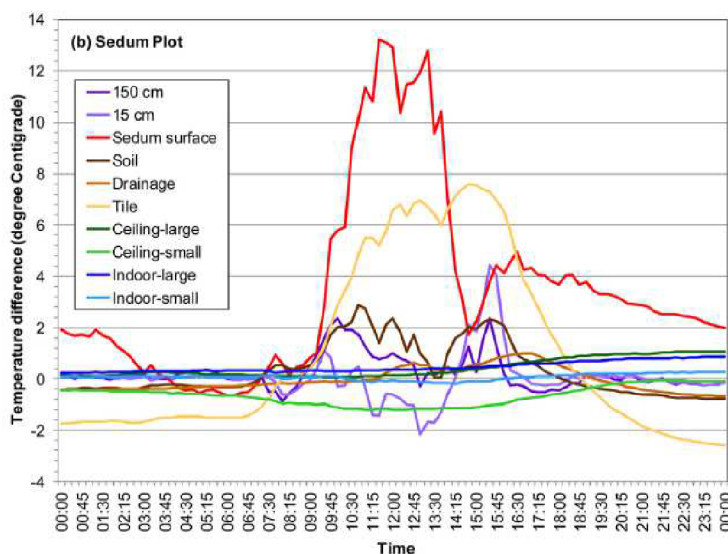
Obr. 30: Rozdíl naměřených teplot klasické střechy (nezateplená – zateplená) [24]



Obr. 31: Tepelný tok klasickou střechou 1 – nezateplená 2 – zateplená [24]

Před svítáním jsou teplotní rozdíly mezi nezateplenou a zateplenou střechou relativně malé a začínají se rozšiřovat před polednem, při pozdním odpoledni je rozdíl teplot největší. Mnohem značnější rozdíly teplot se vyskytují na střešním povrchu z exteriéru, před polednem má vyšší teplotu povrch nezateplené střechy, po poledni a v podvečer povrch zateplené střechy (teplu je skrze tepelnou izolaci bráněno pro vstupovat do interiéru). V 18:30 se dosahuje extrémního rozdílu 7,6 °C a nejvyšší teploty na povrchu stropu nezateplené střechy (Obr. 30, Obr. 31).

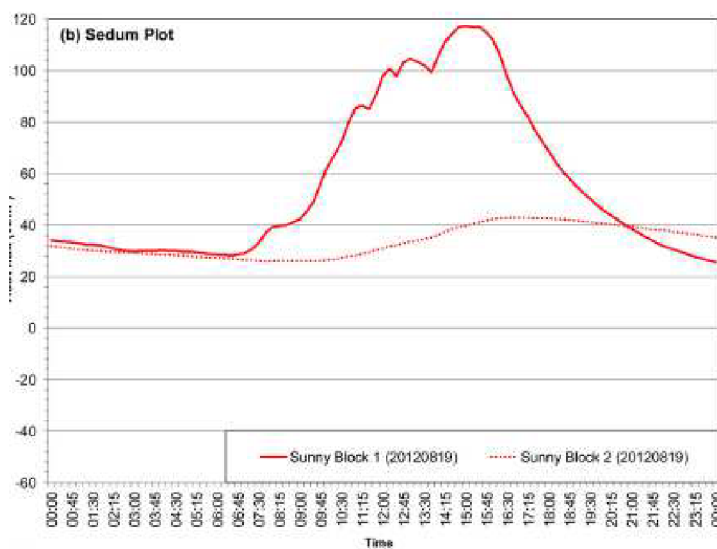
Střecha s rozchodníkem mexickým



Obr. 32: Rozdíl naměřených teplot zelené střechy s rozchodníkem mexickým (nezateplená – zateplená) [24]



Obr. 33: Ukázka z měření teplot – zelená střecha s rozchodníkem mexickým [24]

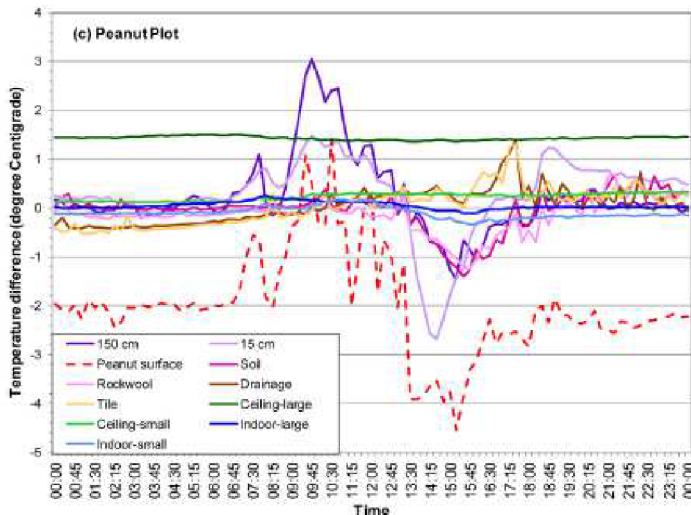


Obr. 34: Tepelný tok u zelené střechy s rozchodníkem mexickým
1 – nezateplená 2 – zateplená [24]

Největší teplotní diference přicházejí v denní době. Konkrétně na povrchu střechy v 11:30. Kdy povrch na nezateplené střeše je o 13.2 °C vyšší než na zateplené. Na teploty okolního prostoru zateplení nemá podstatný vliv. Do 18:00 je také vyšší teplota v substrátu u nezateplené střechy, v maximální hodnotě je

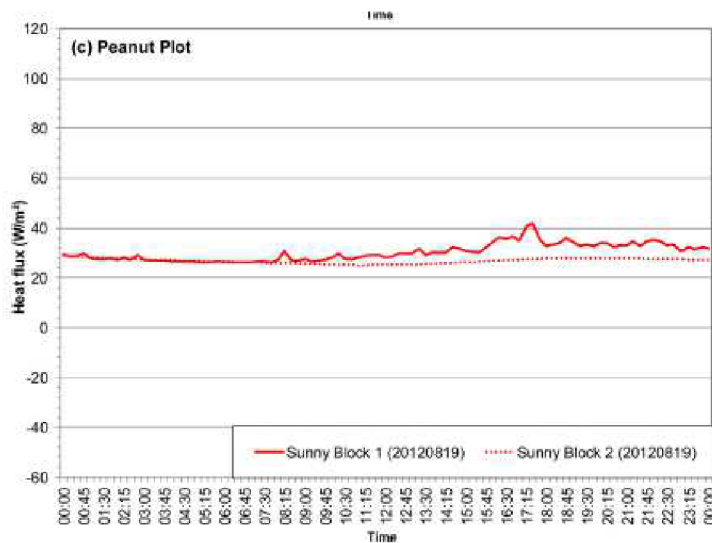
o 2,9 °C vyšší než u zateplené střechy. Sukulentní rostliny vykazují méně efektivní evapotranspiraci při nižších vlhkostech. Tile rozumíme čidlo na spodku skladby zelené střechy pod hydroizolací.

Střecha s podzemnicí olejnou



Obr. 36: Ukázka z měření teplot – zelená střecha s podzemnicí olejnou [24]

Obr. 35: Rozdíl naměřených teplot zelené střechy s podzemnicí olejnou (nezateplená – zateplená) [24]



Obr. 37: Vliv pasivního chlazení podzemnice olejné na hodnotu tepelných toků střechou 1 – nezateplená 2 – zateplená [24]

Rozdíly teplot u tohoto typu ozelenění se pohybují v rozsahu +3° až -4,5 °C. Nejvýraznějšími teplotními výkyvy jsou teplota okolního vzduchu ve výšce 150cm nad povrchem střechy u nezateplené střechy, která je kolem 9:00, kdy je tento bod o 3 °C teplejší než u zateplené

střechy a povrch střechy – podzemnice olejné v 15:00, kdy je jeho hodnota na zateplené střeše o 4,6 ° vyšší než na nezateplené střeše. Přidaná tepelná izolace u tohoto druhu vegetační vrstvy působí k celodennímu snížení teploty na interiérovém stropu o necelých 1,4 °C. V porovnání s ostatními druhy střech tato střecha vykazuje nejnižší teplotní diference. Vegetační vrstva zde hraje významnou roli při pasivním chlazením, což je dáno zrychlenou evapotranspirací podzemnice olejné při C3

fotosyntéze. Atak efekt přidané tepelné izolace v této skladbě není tak významný jako u dalších střech.

6.2.1.6.4 *Shrnutí*

Neizolovaná a neozeleněná střecha připouští během dne vnik tepelného toku do vnitřního prostoru. Avšak usnadňuje efektivní noční únik tepla, při prostupu tepla z vnitřního prostředí ven střechou. Tento typ střechy demonstruje oboustrannou výměnu tepla s reflektováním obratu teplotního gradientu (den-noc) v jednodenním cyklu.

Zaizolovaná střecha neozeleněná (holý povrch) spouští rozšířený prostup tepla v úseku od rána do poledne k dopravě tepla do vnitřního prostoru. Tlustší střešní deska nabízí větší masu k ukládání tepla sloužícího k účelu chladícího efektu a pomáhá udržet pozitivní teplotní gradient $[(t_e - t_i)/d]$ po celý den k formování noční tepelné bariéry, která snižuje noční tepelný tok směrem nahoru - tepelnou ztrátu v noci.

Zelená střecha se sukulenty umožňuje chladící efekt pro teplý okolní vzduch i vnitřní prostředí. Na neizolované střeše je značné množství tepla předáváno do vnitřního prostoru skrze rozšířenou dobu tepelného vniku tepla, v důsledku které jsou zhoršeny oba tepelné vniky jak denní tak i noční. Na neizolované střeše se sukulenty to udržuje strmý pozitivní teplotní gradient ($t_e > t_i$) v průběhu dne a v noci vegetace tvoří odpor vůči nočnímu úniku tepla z interiéru. Na dobře zaizolované střeše sukulenty tvoří doplňkovou tepelnou izolaci k zesílení tepelně-izolačního efektu, následně tvoří i spolupůsobící dvojitou tepelnou bariéru, která eliminuje přehřívání střechy v denní době a tvoří odpor úniku tepla směrem z interiéru v noci.

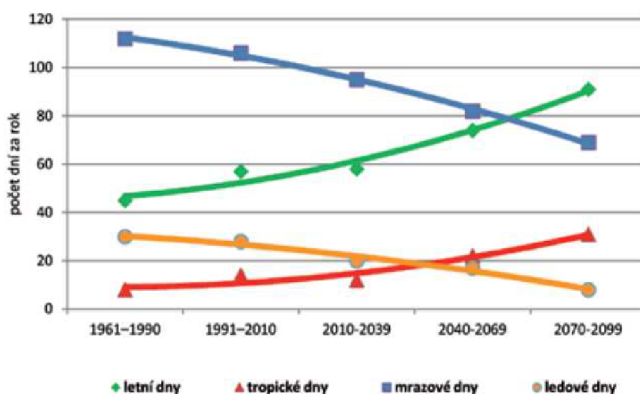
Mnohem komplexněji působí vegetační střecha s podzemnicí olejnou. Větší tloušťka substrátu a zeleně vytváří chladící efekt k okolnímu prostředí a interiéru. Vegetační střecha s větší mocností substrátu a vegetací generující doplňkovou tepelnou izolaci k zesílení tepelně-izolačního účinku obálky budovy tvoří spolupůsobící dvojitou tepelnou bariéru. Efektivní pasivní chlazení poskytuje relativně vysoká evapotranspirační vlastnost (odpařování vody ze substrátu + vegetace). Denní tepelný vnik je tlumený, tento fakt je přisuzován evapotranspiračnímu chlazení, v nočním čase je prostup tepla zhoršován vegetační střechou jako u předchozích typů. Dva zdatné chladící procesy evapotranspirace a akumulární vlastnost substrátu společně smazávají podstatné rozdíly mezi nezaizolovanou a dobře zaizolovanou střechou a ukazují při

chlazení v letních dnech podobnou teplotní odezvu. U zaizolované střechy je oproti neizolované zřejmá malá výhoda ve snížení prostupujícího tepla do interiéru.

Hypotéza, že neizolovaná budova může využívat výhod pasivního chlazení zelené střechy, nesmí být přijata universálně pro všechny vegetační střechy. Účelem této studie byly extenzivní zelené střechy s polohou v horkém tropickém letním počasí. Efektivní pasivní chlazení může být dosaženo u vegetačních střech s komplexnější vegetační vrstvou (rostliny s C3 fotosyntézou, hustší pokrytí zelení) a větší mocností substrátu. Dle studie může mít tento typ vegetačních střech zřejmý přínos v pasivním chlazení také u nezateplených střech. K dosažení optimálního efektu pasivního chlazení se však doporučuje používat zateplenou zelenou střechu s hustším porostem a větší mocností substrátu. Ověřená mocnost substrátu pro vytvoření efektivní tepelné bariéry je 10 cm. [24]

6.2.1.6.5 Zhodnocení studie

Studie potvrdila účinek vegetačních střech coby pasivního chladiče na ochlazování teploty okolního prostředí v horkých letních dnech. Výsledky se mohou vztahovat také na léto v poměrech mírného klimatického pásma (ČR), kdy se s časem stále zvětšuje počet tropických dnů. Uplatnění pasivního chlazení vegetační střechy v ČR se zvětší se rostoucím počtem denostupňů potřebných na chlazení.



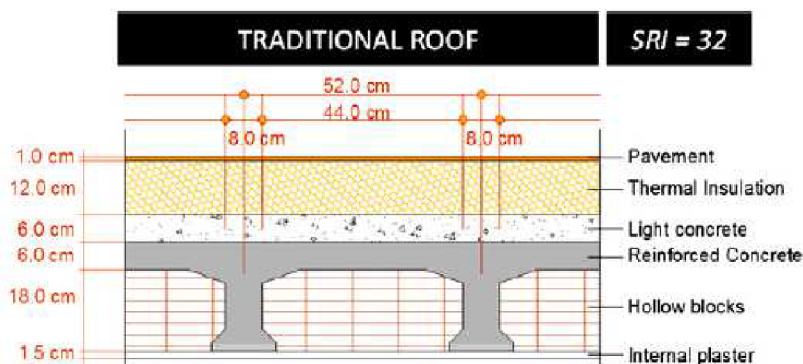
Obr. 38: Předpokládaný vývoj počasí v následujících dekadách
Zdroj: www.pro-energy.cz

Efekt padajícího chladného vzduchu shora ze střechy do ulice by mohl při letních dnech rovněž příznivě působit ke snížení teplotního gradientu u tepelného zisku stěnou (tzn. další příspěvek k nižší energetické náročnosti obálky při chlazení). Účinek ovšem závisí na výšce atiky a proudění vzduchu. Nejúčinnějším pasivním chlazením jsou takové střechy, které mají větší mocnost než 10 cm a hustý porost vegetace s vysokou schopností evapotranspirace. Tepelná izolace je v našich poměrech nezbytnou součástí skladby vegetační střechy s ohledem na tepelně technické chování střechy a celé konstrukce v zimním období.

Z globálního pohledu je ideální realizovat vegetační střechy s pasivním chlazením v místech s vysokou teplotou venkovního vzduchu (subtropická a tropická pásma). Použití tepelné izolace je vhodné i v těchto oblastech s celoročně převažujícími tepelnými zisky, kdy např.: v tropickém klimatu může optimalizovat tepelné chování extenzivní vegetační střechy s nízkou mocností substrátu a se sukulentní vegetací. Při použití vyšší tloušťky substrátu jak 10cm a hustého porostu s vegetací disponující velkou schopností odpařování vody, tepelná izolace nemá zdaleka takovou významnost jako u předchozí extenzivní zelené střechy se sukulentní vegetací.

6.2.1.7 Energetická efektivita zelených střech v evropských podmínkách

Studie Green roofs in European climates. Are effective solutions for the energy savings in air-conditioning? porovnává efekt zelených střech dle druhu použité vegetace na spotřebu tepla při chlazení a vytápění v různých částech Evropy. Konkrétně Tenerife na Kanárských ostrovech, Sevilla, Řím, Amsterdam, Londýn a Oslo.



Obr. 39: Referenční střecha pro porovnání vegetačních střech v různých evropských klimatických poměrech [29]

Tab. 15: Vlastnosti vegetace použité ve studii [29]

Typologie vegetace						
Výška substrátu 200mm	jednotka	rozchodník, krátký	rozchodník, dlouhý	trávník	krátká tráva kloub. stonky	dlouhá tráva kloub. stonky
Výška rostlin	[m]	0,1	0,3	0,18	0,1	0,4
LAI	[m ² listů/m ²]	0,8	3	2	2,5	5
Odráživost povrchu listu	[-]	0,22	0,22	0,4	0,3	0,3
Emisivita povrchu listu	[-]	0,95				
Min. rezistence průduchů rostliny (při transportu vlhkosti)	[s/m]	300	300	80	120	120

Efektivita použití zelené střechy na hodnotu potřeby tepla pro vytápění, souvisí s polohou objektu. Jižní města Tenerife, Sevilla a Řím vykazují menší počet denostupňů v otopné sezóně, tudíž výraznější efekt přichází v letní „chladící“ sezóně. Zástupci severských měst Amsterdam, Londýn a Oslo dosahují pozoruhodné úspory ve spotřebě tepla na vytápění, prostřednictvím zelené střechy osázené rozchodníky delší výšky. Rozchodníky jsou pro chladnější oblasti vhodné z toho důvodu, že nedosahují velké hodnoty evapotranspirace, která vlivem latentního tepla při změně skupenství vody na vodní páru vytváří tepelnou ztrátu, dalším důvodem může být nižší odrazivost povrchu rostlin, která v zimě v chladných oblastech zajišťuje potřebný tepelný zisk. Tolik vyzdvihoaná evapotranspirace v letním období, může v zimě působit opačným efektem.

Onež převezmeme výsledky studie a budeme je aplikovat na ostatní objekty nebo do končin ČR, musíme vzít v úvahu, že vstupem do této studie je plochá střecha se součinitelem prostupu tepla $U=[0,377 \text{ W/m}^2\text{K}]$, jak víme tak tato hodnota nevyhovuje

Tab. 16: Porovnání střech na spotřebu energie při vytápění objektu v příslušných klimatických podmínkách [29]

VTÁPĚNÍ	počet denostupňů DST	referenční střecha [kWh/m ² .rok]	rozchodník krátký [kWh/m ² .rok]	rozchodník dlouhý [kWh/m ² .rok]	trávník [kWh/m ² .rok]	krátká tráva, kloub. stonky [kWh/m ² .rok]	dlouhá tráva, kloub. stonky [kWh/m ² .rok]	
Tenerife	59	0	0	0	0	0	0	
Sevilla	916	1,7	1,2	1,5	1,5	1,5	1,8	
Rome	1444	7,6	6,3	6,6	6,7	6,7	7,2	
Amsterdam	2971	44,3	41,5	40,7	41	41,1	41,8	
London	2866	37,7	34,7	34,6	34,9	35	35,7	
Oslo	4171	110,5	104,4	104,1	104,5	104,6	105	
ÚSPORA PŘI VTÁPĚNÍ [kWh/m ² .rok] v porovnání s referenční střechou							max. úspora objektu [MWh.rok]	A _{objektu} [m ²]
VTÁPĚNÍ	rozchodník krátký	rozchodník dlouhý	trávník	krátká tráva, kloub. stonky	dlouhá tráva, kloub. stonky	966		
Tenerife	0	0	0	0	0	0,00		
Sevilla	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	-0,1	0,49	
Rome	1,3	1	0,9	0,9	0,9	0,4	1,28	
Amsterdam	2,8	3,6	3,3	3,2	3,2	2,5	3,55	
London	3	3,1	2,8	2,7	2,7	2	3,06	
Oslo	6,1	6,4	6	5,9	5,9	5,5	6,31	

normové hodnotě (ČSN 73 0540 – 2:2011 Tepelná ochrana budov, Část 2). Která požaduje hodnotu součinitele prostupu tepla $U_{REQ} = 0,24 \text{ W.m}^2.\text{K}^{-1}$ (střecha plochá a šikmá se sklonem do 45 °). Tento fakt může působit ve studii zkresení ve velikosti spotřeby tepla (referenční střecha se skladbou vyhovující ČSN s přidáním 70 mm PPS by dosahovala necelé 2/3 spotřeby tepla). Rozdíl spotřeb mezi referenční střechou a ostatními střechami by tak byl ve stejném poměru, ale s výrazně nižší hodnotou. Pak můžeme tvrdit, že kvalita zateplení střešní konstrukce snižuje energetickou efektivitu

zelené střechy. Dále je důležité zmínit, že se jedná o jednopodlažní objekt a podíl plochy střešní konstrukce na celé obálce objektu, je extrémní. Váha ztráty tepla střechou na celkové ztrátě závisí dle vzorce $Q = U \cdot A \cdot (t_i - t_e)$ na U a A ostatních konstrukcí obálky objektu, rozdíl teplot budeme pro zjednodušení uvažovat konstantní. Jinak bude vypadat podíl množství tepla uspořené střešní konstrukcí na 60-ti podlažním mrakodrapu (množství uspořené tepla na m^2 střechy však zůstane konstantní), tzn. účinek U každé střechy (i zelené) na celkovou energetickou náročnost budovy se liší dle tvaru budovy a velikosti U jednotlivých konstrukcí.

Amsterdam s počtem denostupňů na vytápění podobný území ČR a dle studie zajišťuje úsporu tepla na vytápění při $A = 986 m^2$ v rozsahu 2,47 MWh/rok (výsadba dlouhé trávy s kloubovitými stonky) až 3,55 MWh/rok (výsadba rozchodníků výšky 30 cm). Výška substrátu. V ještě chladnějších podmínkách norského Oslo se dá ozeleněním střechy rozchodníky výšky 30 cm získat úspora 6,31 MWh/rok.

Tab. 17: Porovnání střech na spotřebu energie při chlazení objektu v příslušných klimatických podmínkách [29]

CHLAZENÍ	počet denostupňů DST	referenční střecha [kWh/m ² .rok]	rozchodník krátký [kWh/m ² .rok]	rozchodník dlouhý [kWh/m ² .rok]	trávník [kWh/m ² .rok]	krátká tráva, kloub. stonky [kWh/m ² .rok]	dlouhá tráva, kloub. stonky [kWh/m ² .rok]	
Tenerife	1166	106,4	105,2	98	99,4	98,1	94,9	
Sevilla	1063	78	78,7	72,5	72,6	72,2	69,4	
Rome	649	70,8	70,7	66,9	67,6	67	65	
Amsterdam	61	24,8	24,8	23,6	23,9	23,6	22,7	
London	32	25	25,2	23,3	23,7	23,6	22,5	
Oslo	33	20,9	21,2	19,5	19,7	19,7	18,7	
ÚSPORA PŘI CHLAZENÍ [kWh/m ² .rok] v porovnání s referenční střechou							max. úspora objektu [MWh.rok]	A _{objektu} [m ²] 986
CHLAZENÍ	rozchodník krátký	rozchodník dlouhý	trávník	krátká tráva, kloub. stonky	dlouhá tráva, kloub. stonky			
Tenerife	1,2	8,4	7	8,3	11,5	11,34		
Sevilla	-0,7	5,5	5,4	5,8	8,6	8,48		
Rome	0,1	3,9	3,2	3,8	5,8	5,72		
Amsterdam	0	1,2	0,9	1,2	2,1	2,07		
London	-0,2	1,7	1,3	1,4	2,5	2,47		
Oslo	-0,3	1,4	1,2	1,2	2,2	2,17		

Počet chladících denostupňů roste s polohou objektu na jih, tento trend následuje i velikost úspory energie při chlazení formou ozelenění střešní konstrukce. Pozitivní vlastnosti vegetační střechy při horkém letním klimatu prokázala řada studií, tato studie ovšem zašla do podrobnějších souvislostí a ukázala rozdíly uspořené energie v závislosti na použitém druhu vegetace. Hlavním hybatelem v pasivním chlazení jsou rostliny s velkou schopností evapotranspirace, v této studii dominuje s největším efektem ozelenění dlouhou trávou (40 cm) s kloubovitými stonky, které přinášejí úsporu v Tenerife až 11,34 MWh/rok. Ve studii, se mimo vegetační střechy porovnávala

střecha s odrazivým povrchem, která dosáhla při úspoře v chlazení nejlepších výsledků, avšak v zimním období, měla naopak nejhorší výsledky, protože svou dobrou reflektivní funkcí nepřipouštěla tepelné zisky, které jsou v zimě tak žádoucí.

Stejně jako při spotřebě na vytápění je při vztahování výsledků studie k jiným objektům žádoucí brát zřetel na poměr celkové tepelné ztráty střechy prostupem k celkové ztrátě celého objektu a váhu nedostatečné tloušťky tepelné izolace na celé ztrátě střechy.

V Amsterdamu, který se s uvedených měst nejvíce podobá českému klimatu se úspora na chlazení objektu pohybuje od 0 MWh/rok při použití rozchodníku krátké výšky 10 cm, (což je zajímavý poznatek, který rozchodník z tepelně-technického pohledu při vyšších teplotách vzduchu staví mimo hru). Nedostatek rozchodníku v tepelně-technických vlastnostech je dán jeho nižší odrazivostí a nižší schopností evapotranspirace. Dobré výsledky má opět ozelenění dlouhou trávou (40 cm) s kloubovitými stonky, které dosahuje hodnoty 2,07 MWh/rok.

Tab. 18: Porovnání střech na celkovou spotřebu energie při provozu objektu v příslušných klimatických podmínkách [29]

TOTAL	počet denostupňů DST	referenční střecha [kWh/m ² .rok]	rozchodník krátký [kWh/m ² .rok]	rozchodník dlouhý [kWh/m ² .rok]	trávník [kWh/m ² .rok]	krátká tráva, kloub. stonky [kWh/m ² .rok]	dlouhá tráva, kloub. stonky [kWh/m ² .rok]	
Tenerife	1225	106,4	105,2	98	99,4	98,1	94,9	
Sevilla	1979	79,7	79,9	74	74,1	73,7	71,2	
Rome	2093	78,4	77	73,5	74,3	73,7	72,2	
Amsterdam	3032	69,1	66,3	64,3	64,9	64,7	64,5	
London	2898	62,7	59,9	57,9	58,6	58,6	58,2	
Oslo	4204	131,4	125,6	123,6	124,2	124,3	123,7	
CELKOVÁ ÚSPORA [kWh/m ² .rok] v porovnání s referenční střechou							max. úspora objektu [MWh.rok]	A _{objektu} [m ²]
TOTAL	rozchodník krátký	rozchodník dlouhý	trávník	krátká tráva, kloub. stonky	dlouhá tráva, kloub. stonky	986		
Tenerife	1,2	8,4	7	8,3	11,5	11,34		
Sevilla	-0,2	5,7	5,6	6	8,5	8,38		
Rome	1,4	4,9	4,1	4,7	6,2	6,11		
Amsterdam	2,8	4,8	4,2	4,4	4,6	4,73		
London	2,8	4,8	4,1	4,1	4,5	4,73		
Oslo	5,8	7,8	7,2	7,1	7,7	7,69		

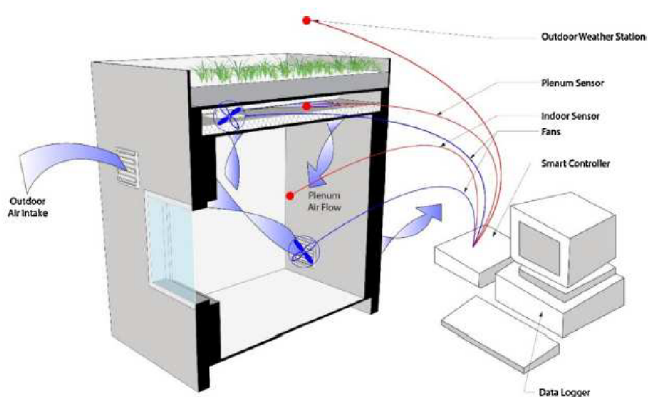
Celoroční bilance v jižních zemích se velmi podobá spotřebě tepla na chlazení, klima je stálejší v průběhu celého roku, převažují vyšší teploty a nutnost chladit. Vyhodnocení bilance v severních státech výrazně ovlivňuje výkyv počasí v dané sezóně (hodnota poměru denostupňů v otopném a chladícím období) a požadovaný komfort uživatel, obecně se dá říct, že z tepelně technického hlediska má větší váhu převažující otopné období, ovšem záleží na používání stavby. V zimním

období se můžeme účelněji bránit ztrátám tepla použitím dostatečné tepelné izolace, ta ovlivňuje i snížení letních zisků konvekcí, nedosahuje však při letním přehřívání takového efektu jako při zabránění ztrátám v zimě. Funkce zelené střechy z tepelně technického pohledu se více uplatní v letním období. V celkové bilanci spotřeby tepla nevykazují dané vegetační vrstvy markantní rozdíly. Z tepelně technické úhlu pohledu závisí rovněž na používání budovy budoucím investorem – může být významnou proměnnou. Posledním neméně důležitým faktorem jsou ceny energií, které svým růstem zvyšují návratnost investic do zelené střechy.

Při volbě druhu vegetace existují i jiná východiska než tepelná technika, v této věci záleží na účelech, za jakými střechu budeme stavět a na hledání kompromisů mezi nimi (estetika, údržba, retence, zvuková izolace ad.) tak abychom docílili co nejlepší kombinace, která povede k co nejefektivnějšímu uplatnění všech předností vegetačních střech a uspokojí přání investora.

6.2.1.8 Možnost zvětšení energetické efektivity zelené střechy

Zlepšení tepelně technické efektivity zelené střechy můžeme dosáhnout, když mezi tepelnou izolací a vegetační vrstvou vytvoříme vrstvu, kde pomocí ventilátoru vháníme vzduch. Ventilátor se aktivuje během chladných nocí, kdy přivádíme chladný vzduch do interiéru, který pak pomocí dalších



Obr. 40 Zvětšení efektivity pasivního chlazení střechy pomocí větrané vzduchové v podstřešním prostoru [25]

ventilátorů cirkuluje do vzduchové vrstvy nad izolací a pomáhá zespodu ochlazovat masu vegetační střechy. Výsledkem těchto tepelných přenosů z venkovního prostoru do zelené střechy je pak udržení chladnějších teplot v interiéru po delší dobu a větší snížení chladicí zátěže. V zimním období je pak účinek ke zvětšení tepelné stability zelené střechy zanedbatelný. [25]

Svůj názor ztotožňuji s výsledky studie, domnívám se, že vylepšení chladícího efektu v letním období je možné. Účinek v zimním období nebyl výrazný – okrajovou podmínkou pro zimní období byla mírná únorová zima, se zimními mínusovými

teplotami v našich podmínkách (ČR), by tento „tuning“ mohl působit až kontraproduktivně, jelikož nemůžeme spoléhat na nepřetržitou cirkulaci vzduchu do prostoru, který není tepelně odizolován, druhou věcí je nespojitost tepelné izolace vlivem větracích otvorů.

6.2.2 Venkovní klima

6.2.2.1 Snížení efektu Urban heat island

6.2.2.1.1 Definice Urban heat island

S centralizovaným systémem ekonomiky dochází ve velkoměstech k vyšší koncentraci lidí na jednom místě. Vysoká poptávka po lukrativních místech, způsobuje vysokou cenu pozemků a je tak motivací „hnát stavby do výšky“. Městečka mrakodrapů vynikají velkou plochou obálky, která tvoří činitel pro pohlcené sluneční záření. Pro jejich obvodový plášť nebo městský terén jsou využívány materiály jako asfalt, beton či cihly, které pohlcují a akumulují teplo. Vše doprovází antropogenní ohřívání povrchu člověkem (nadměrná dopravní zátěž, vytápění budov, průmysl) a nedostatek parkové zeleně ve městech. Společné působení výše jmenovaných prvků pak vyvolává teplotní rozdíl vzduchu mezi centrem velkoměsta a periferiemi. Povrch centra města je přes den vyhříván, hlavním viníkem je pak naakumulované teplo, které se večer a v noci zvedá vyzařováním z povrchů zpátky do atmosféry. Tento jev je pojmenován jako Urban heat island, nebo- li městský tepelný ostrov a jeho podstatou je přehřívání velkoměsta. Tepelným ostrovem může být i jedna budova, zpravidla se však jedná o větší část města.

6.2.2.1.2 Albedo

Albedo povrchu se definuje jako míra odraženého záření, z celého dopadajícího slunečního záření. Časté hodnoty v urbánním prostoru jsou 0,1 až 0,2. Na určitých místech např. Severní Afrika mohou přesahovat k 0,3 až 0,45. Používáním materiálů s vyšším albedem snižujeme absorpci slunečního záření na povrchu. Černá barva má albedo = 0.

6.2.2.1.3 Antropogenní ohřívání

Vzniká vlivem činnosti člověka ve městě, při které vzniká teplo. Zdrojem bývá nejčastěji automobilová doprava, vytápění budov, tepelné elektrárny ad.

Tab. 19: Hodnoty antropogenního tepla a intenzity slunečního záření [31]

Město	$Q_{\text{ANTROPOGENNÍ}} [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$	$Q_{\text{SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ}} [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$
New York City	117 - 159	93
Los Angeles	21	108
Berlin	21	57
Budapest	43	46

6.2.2.1.4 Příznaky Urban heat island

Mohou být jak pozitivní tak negativní, záleží na klimatických podmínkách města. Pozitivně působí urban heat island v zemích nad arktickým a pod antarktickým polárním kruhem, kde snižuje potřebu tepla pro vytápění. Převažující negativní dopady se vyskytují mezi polárními kruhy, čili na většině osídleného území světa. Rozsah efektu urban heat island, zde dále závisí na blízkosti vodní plochy, reflektivitě povrchů, množství zeleně, geometrii povrchu (silniční síť, výška staveb).

Centrální části měst na severní polokouli (mírný, subtropický a tropický pás) ročně dosahují v průměru o 12 % méně slunečního záření, o 8 % více oblačnosti, o 14 % více srážek, o 10 % více sněhových srážek a o 15 % více bouří než jejich okrajové části. Znečištění ovzduší centra se odhaduje 10 krát vyšší a teplota jeho vzduchu může být o 2 °C vyšší. S přehříváním přichází značný diskomfort a stres obyvatelstva, nepříznivě působí také na osoby s kardiovaskulárními či dýchacími problémy, prokázáno je také větší riziko vzniku mozkové mrtvice. Dopady jsou mimo jiné i na vyšší energetickou náročnost budov při chlazení a vyšší znečištění vzduchu (vznik smogu při vyšších teplotách). [31]

6.2.2.1.5 Opatření proti Urban heat island

Jedním z kroků je zvýšení albeda městských povrchů, další strategií vedoucí ke zmírnění podmínek městského tepelného ostrova jsou zelené střechy, které účinkují vlivem jejich stínící funkce, reflektivitě slunečního záření a evapotranspiračnímu chlazení, které hraje větší roli než opatřování povrchů odrazivými materiály viz. 6.2.1.2 Evapotranspirace. V řadě světových metropolí legislativa nařizuje opatřovat střechy novostaveb zelení, př. Tokio, všechny nové stavby střední velikosti musí mít minimálně 20 % povrchu pokrytého zelení.

New York City dosahuje teplotního rozdílu mezi centrem a periferií 3 °C v zimě a na jaře a 4 °C v létě a na podzim. V New Yorku zabírají střechy 19 % z celkového

povrchu, studie vyšetřovala, zda by přijetí zelených střech mělo vliv na snížení přehřívání města. Posuzovalo se 10 % a 50 % ozelenění střech vegetací tvořenou rozchodníky. V úvahu se braly povrchové teploty všech povrchů ze satelitní mapy dne 19. srpna 2002 10:30 hodin ráno. Průměrná teplota povrchů byla získána, váženým průměrem, dle zastoupení různých typů materiálů povrchu. Následně se vypočítala průměrná hodnota povrchu při ozelenění 10 % střech a 50 % střech. Druhem použité vegetace byly rozchodníky, což je dobré zdůraznit, jelikož dosahují při pasivním chlazení nižšího efektu než vegetace s vyšším LAI (Leaf area index). Dále nebyla zahrnuta plocha fasád objektů a akumulační schopnost povrchů, což studii značně zkresluje, protože jejich započítáním by se zvětšila váha hodnoty stavebních (betonových, cihelných) ploch. Ze studie vyplynulo, že ozeleněním 50 % střech města NYC rozchodníky by došlo ke snížení povrchových teplot města o 1 °C.

Většina studií o zelených střechách se zmiňuje o výhodném použití zelených střech při eliminaci Urban heat island, ale neexistuje dostatek kvalitních studií, které by ho hmatatelněji popsaly, neboť simulace je velmi náročná. Při představě porovnání klasické střechy se zelenou, a s vědomím dosavadních poznatků o vlivu zelených střech na ochlazení teploty okolního prostoru (evapotranspirace, stínění povrchu vegetací), můžeme hypotézu o snižování efektu Urban heat island prostřednictvím vegetačních střech přijmout.

Portland Bureau of Environmental Services kalkuluje snížení efektu městského tepelného ostrova, uvádí, že při 100% ozeleněním všech střech města, můžeme dosáhnout redukce mezi 50 % až 90 %. [30]

V modelové situaci města Toronto, bylo při přeměně 50 % plochy střech v zelenou střechu ve formě nezavlažovaného trávníku dosaženo redukce teplotní difference z 2-3 °C původního stavu na 0,1 až 0,8 °C rozsah teplotních diferencí popisuje různou distribuci teplot v částech města. Zavlažování střechy může zvýšit evapotranspirační schopnost a vzduch ochladit až o 2 °C.

V Chicagu se v devadesátých letech porovnávaly povrchové teploty jednotlivých druhů zastřešení. V letním období se na zelené střeše naměřil rozsah teplot 33 °C až 48 °C, zatímco na tmavé tradiční ploché střeše se dosáhlo teploty 76 °C. Okolní vzduch na zelené střeše dosáhl o 4 °C chladnější teploty než na klasické ploché střeše. [32]

6.2.2.1.6 Zhodnocení přínosu zelených střech pro zmírňování efektu Urban heat island

Ve velkých světových metropolích NYC, Chicago, Toronto ad. se prokazuje efekt zelených střech v boji s urban heat island. V městech České republiky existuje tepelný ostrov, avšak není tak citelný jako ve výše jmenovaných světových metropolích, jednak díky poloze měst v mírném pásu, také díky menšímu vývinu antropogenního tepla a rozdílné geometrii urbánního prostoru. V současnosti se jednak začíná oteplovat klima a dále existuje malý trend připodobňování měst (doprava, výstavba výškových staveb, rozrůstání měst) ke světovým metropolím, proto se bude dle mého názoru do budoucna UHI vyskytovat ve větší míře. Pokud se vývoj nezvrátí jinak, účinným opatření bude zvyšování podílu parkové zeleně ve městech nebo rozsáhlejší výstavba vegetačních střech.

6.2.2.2 Omezení víření prachu

Na klasické ploché střeše se vyskytují vysoké povrchové teploty viz. 6.1.2, které mají za důsledek při velkém rozdílu povrchové teploty a teploty vzduchu (př. vzduch 25 °C, povrch 60 °C) vznik vertikálního proudu vzduchu. Tento proud vzduchu směřuje směrem nahoru, při velikosti střechy 100 m² rychlostí až 0,5 [m/s] a způsobuje rozvířování usedlého prachu v ulicích a dvorech. Vegetační střecha se svou nižší povrchovou teplotou, pomáhá tomuto efektu předcházet. [1] Mimoto ještě zelená střecha dokáže prach zachycovat na svých listech. [8]

6.2.2.3 Pohlcování škodlivých látek z ovzduší

Vegetace vhodná do znečištěného ovzduší má většinou listnatý charakter, zvláště citlivou vegetací v znečištěném vzduchu je jehličnatá a ta, která se nemůže v průběhu roku zbavit svých znečištěných listů. Doporučené typy rostlin do znečištěného ovzduší: cypřišek nutkajský, jinan, zerav, javor klen, platan, třešeň ptačí, zimolez, kustovnice, bez, šerák. [15]

6.2.2.3.1 Oxid uhličitý CO₂

Jakou měrou mají emise CO₂ dopad na globální oteplování je obtížné posoudit, jistý podíl zde však existuje. Od průmyslové revoluce existuje silná podobnost mezi globálním oteplováním a pálením fosilních paliv (ropa, uhlí, zemní plyn). Zelené střechy můžou redukovat emise CO₂ dvěma způsoby, jednak fotosyntézou a dále nepřímo, zvyšováním úspory energií objektu.[34] Pohlcování CO₂ funguje spolehlivě

skrže proces fotosyntézy, kdy rostliny spotřebovávají CO₂ a produkují O₂. [8] C(uhlík) je při fotosyntéze oddělen pomocí tkání rostliny přes kořeny do substrátu.

V Michiganu se prováděla studie na extenzivní střeše s rozchodníky a hloubkou substrátu 60 mm. Studie spočívala v tom, že po dvou letech se změřilo množství odděleného uhlíku vegetační vrstvou. U rostlin byla naměřena hodnota 168 až 107 [g C.m⁻²] v závislosti na druhu rostliny. Substrát obsahoval 913 [g C.m⁻²], avšak 810 [g C.m⁻²] bylo jeho součástí už při aplikaci do zelené střechy, čili ve výsledku zachytil 103 [g C.m⁻²]. V celkovém součtu tedy extenzivní střecha s rozchodníky v období dvou let zachytila a oddělila 210 až 271 [g C.m⁻²].

Velikost hodnoty odděleného a zachyceného C-uhlíku, závisí na hloubce substrátu (čím vyšší – tím větší účinek), dále na druhu zvoleného rostlinstva ve vegetační vrstvě.

Vyšší významnost v úspoře CO₂ má ovšem izolační účinek vegetační vrstvy, který zajišťuje menší spotřebu energií a tím menší emisní zátěž. Výpočetní model budovy v této studii odhadoval nižší spotřebu energií při provozu budovy oproti stavu před ozeleněním. Posuzované budovy univerzitního kampusu v Michiganu s 1,1 km² ploché střechy, by dosáhly po ozelenění úspory 3 640 263 [kg CO₂] ročně, což představuje úsporu 3,31 [kg CO₂.m⁻²] ročně. [34]

6.2.2.3.2 Ozón O₃

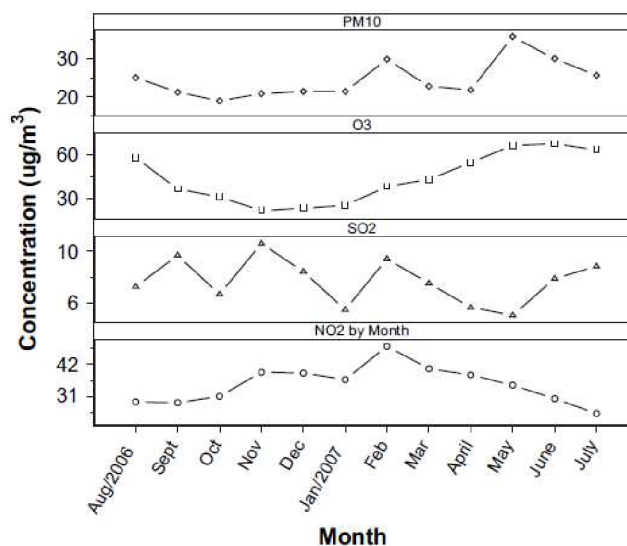
Ozón je sekundární emisní látkou (nemá vlastní zdroj), vzniká reakcí prvků NO_x, VOC (těkavé organické látky) a O₂ za přítomnosti slunečního záření, je součástí fotochemického smogu. Může se kumulovat a projevovat ve větší vzdálenosti od místa svého vzniku.

6.2.2.3.3 Dopady zvýšené koncentrace škodlivin

Negativně působí na funkci plic, může způsobit respirační problémy. Ve všech městech, které dosahují počtu obyvatel nad 2 miliony se prokázalo zvýšené riziko zdravotních obtíží osob při jejich vystavování emisím O₃ a prachových částicím. Při delším pobytu v koncentrovaném prostoru se může vyskytnout pálení očí, bolest hlavy ad. Poškozuje rostlinný růst, snižuje výnos zemědělských plodin a snižuje biodiverzitu.

6.2.2.3.4 Studie Chicago

Úroveň odstranění znečištění vzduchu zelenými střechami se měřila na suchém modelu ve městě Chicago. Celkový součet odstraněných škodlivých látek z okolního vzduchu se rovnal 1685 kg a byl dosažen výkonem 19,8 ha zelených střech za 1rok. Vegetační vrstvy těchto střech tvořily ze 63 % krátké trávníky, 14 % bylinné rostliny, 11 % stromy a křoví, a 12 % různorodá vegetace. Ozón O₃ byl v Chicago vyhodnocen jako hlavní znečišťovatel vzduchu.

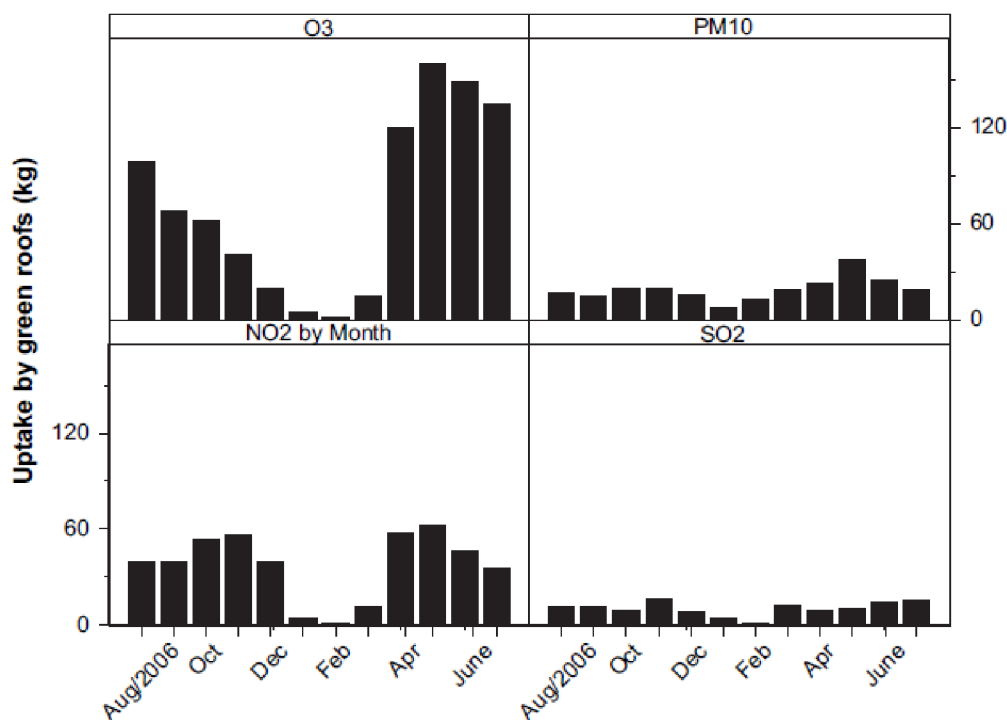


Obr. 41: Koncentrace emisí ve vzduchu v průběhu roku [33]

Zastoupení škodlivých látek v totálním součtu: O₃ 52 %, NO₂ 27 %, PM₁₀ 14 %, SO₂ 17 %. Nejvyšší znečištění vzduchu proběhlo v květnu, naopak nejnižší v únoru. Doba s největšími koncentracemi škodlivin je zároveň dobou kdy olistění vegetace v roce dosahuje největšího vývoje. V době nejmenších koncentrací škodlivin – únor, je vegetace pokrytá vrstvou sněhu (ve studii) a ztrácí funkci. Průměrná hodnota odpovídá 8,5 [g škodlivin/m².rok]. Na schopnost vegetačních střech pohlcovat škodlivé látky příznivě působí drsnost terénu povrchu střechy – větve, větvičky, olistění atd.

Tab. 20: Schopnost jednotlivých rostlin pohlcovat emise [33]

Druh vegetace	SO ₂ [g.m ⁻² . rok]	NO ₂ [g.m ⁻² . rok]	PM ₁₀ [g.m ⁻² . rok]	O ₃ [g.m ⁻² . rok]	Total [g.m ⁻² . rok]
Krátký trávník	0,65	2,33	1,12	4,49	8,59
Dlouhé bylinné rostliny	0,83	2,94	1,52	5,81	11,1
Opadavé stromy	1,01	3,57	2,16	7,17	13,91



Obr. 42: Výkon zelených střech (Chicago) v pohlcování emisí O₃, prachových částic, NO₂ a SO₂ [33]

Pokud by ve městě Chicago, byly použity na všech střechách intenzivní zelené střechy, došlo by ke snížení znečištění o 2046 tun, což je hodnota, odpovídající ročnímu znečištění města v roce 2006-2007. Náklady na vegetačních střechy by se však vyšplhaly na 35.2 miliardy dolarů. [33]

6.2.2.3.5 Ostatní zmínky o snižování koncentrace škodlivin zelenou střechou

Studie provedená v Torontu, kde se počítalo se 109 ha zelených střech, hodnota odstranění znečišťujících látek z ovzduší činila 7,87 tun ročně tj. 7,2 g/m².rok.

Studie prováděná v Singapuru měřila koncentraci škodlivin před a po zřízení vegetační střechy. Jednalo se o střechu s rozlohou 4000 m² (100x40m). Koncentrace škodlivých látek ve vzduchu nad střechou byly po ozelenění střechy sníženy o 6 až 37 %. [33]

Zelená střecha dokáže absorbovat škodlivé látky v množství cca 0,2 kg aerosolového prachu na 1 m² vegetační střechy za rok. [8]

Intenzivním ozeleněním 20 % střech Washingtonu D.C. odstraníme z ovzduší stejné množství látek jako výsadbou 17000 uličních stromů. [34]

6.2.2.3.6 *Zhodnocení zelené střechy coby pohlcovače škodlivých látek z okolního vzduchu*

Efekt zelených střech v pohlcování škodlivých látek z ovzduší, ovlivňuje délka růstové sezóny rostliny, meteorologické podmínky a koncentrace škodlivých látek ve vzduchu. Zřizování zelených střech jen za účelem snižování koncentrace škodlivin je z ekonomického pohledu dobrým řešením pouze tam, kde zeleň nelze vysazovat a v místech s velmi vysokou koncentrací škodlivin. Studie uvádí, že středně vysoký strom za podstatně nižší náklady zbaví okolní vzduch stejného množství škodlivin jako 19 m² extenzivní střechy (objekt 5x3,8 m). [33] Tento pohled na věc, ale nebere ohled na ostatní výhody zelených střech. Současně je obtížné kvantifikovat finanční návratnost pro investora, protože svou střechou nepřináší užitek jen sobě, ale i celé společnosti.

Nepřímý efekt vegetační střechy na snížení znečištění vzduchu, funguje prostřednictvím jejích tepelně-izolačních vlastností a dlouhé životnosti na menší produkci emisí vlivem její výroby a provozní fáze budovy viz. 6.1. a 6.2.1..

6.3 Retence

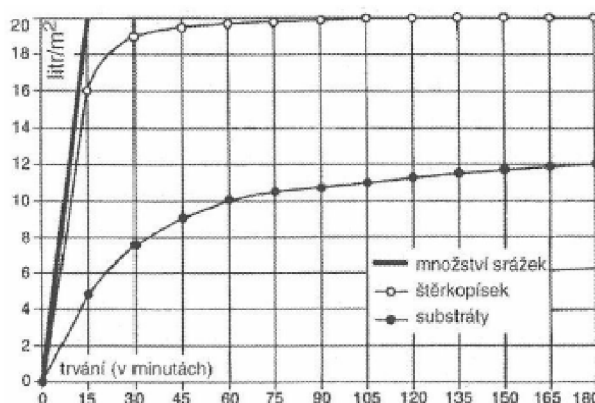
Vegetační střechy mají velký potenciál v retenci dešťové vody a výrazně svými vlastnostmi pomáhají snižovat riziko přeplnění kanalizace. Když pohltí většinu srážek, do veřejné kanalizace pak putuje menší množství srážkové vody, což klade menší nároky na její odtokovou kapacitu. Přirozený koloběh kdy se naakumulované srážky vypařují ze střechy, může pak znamenat jak snížení rizika záplav tak i velkou úlevu pro rozpočet města při investování do technické infrastruktury.

Vegetační střechy vsakují vodu v závislosti na vlastnostech použitého materiálu vegetační vrstvy (nasákavost substrátu a typ zeleně z toho vychází množství vody odvedené evapotranspirací viz. 5.5.1.) a skladbě střechy (přítomnost akumulací drenážní vrstvy, spád střechy, tloušťka substrátu ad.) v rozsahu 42-85 % zadržovaných srážek. Na retenční schopnost má také vliv roční období, vyšší retenční schopnost střechy připadá na období s vyššími teplotami. Odtok srážek přichází až po dosažení stavu plného nasycení vegetačního souvrství. Následný odtok je pak díky kladenému odporu vegetační vrstvy pomalejší než u klasické „holé“ střechy. Vyšší retenční schopnosti může dosáhnout vytvořením akumulací drenážní vrstvy. [8]

Tab. 21: Schopnost vegetačních střešů zpomalovat odtok srážek ve srovnání s běžnými povrchy střešů [8]

Maximální špičkový odtok u různých druhů krytin [l/s.ha]	
Střešní tašky	221
Štěrk	87
Zelená střeška extenzivní, substrát tl. 8cm	73

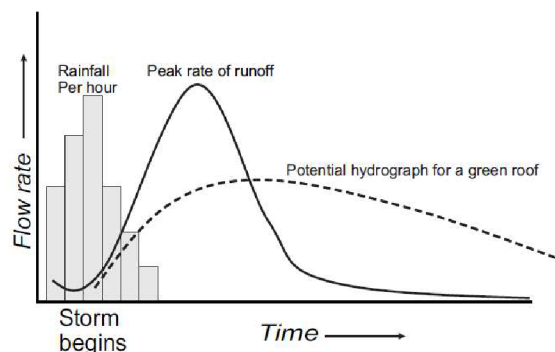
Ozeleněná střeška s kombinovanou strukturou substrátu tl. 200 mm ze zeminy a keramzitu může zadržet až 90mm vody, což představuje 90 [l/m²]. Při měření na univerzitě v Kasselu se prokázalo, že zelená střeška se sklonem 12° a tloušťkou substrátu 14 cm dokázala po 18hodinovém vytrvalém dešti zdržet odtok vody o 12 hodin. Celkem oteklo pouze 28,5 % srážek a odtok posledních srážek byl zaznamenán dokonce až 21 hod po skončení deště.



Obr. 43: Zadržování srážek v čase [1]

Je ještě nutné říct, že se jednalo o střešku s nerozvinutou vegetací, takže max. potenciál retence může být v době, kdy bude vegetace plně rozvinutá ještě vyšší.

Další studie pocházející s Bavorského zemského ústavu pro zahradnictví zjistila, že při 15minutovém dešti o intenzitě deště 20 [l/m²] na zelené střeše s tloušťkou substrátu 100 mm odeče pouze 5 [l/m²], což představuje 75% retenci dešťových srážek. Z totožné ploché střešy s štěrkopískovou stabilizační vrstvou oteklo 16 [l/m²], její retence tedy představuje 20% zachycených dešťových srážek (Obr. 43). [1]



Obr. 44: Křivka odtoku srážek běžná vs. vegetační střeška [30]

V New York City je zřízená jednotná veřejná kanalizace, odvádějící současně dešťové i odpadní vody. S růstem populace v 20. století se zvýšil počet nepropustných ploch ve městě a současně požadavek na větší odtokovou kapacitu kanalizace. Funguje zde 14 zařízení pro čištění odpadní vody. Při deštivém počasí nepostačují jejich kapacity a část odpadní vody míří do řeky. V čistírně odpadních vod je zacházeno pouze

s 60 % srážek. Zřízení vegetačních střešů by mohlo v současné situaci pomoci k nápravě. Výsledky studie při ozelenění části ploch střešů substrátem tl. 10 až 13 cm s vegetací tvořenou rozchodníky. 10% podíl vegetačních střešů ukázal 2% snížení celkového ročního odtoku, 50% podíl vegetačních střešů na ploše všech střešů metropole ukázal 9 až 10% redukci ve snížení celkového ročního odtoku.

Studie v Portlandu prokázala efektivní zadržování srážek, při použití vegetační střešy s tloušťkou substrátu 10 až 13 cm a 72% pokrytí střešy sukulentními rostlinami, může tato střeša zachytit až 69 % srážek na ni dopadených. Během letních měsíců střeša zachytí 100 % dopadených srážek. [30]

6.4 Zvukově izolační funkce

Vegetační vrstva střešy poskytuje zvukově izolační vlastnosti prostřednictvím listů zeleně a substrátu. Zeleně dokáže dopadající zvuk odrážet (ve snížené míře), rozptylovat nebo absorbovat (přeměňovat zvukovou energii na pohybovou nebo tepelnou energii). Druhým příznivým vlivem funguje substrát a jeho plošná hmotnost zvyšující hodnotu vzduchové neprůzvučnosti střešní konstrukce. Substrát působí významněji než vrstva zeleně pohlcující nepatrné množství zvuku a dokáže při hloubce 12 cm pohltit asi 40 dB, při hloubce 20 cm je to 46dB.

Zelená střeša může díky své absorpci a snížené schopnosti odrážet zvukovou energii pomoci lepšímu akustickému komfortu v interiéru ozeleněné stavby a také k lepší akustické situaci ve svém okolí (stavby vedle letiště, snížení pouličního hluku ad.). Důkazem toho je studie z Karlsruhe, která posuzovala pokles hladiny pouličního hluku vlivem vegetační střešy na sousedním objektu. Jednalo se o nemocnici, přilehlou k objektu s ozeleněnou střešou, který dosahoval nižší výšky. Na přivrácené straně nemocnice k vegetační střeše a nad její úrovní bylo dosaženo snížení hladiny pouličního hluku o 2 až 3 dB a potlačení nepříjemně vnímaných zvuků o vysokých frekvencích. [1]

6.5 Estetika a psychologický účinek na člověka

O dopadu zeleně na lidskou psychiku nemusíme diskutovat. Zeleň má díky svým organickým tvarům a barvám přirozený půvab, zvláště když se proměňuje v průběhu ročních období. Jejimi tvary a barvami často pomáhá vylepšit architektonickou kvalitu díla. Svými dobrými estetickými vlastnostmi navozuje v člověku pocit klidu a lepší koncentraci. V uspěchaném rytmu velkoměsta nemůže uškodit. O působení zelených střech na koncentraci lidí vznikla výzkumná studie na dvou skupinách studentů v Melbourne, oběma skupinám byl zadán nudný úkol, avšak jedna skupina pracovala ve třídě s výhledem na zelenou střechu (jednalo se o obrazy zelené a ploché střechy) a druhá s výhledem na klasickou betonovou střechu. Větší úspěšnost v řešení úkolu prokázala první skupina, což potvrdilo dopad zelených střech na lepší koncentraci. [36]



Obr. 45: Vizualizace ozelenění obchodního domu v Mostě, Zdroj: Vojtěch Hrachovina

Zjištění o spojitosti prostředí, ve kterém se nacházím, s mým psychickým stavem mě velmi fascinuje, i to bylo důvodem pro zapřemýšlení se o dopadech zelených střech na ekosystém města. Dotýká se mně stejně jako dalších obyvatel většího města, trávících většinu času plněním svých úkolů a potřeb v betonových džunglích zužovaných znečištěným vzduchem a nedostatkem zeleně. Co se týče přímo efektu zeleně, můj názor, je takový, že zelení můžeme přispět k ozdravení psychického a následně i fyzického stavu obyvatel a je podloženými mými zkušenostmi. Zelený vzhled rostlinstva, pomáhá člověku uvolnit se, rovněž lépe relaxovat, regenerovat a dobít energii. Zeleň nemusí člověka uklidňovat pouze vizuálně, ale i pocitově, kdy se při jejím pasivním chlazení dostaví sekundární efekt v podobě větší tepelné pohody, pohlcování znečišťujících látek vegetací získají obyvatelé měst čistější ovzduší. Všechny tyto skutečnosti mohou příznivě ovlivnit komfort a zdraví obyvatel.



Obr. 46: Vizualizace ozelenění ul. Skácelova a ul. Královopolská v Brně, Zdroj: Vojtěch Hrachovina

7 NÁZOR VEŘEJNOSTI ČR

7.1 Zadání formuláře

Mezi 1. 12. 2015 a 22. 1. 2016 bylo provedeno dotazníkové šetření, jehož cílem bylo zjistit současnou hodnotu vegetačních střeš v očích obyvatel ČR. Testování probíhalo online prostřednictvím aplikace formuláře na www.google.com. Respondentům byly položeny otázky ve znění:

1) Vnímáte dopad kvality životního prostředí na kvalitu Vašeho psychického a fyzického zdraví?

(Dopady faktorů typu: kvalita vzduchu, klid, estetika, čistota prostředí, kvalita vody, tepelná pohoda, kontakt se zdravím nezávadnými materiály, elektrosmog)

2) Máte povědomí nebo slyšeli jste už dříve o benefitech zelených střeš?

(Šetří přírodu, upravuje kvalitu vzduchu tím, že pohlcuje emise, čistí a zvlhčuje vzduch, zabraňuje přehřívání center velkoměst, vzhled a aroma zeleně kladně působí na lidskou psychiku, přináší úsporu energií na chlazení či vytápění, zadržuje dešťové srážky a ulevuje kanalizaci, zvyšuje životnost střešního pláště)

3) Kolik byste byli schopni investovat ze svých finančních prostředků, pokud byste se rozhodli pro ozelenění střeš?

(Berte v úvahu jen cenu ozelenění a plochu objektu 120 m², př.: Běžná cena nové ploché střeš na objektu 10x12 m se pohybuje zhruba kolem 100 000,-. Cena ozelenění na takto velkém objektu, včetně funkčních vrstev střeš se pohybuje u extenzivní střeš od 70 000,- u intenzivní střeš od 140 000,-)

4) Motivovalo by Vás stavět zelené střeš po zavedení dotačního programu?

5) Jak vysoké procento dotace je pro Vás motivující?

([%] z ceny ozelenění)

Identifikace respondentů byla provedena pomocí zjišťovacích otázek na jejich pohlaví, věk, bydliště a majetkový vztah k nemovitosti.

Vzhled formuláře byl doplněn o studii ozelenění střeš v Brně na ulici Skácelově a ulici Královopolské, která byla dána do kontrastu s fotografií současného stavu. Viz. Obr. 46.

Formulář byl rozeslán velkou měrou mezi studenty VŠ, laickou veřejnost, odborníky z řad stavebnictví a architektury.

7.2 Identifikace respondentů

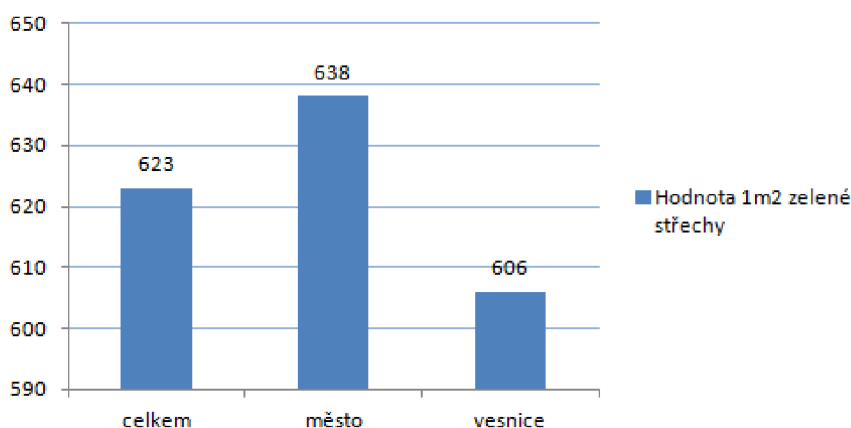
CELKOVÝ POČET RESPONDENTŮ (440)			
zkoumaná oblast	možnosti	odpovídající počet respondentů	% z celku
pohlaví	Muž	238	54,1
	Žena	202	45,9
věk	15 – 19	18	4,1
	20 – 25	187	42,5
	26 – 35	113	25,7
	36 – 45	57	13
	46 – 55	39	8,9
	56 – 65	20	4,5
	66 – 75	5	1,1
	76 – 85	0	0
	86 +	1	0,2
kraj	Olomoucký	170	38,6
	Jihomoravský	94	21,4
	Hlavní město Praha	38	8,6
	Moravskoslezský	29	6,6
	Zlínský	23	5,2
	Vysočina	19	4,3
	Středočeský	16	3,6
	Pardubický	15	3,4
	Plzeňský	7	1,6
	Královohradecký	7	1,6
	Ústecký	5	1,1
	Karlovarský	4	0,9
	Liberecký	2	0,5
	město/vesnice	město	253
vesnice		187	42,5
majetkový vztah k bydlení	Bydlím s vlastníky	215	48,9
	Vlastním dům	85	19,3
	Bydlím v pronájmu	81	18,4
	Vlastním byt	54	12,3
	Ostatní	5	1,1

7.3 Vyhodnocení odpovědí

Otázka	Odpověď	Odpovídající počet respondentů	% z celku
Vnímáte dopad kvality životního prostředí na kvalitu Vašeho psychického a fyzického zdraví?	Ano	266	60,5
	Spíše ano	134	30,5
	Spíše ne	33	7,5
	Ne	7	1,6
Máte povědomí nebo slyšeli jste už dříve o benefitech zelených střech?	Ano	352	80
	Ne	88	20
Kolik byste byli schopni investovat ze svých finančních prostředků, pokud byste se rozhodli pro ozelenění střechy? (objekt 120m ²)	60 000 Kč	127	28,9
	90 000 Kč	109	24,8
	30 000 Kč	78	17,7
	120 000 Kč	58	13,2
	150 000 Kč	36	8,2
	Ostatní	32	7,3
Motivovalo by Vás stavět zelené střechy po zavedení dotačního programu?	Ano	383	87
	Ne	57	13

INVESTICE DLE BYDLIŠTĚ	průměr/medián investice do ozelenění střechy objekt 120 m ² [Kč]	průměr/medián investice do ozelenění střechy na 1 m ² [Kč]	průměr / medián min. motivující procento dotace [% z ceny ozelenění]	reálná cena 1 m ² ozelenění na klíč [Kč]	
				extenzivní střecha	intenzivní střecha
CELKEM	75 209,- / 60 000,-	623,- / 500,-	47,5 % / 50 %	600,-	1200,-
MĚSTO	76 537,- / 60 000,-	638,- / 500,-	49,0 % / 50 %		
VESNICE	72 661,- / 60 000,-	606,- / 500,-	48,3 % / 50 %		

Průměrná investice dle bydliště [Kč]



INVESTICE DLE VĚKU MĚSTO	počet resp.	průměr/medián investice do ozelenění střechy na 1 m ² [Kč]	průměr / medián min. motivující procento dotace [% z ceny ozelenění]	reálná cena 1 m ² ozelenění na klíč [Kč]	
				extenzivní střecha	intenzivní střecha
do 25	97	680,- / 500,-	43 % / 50 %	600,-	1200,-
26 – 35	73	590,- / 500,-	51 % / 50 %		
36 – 45	36	601,- / 500,-	51 % / 50 %		
46 – 55	26	520,- / 500,-	56 % / 50 %		
56 +	19	587,- / 500,-	54 % / 50 %		

INVESTICE DLE VZTAHU K NEMOVITOSTI MĚSTO	počet resp.	průměr/medián investice do ozelenění střechy na 1 m ² [Kč]	průměr / medián min. motivující procento dotace [% z ceny ozelenění]	reálná cena 1 m ² ozelenění na klíč [Kč]	
				extenzivní střecha	intenzivní střecha
BYDLÍM S VLASTNÍKY	78	651,- / 500,-	46 % / 50 %	600,-	1200,-
VLASTNÍK DOMU	40	507,- / 500,-	55,4 % / 50 %		
BYDLÍM V PRONÁJMU	77	714,- / 500,-	48 % / 50 %		
VLASTNÍK BYTU	51	615,- / 500,-	54 % / 50 %		

Skupinou, nejvíce nakloněné zeleným střechám a vnímající jejich největší hodnotu jsou lidé 20-25 z měst, kteří cítí dopad kvality svého životního prostředí na kvalitu svého fyzického a psychického zdraví. Tato skutečnost může předpovídat mírné zvětšení poptávky po zelených střechách v příštích letech. Pro současnou výstavbu jsou směrodatnějším výsledkem skupiny pracujících od 25-ti let výš a odpovědi vlastníků domů či bytů ve městech.

Názor starší věkové kategorie (56+) vyplývající z formuláře může být zkreslen, neboť ne každý má přístup k internetu. Dotazník vyplňovala pouze část této skupiny,

kteřá je otevřená novým věcem, což prokázala i vyplněním a odesláním dotazníku a nejednalo se o dostatečně relevantní množství respondentů (19 osob).

Efekt zelených střech je nejvíce patrný ve městech. Úkolem tedy bylo vyselektovat respondenty z měst hned ze začátku. Kategorii obyvatel vesnic však nelze zanedbat, je stejně tak důležitá, jelikož patří mezi plátce daní, které putují do veřejných zakázek staveb. Ve výsledku se ukázalo, že i když lidé z vesnice mají dostatek zeleně ve svém okolí, podporují výstavbu zelených střech, možná se jedná o důsledek toho, že spousta lidí z vesnic tráví většinu času ve městech (práce, škola, volný čas, lékař, nákupy ad.) a můžou lépe posuzovat jaký je rozdíl života mezi zelení a bez zeleně.

V konečné bilanci dosáhly všechny skupiny podobného výsledku a to, že medián investice na 1m² zelené střechy u každé ze skupin neklesl pod 500Kč/m², což znamená, že více než polovina lidí je ochotna investovat min. 500Kč/m² (60 000Kč na ozelenění objektu 12m x 10m) zelené střechy, a to bez dotace (otázka na dotaci přišla ve formuláři až následně po vyplnění této otázky).

Motivace stavět vegetační střechu u vlastníků bytů či administrativních budov, může být ještě zajímavější, když se vynaložené náklady na zelenou střechu vydělí počtem bytových jednotek domu. V případě využívání zelené střechy jako střešní zahrady, se v dotazníku vyskytla připomínka, že jsou do jisté míry „zvýhodňování“ obyvatelé posledního podlaží a to blízkostí střešní zahrady, protože stráví méně času ve výtahu při dopravě na střechu, i když mají zase o to delší docházkovou vzdálenost do venkovního parku a jsou osvobozeni před užíváním prostor pod rozpálenou střechou, který se po ozelenění může proměnit v prostor s dobrou tepelnou stabilitou.

87 % zúčastněných motivuje pro výstavbu zelených střech dotace. Zajímavým zjištěním je také, že tato hodnota převyšuje 80 % respondentů, kteří mají povědomí o užitku zelených střech. Tato skutečnost může působit dojmem, že se část lidí obvykle rozhodne investovat do věci, aniž by si byli vědomi jejího užitku a pro investici se rozhodnou z velké části jen kvůli možnosti dotace. V případě zelené střechy je však toto rozhodnutí chvályhodné, protože tato část lidí může nevědomě zlepšit život celé společnosti. Více než půlka osob u každé z posuzovaných skupin se cítí být motivována do výšky dotace, která pokryje 50 % investice do ozelenění. Dotace může být vstupní branou pro zelené střechy v ČR. Avšak v každém případě je nutná větší informovanost o zelených střechách (prostřednictvím architekta, stavebního inženýra, médií), protože

pokud lidé budou obeznámeni s výhodami a na vlastní kůži se přesvědčí o efektu vegetačních střech, výstavba poběží i bez dotací. I když si myslím, že dotace mohou pomoci protlačit zelené střechy, velká část lidí k nim cítí odpor po minulých zkušenostech (př. fotovoltaika), mají nálepku byrokratické pasti a často s sebou nesou riziko výskytu podvodného chování. Sofistikovaným nástrojem pro zvýhodnění vlastníků zelených střech, mohou být odměny za výkon střechy (úlevy na daních, platbách stočného). Tento způsob odměny pomůže lidem k uvědomění, že mimo svého majetku zvelebují i prostředí kolem sebe.

8 ZÁVĚR

8.1 Poznatky

- vyšší životnost střechy (cca 40 let), avšak podmíněna kvalitním návrhem a provedením
- environmentálního přínos v podobě dodatečně přidané tepelné izolace a akumulací, vrstvy s evapotranspirací - substrát s vegetací
- objekt se zelenou střechou se stává menším znečišťovatelem ovzduší (jak při zvážení úspory materiálu vlivem delší životnosti střechy, tak vlivem přidané tepelně izolační vrstvy)
- tepelně-technický efekt zelené střechy není prvoplánový, ale je příjemným bonusem (vegetační vrstva není zahrnuta do výpočtu součinitele tepelného prostupu tepla)
- preference recyklovaných materiálů do hydroizolačních, drenážních a filtračních vrstev v lepším případě vývoj nových materiálů
- větší tloušťka substrátu = vyšší nároky na statickou únosnost konstrukce = menší hospodárnost (efekt nižší hospodárnosti se ztrácí s vyšším počtem podlaží objektu)
- brát na zřetel použité hnojivo a jeho environmentální dopad znečišťováním ovzduší a vod (při provozní fázi a likvidaci)
- provedení zelené střechy vhodné hlavně u novostaveb, rekonstrukcí dobře zvážit a neprovádět zelenou střechu na místě kde je zřízena ještě stále fungující šikmá střecha

- evapotranspirace tzn. odnímání energie latentního tepla ze vzduchu vlivem fázové přeměny vody na páru = princip pasivního chlazení
- velikost pasivního chlazení souvisí s % zastíněného povrchu střechy zelení, albedu a emisivitě povrchů a zejména na evapotranspiraci (vývin latentního tepla), která roste s LAI, vlhkostí - směšovací poměrem vzduchu, rychlostí větru, dále se snižující se průduchovou rezistencí jednotlivých rostlin
- význam vegetační střechy coby pasivního chlazením se zvyšuje s počtem denostupňů na chlazení, tedy v místech s celoročně převažující vysokou teplotou venkovního vzduchu (subtropická a tropická pásma)
- zelená střecha v tropickém klima (velká intenzita slunečního záření) může v konstrukci svou akumulací a evapotranspirační vlastností částečně nahrazovat tepelnou izolaci, podmínkou je použití rostlin s větším vývinem evapotranspirace a tl. substrátu min. 100 mm
- zelená střecha odráží 20 – 30 % sluneční radiace
- $\lambda_{\text{vlhký substrát}} = 0,7 \text{ W/m.K}$
- efekt zelené střechy z hlediska úspory energií objektu, záleží na váze její ztráty prostupem tepla na celkové ztrátě objektu záleží dle vzorce $Q = U.A.(t_i - t_e)$, snižuje se s kvalitou tepelně technických parametrů ostatních konstrukcí a s její zmenšující se plochou
- střecha s odrazivým povrchem, dosáhla při úspoře v chlazení lepších výsledků, než zelené střechy, avšak v zimním období vykazovala nejhorší výsledky, ze všech, jelikož svou dobrou reflektivní funkcí nepřipouští v zimě žádoucí tepelné zisky
- evapotranspirace tvoří v zimním období tepelnou ztrátu, z hlediska úspory tepla zvítězily v zimě rozhodnickové střechy
- s celoročně převažujícím a rostoucím počtem denostupňů na vytápění se snižuje tepelně-technický efekt zelené střechy, v této chvíli jsou důvodem pro její výstavbu estetické vlastnosti, schopnost pohlcovat škodlivé látky z ovzduší a dobrá retence srážkových vod
- zelená střecha pomáhá snižovat přehřívání světových velkoměst, pokud se po jejich vzoru v českých městech začne více koncentrovat výstavba a přijde globální oteplování, pomůžou v této oblasti i u nás

- zelené střechy umožňují snižování koncentrace škodlivin (O_3 , NO_2 , CO_2 , SO_2) efektivně působí tam, kde existuje vysoká koncentrace škodlivin a nelze vysadit zeleň
- snížení znečištění vzduchu, sekundárně působí na zvětšení biodiverzity a zemědělské výnosnosti
- vegetační střechy umí zadržovat a zpomalovat odtok dešťových srážek a tím klást menší požadavky na kapacity městské kanalizace při ozelenění 50 % střech města NYC by se docílilo 9 až 10% redukce celkového ročního odtoku
- z hlediska retence taktéž roste efekt zelené střechy s horšími vsakovacími poměry území
- zvukově izolační působení zelené střechy 20 cm substrátu dokáže pohltit až 46 dB
- estetika a psychologické působení patří stále mezi největší výhody vegetačních střech
- investor může výstavbou zelené střechy zlepšit stav prostředí nejen ve svém prostoru, ale i stav prostředí širšího celku
- vlivem tepelně technických vlastností v letním období, retence srážkových vod, zmírnování přehřívání velkoměsta a znečištění ovzduší nachází své největší uplatnění ve světových metropolích s nemožnou dodatečnou výsadbou zeleně a převažujícím počtem denostupňů na chlazení
- v dotazníkové šetření, kterého se zúčastnilo 253 městských obyvatel, by více jak polovina investovala více jak 500 Kč/m² na ozelenění střechy, stejně tak by pro polovinu obyvatel měst bylo motivující dotací pro výstavbu zelené střechy méně jak 50 % z ceny ozelenění

8.2 Vize

Vidím velkou perspektivu pro zlepšení životních podmínek v naší zemi právě pomocí zřizování většího počtu vegetačních střech. Zvýšení páky efektu ozeleňování budov může být docíleno ozeleněním obvodových plášťů. Potenciál existuje a je jen otázkou času, kdy ze západních zemí přijde vlna vegetačních střech do naší země. Rychlost této vlny může zvýšit informovanost lidí o benefitech zelené střechy, zavedení dotačních programů či zakotvení zelených střech do legislativy.

V ČR neexistuje dostatek zkušeností s užíváním vegetačních střech a řada lidí se domnívá, že jsou jen uměle protlačovány jako ekologické opatření. U zelených střech je

obtížné stanovit, zda jsou ekologické či ne, závisí to na množství proměnných (životnost, hnojení, závlahy, klima, druh vegetace, druh použitých materiálů ve funkčních vrstvách). Množství studií, z kterých jsem čerpal, bylo vždy zaměřeno na určitý segment problematiky zelených střech a zanedbávalo ostatní. Z mých poznatků si troufám říct, že v nejhrošším případě jsou zelené střechy nepatrně více ekologické jako klasické ploché střechy (vlivem svých benefitů, které klasická střecha postrádá), co však přináší nad rámec je jejich ceněná estetická funkce. Dle mého názoru by pomohlo životnímu prostředí měst ČR ozelenění střech ve větší míře. Svůj užitek by mohly zelené střechy přinést i na venkov. V době zvýšených prostorových nároků člověka a jeho touze po kvalitní relaxaci v sídle s vědomím, dnešních tržních cen pozemků, může zelená střecha na malém drahém pozemku dobře kompenzovat nedostatek zeleně.



Obr. 47: Ozeleněný dům v Barceloně - On-Architects
Zdroj: www.landarchs.com

Estetika vegetačních střech se dá těžko vyčíslit a je subjektivní. Pro vývoj čehokoliv jsou vždy esenciální hodnoty společnosti, které určují její směr, vždy začínající na počátku ideou a činy jedince, následně páru, rodiny, komunity, obce, města, konče republikou či větším společenstvím. Vše říkající je motto: „Buď změnou, kterou chceš vidět. Zeleně není nikdy dostatek a proto ten, kdo má zájem ji vysazovat zasluhuje podporu, protože zvyšuje kvalitu života v sídle.

V dnešní době je hodně důležitým aspektem ekonomika, konkrétně pořizovací a provozní náklady, která hraje v ČR vyšší roli oproti západním zemím (vliv menší kupní síly) a dle dotazníku se jeví jako dost klíčová (50 % lidí je ochotno investovat 500 Kč/m² a více – cena extenzivního ozelenění na klíč je 600 Kč/m²).

Řada lidí je neschopna se plně soustředit, zahlcena informacemi, ve stresu možná i dílem prostředí, kterým se většinu času obklopuje. Lidé pociťují vliv kvality svého prostředí na fyzické a psychické zdraví (viz. dotazníkové šetření) a tedy by jim

neměla být lhostejná jeho kvalita. Přísloví: „Jste průměrem pěti lidí, s kterými se nejčastěji stýkáte“ popisuje, jak náš charakter formují osoby v našem okolí. Jsem si jistý, že určitá spojitost platí i ve vztahu člověka ke svému prostředí. Jsem hluboce přesvědčen, že lidé dnes chtějí žít v prostředí, které je vitalizuje. Zelená střecha takové prostředí může pomoci vytvořit.

V části města se zelenými střechami či zelenými plášti, bude obecně příjemnější pobyt než v části s klasickými střechami viz. obliba pěší zóny Highline v NYC. Nejzákladnější kvalitou fyzického prostředí jsou tyto parametry: čistý, zdravý vzduch, který dýcháme, čistá voda, světlo, tepelná pohoda, klid a estetika. Výčet těchto parametrů kvality prostředí má stejně jako jídlo nebo ostatní věci dopad primárně na fyzické a psychické zdraví obyvatel, následně na jejich společné vztahy, soužití a ve finále na prosperitu celé společnosti. V našem konzumním světě je dnes velkou výzvou, udržet tyto atributy kvalitního prostředí. Obzvláště pokud se bavíme o městech, kde je vyšší intenzita osídlení, frekventovaná doprava či těžký průmysl a nedostatek zeleně. Jedním z nástrojů, který může prokazatelně zlepšit městské životní prostředí je vegetační střecha.

8.2.1 Světové projekty budoucnosti



Obr. 48: Paris Smart City 2050 – Vincent Callebaut
Zdroj: www.inhabitat.com

Obr. 49: EDITT (Ecological Design in The Tropics) Tower Singapur - T.R. Hamzah & Yeang Sdn Bhd
Zdroj: www.e-architect.co.uk



Obr. 50: Budoucí největší zelená střecha světa v Silicon Valley, CA, USA
Autor: Rafael Viñoly and Olin Landscape Architects
Zdroj: www.inhabitat.com

9 ZDROJE

- [1] MINKE, Gernot. *Zelené střechy*. Ostrava: HEL, 2001. ISBN 80-86167-17-8.
- [2] SIEVEKING, Albert Forbes. *The praise of gardens; an epitome of the literature of the garden-art. [s.l.]* : London, J. M. Dent & co., 1899
- [3] ATELIER DEK, *Vegetační střechy a střešní zahrady*. DEKTRADE a.s., 2009. ISBN 978-80-87215-05-0
- [4] *Green Roof Roots: Stumbling Upon Environmental History in Lake Tahoe* [online]. New York, NY, USA: Natural Resources Defense Council, 2012, 2012-08-24 [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://switchboard.nrdc.org/>
- [5] *Le Corbusier* [online]. wikipedia [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Le_Corbusier
- [6] *History of green roofs* [online]. Baltimore, MD, USA, 2015 [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.greenrooftechnology.com/>
- [7] *Nejstarší zelená střecha na území ČR* [online]. ABS-Portal, Odborní stavební portál, 2014, 2014-12-14 [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/>
- [8] SVAZ ZAKLÁDÁNÍ A ÚDRŽBY ZELENĚ, *Zelené střechy – naděje pro budoucnost*. Brno 2010
- [9] VÝZKUMNÝ ÚSTAV SILVA TAROUČY PRO KRAJINU A OKRASNÉ ZEMĚDĚLSTVÍ, *Hodnocení střešních substrátů a jejich zařazení do systému typových substrátů definovaných ve vyhlášce 131/2014 Sb.*, Průhonice 2014
- [10] ATELIER DEK, *Vegetační střechy - průvodce návrhem*. DEKTRADE a.s., 2015
- [11] BIANCHINI FABRICIO, HEWAGE KASUN: *How „green“ are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials*, School of Civil Engineering, University of British Columbia, Kelowna, Okanagan, Canada 2011

[12] BIANCHINI FABRICIO, HEWAGE KASUN: *Probabilistic social-cost bendit analysis for green roofs: A lifestyle approach*, School of Civil Engineering, University of British Columbia, Kelowna, Okanagan, Canada 2012

[13] KOSAREO LISA, RIES ROBERT: *Comparative environmental life cycle assessment of green roofs*, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, USA 2006

[14] *About the highline* [online]. NYC, USA, 2015 [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.thehighline.org>

[15] ČERMÁKOVÁ Barbora, MUŽÍKOVÁ Radka: *Ozeleněné střechy Praha*: Grada Publishing, a.s., 2009. ISBN 978-80-247-1802-6

[16] ČSN 73 0540 – 2:2011 Tepelná ochrana budov, Část 2

[17] *Technický list Isover EPS 150S* [online]. Isover, 2015 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://www.isover.cz/data/files/tl-isover-eps-150s-382.pdf>

[18] *Země původu: pařížská střecha. Nový trend v pěstování potravin* [online]. Paříž, Francie, 2015, 2015-07-06 [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: www.tyden.cz

[19] *Green roof bylaw* [online]. Toronto, Canada, 2010, 2010-01-31 [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: www1.toronto.ca

[20] *Výrobky z gumového recyklátu* [online]. Brno: STYL2000, 2015 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://styl2000.cz/vyrobky-z-gumoveho-recyklatu/>

[21] RINCÓN Lúdia, COMA Julià, PÉREZ Gabriel, CASTELL Albert, BOER Dieter, CABEZA Luisa F.: *Environmental performance of recycled rubber as drainage layer in extensive green roofs. A comparative Life Cycle Assessment*, Universitat de Lleida, Spain, Universitat Rovira i Virgili Taragona, Spain 2014

[22] PERI Giorgia, TRAVERSO Marzia, FINKBEINER Matthias, RIZZO Gianfranco: *Embedding “substrate” in environmental assessment of green roofs life cycle: evidences from an application to the whole chain in a Mediterranean site*, Università degli Studi di Palermo, Italy, Technische Universitaet, Berlin, Germany 2012

[23] ŠUTLIAK Stanislav, *Degradácia povlakových krytín z fólií na báze PVC-P v skladbách plochých striech*, STU Bratislava, Bratislava, Slovensko 2013

- [24] JIM C.Y., *Building thermal-insulation effect on ambient and indoor thermal performance of green roofs*, The University of Hong Kong, Hong Kong, China 2014
- [25] LA ROCHE Pablo, BERARDI Umberto, *Comfort and energy savings with active green roofs*, California State Polytechnic University Pomona, Pomona, CA, USA, Ryerson University, Toronto, ON, Canada 2014
- [26] SAILOR D.J., *A green roof model for building energy simulation programs*, Portland State University, Portland, OR, USA, 2008
- [27] TOMKOVÁ Alžběta, *Vodní režim stromů ve vztahu k mikroklimatu*, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha 2011
- [28] *Průměrné srážky v Brně* [online]. [cit. 2016-2-7]. Dostupné z:
<http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=brno>
- [29] ASCIONE Fabrizio, BIANCO Nicola, *Green roofs in European climates. Are effective solutions for the energy savings in air-conditioning?*, University of Naples Federico II, Napoli, Italy, 2012
- [30] ROSENZWEIG C., GAFFI N., PARSHALL L., *Green roofs in New York Metropolitan region*, NASA Goddard Institute for Space Studies, Columbia University, New York, USA, 2006
- [31] TAHA, H. *Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat*, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA, 1997
- [32] BELL R. , BERGHAGE R. , DOSHI H. , GOO R. *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*, USA Environmental protection agency, USA, 2008
- [33] YANG J. , YU Q. *Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago*, Temple University Ambler, PA, USA, University of Massachusetts, Amherst, MA, USA, 2008
- [34] ROWE B.D. *Green roofs as a means of pollution abatement*, Michigan State University, MI, USA 2010

[35] *Svázaná produkce emisí CO₂,ekv. [kg/kg]* [online]. [cit. 2016-2-14].
Dostupné z:

http://www.fce.vutbr.cz/PST/kolar.r/files/SBTool_CH09_materialy.pdf

[36] LEE K., *40-second green roof views sustain attention: The role of micro-breaks in attention restoration*, University of Melbourne, Melbourne, Victoria, Australia 2015

[37] BERALDI Umberto, *State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs*. Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA, USA, 2013

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

[USD]	jednotka měny, americký dolar
ČSN	česká státní norma
q_k [kN/m ²]	nahodilé charakteristické zatížení
v_{ref} [m/s]	referenční rychlost větru (dle větrové oblasti)
q_{ref} [kN/m ²]	výsledný referenční tlak větru
c_e [-]	součinitel expozice (vliv výšky střechy nad zemí a drsnosti terénu)
c_{pe} [-]	součiniteli vnějšího tlaku (závisí na oblasti střechy, sklonu a tvaru)
$M_{c,a}$ [kg/m ² .rok]	množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce
$M_{ev,a}$ [kg/m ² .rok]	množství odparu
$M_{c,N}$ [kg/m ² .rok]	max. normové množství zkondenzované vody v konstrukci
r_D [m]	ekvivalentní difuzní tloušťka
μ [-]	faktor difuzního odporu
U_{REQ} [W/m ² .K]	požadovaný součinitel prostupu tepla
$F_{Rsi,m}$ [-]	teplotní faktor vnitřního povrchu
$F_{Rsi,m}$ [-]	normový teplotní faktor vnitřního povrchu
EPS 150S	stabilizovaný expandovaný polystyren s pevností v tlaku 15kPa
FLL	německá norma - Forschungsgesellschaft Landshaftsetwicklung und Landschaftsbau, v překladu znamená Společnost pro výzkum a výstavbu krajiny

mPVC	měkčené PVC (polyvinylchlorid)
pH	vodíkový exponent
MVK [%]	maximální vodní kapacita
Kfmod [mm/min]	koeficient drenážní schopnosti (rychlost infiltrace vody)
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs und Forschungsanstalten – Svaz německého průzkumného a výzkumného ústavu
EC [g/l]	elektrická vodivost substrátu – obsah rozpustných solí
Q [l/s]	max. odtok
I [l/s.m ²]	intenzita deště
C [-]	součinitel odtoku
N	dusík
P	fosfor
K	draslík
S	síra
Ca	vápník
Mg	hořčík
Fe	železo
B	bór
Mn	mangan
Mo	molybden
Zn	zinek
Cu	měď
C	uhlík

H ₂	vodík
O ₂	kyslík
NPK	hnojivo dusík + fosfor + draslík
ÚKZÚZ	Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský).
PP	polypropylen
LDPE	nízkohustotní polyetylen
HDPE	vysokohustotní polyetylen
SO ₂	oxid siřičitý
NO ₂	oxid dusičitý
O ₃	ozón
[J]	jednotka práce 1 Joule
UV	ultrafialové záření
CFC	chlorfluorované uhlovodíky
PO ₄	fosfáty, fosforečnan
CO ₂	oxid uhličitý
LCA	life cycle assessment – posouzení životního cyklu produktu
PUR	polyuretan
C.R.A.	centrum výzkumu v zemědělství
t _e [°C]	teplota vzduchu v exteriéru
t _i [°C]	teplota vzduchu v interiéru
d [m]	tloušťka konstrukce, popř. vrstvy konstrukce
SRI [-]	solar reflectance index – index odrazivosti povrchu

LAI [m^2/m^2]	leaf area index – index plochy zeleně
λ [W/m.K]	součinitel tepelné vodivosti
U [W/m ² .K]	součinitel tepelné prostupnosti
ρ [kg/m ³]	objemová hmotnost
l _f [[J/kg]	latentní teplo vzniklé odpařováním vody z povrchu zeleně
r'' [s/m]	faktor vlhkosti povrchu, nebo-li výsledný odpor proti difuzi vody
r _{s,min} [s/m]	minimální rezistence průduchů rostliny
f ₁ [-]	součinitel intenzity světla
f ₂ [-]	součinitel vlhkosti
θ_r [m ³ /m ³]	reziduální vlhkost
θ_{\max} [m ³ /m ³]	maximální obsah vlhkosti v substrátu
$\theta_{\text{stř}}$ [m ³ /m ³]	průměrný obsah vlhkosti v kořenové části substrátu
f ₃ [-]	vliv rozdílu nasyceného tlaku vodních par v listech zeleně a v okolním vzduchu
g _d [-]	vliv rozdílu nasyceného tlaku pro stromy
e _{f,sat} [Pa]	tlak nasycených vodních par uvnitř listu
e _a [Pa]	tlak nasycených vodních par ve vzduchu
r _a [s/m]	odpor proti transportu vlhkosti rostlinou vlivem aerodynamiky okolního vzduchu
q _{f,sat} [g/kg]	směšovací poměr nasyceného vzduchu ve stavu 100% nasycení vodní parou ve střešním prostoru při teplotě, které dosahuje povrch zeleně
q _{af} [g/kg]	směšovací poměr vzduchu ve střešním prostoru

$q_{g,sat}$ [g/kg]	směšovací poměr vzduchu ve střešním prostoru při teplotě, které dosahuje povrch substrátu
M_g [-]	poměr objemové vlhkosti ku pórovitosti substrátu <0;1>
H_g [J/kg]	citelné teplo - substrát
Q_{ag} [g/m ³]	hustota vzduchu s teplotou střešního povrchu - substrátu
C_{pa} [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita vzduchu při konstantním tlaku
C_{hg} [-]	koeficient citelného tepla procházejícího substrátem, vliv aerodynamiky (závisí na drsnosti povrchu zeleně a povrchu substrátu)
w_{af} [m.s ⁻¹]	rychlost větru ve střešním prostoru
T_{af} [K]	teplota vzduchu ve vzduchové vrstvě střešního prostoru
T_g [K]	teplota povrchu substrátu
L_g [J/kg]	latentní teplo - substrát
C_{eg} [-]	koeficient přenosu latentního tepla
w_{af} [m.s ⁻¹]	rychlost větru ve střešním prostoru
Q_{ag} [g/m ³]	hustota vzduchu s teplotou střešního povrchu – substrátu
q_g [g/kg]	směšovací poměr vzduchové vrstvy na povrchu substrátu
c_f [-]	vliv hrubosti terénu
w_{af} [m/s]	rychlost větru
Q [W]	tepelná ztráta prostupem
[MWh/rok]	mega watt hodina - spotřeba tepelné energie za 1 rok
UHI	urban heat island – Městský tepelný ostrov
NO _x	oxidy dusíku
VOC	volatile organic compound - těkavé organické látky

PM₁₀

částice polétavého prachu

[dB]

decibel, jednotka hladiny intenzity zvuku