Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Ekologické, technické a ekonomické aspekty využití zelených střech

Diplomová práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Kic, DrSc.

Diplomant: Bc. Vojtěch Černý

2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Vojtěch Černý

Regionální environmentální správa

Název práce

Ekologické, technické a ekonomické aspekty využití zelených střech

Název anglicky

Ecological, technical and economic aspects of the use of green roofs

---

Cíle práce

Cílem diplomové práce je analyzovat ekologické, technické a ekonomické aspekty využití zelených střech, skladby střešního pláště a využití vhodných rostlin pro zelené střechy na budovách. Posoudit vliv na vnitřní prostředí, tepelnou bilanci, spotřebu energie a hospodaření s vodou v těchto budovách.
Na základě poznatků z literatury, vlastních úvah a výsledků měření zvážit výhody a nevýhody různých druhů a typů zelených střech, vysazených rostlin a navrhnout vhodná řešení pro praxi z hlediska významu pro životní prostředí v podmínkách České republiky.

Metodika

Úvod

Cíl práce

Metodika práce

Současný stav sledované problematiky

Výsledky

Diskuse

Závěr a přínos práce

Přehled literatury a použitých zdrojů

Doporučený rozsah práce

50 až 60 stran textu

Klíčová slova

Rostliny; sluneční záření; střešní plášť; tepelná bilance; voda; životní prostředí

Doporučené zdroje informací

Časopisy: Flóra. Klimatizace. Vytápění, větrání, instalace.
Čermáková, B.- Mužíková, R.: Ozeleněné střechy. Grada Publishing, a.s., Praha 2009, 148 s.
Hudec, M.: Pasivní domy z přírodních materiálů. Grada, Praha, 2012, 157 s.
Novotný, M.- Misar, I.- Šutliak, S.: Hydroizolace plochých střech. Grada, Praha, 2014, 224 s.
Straka, B. a kol.: Konstrukce šikmých střech. Grada, Praha, 2013, 232 s.
Székyová, M.-Ferstl, K.-Nový, R.: Větrání a klimatizace. JAGA, Bratislava 2006, 359 s.
Tywoniak, J.: Nízkoenergetické domy 3. Nulové, pasivní a další. Grada, Praha, 2012, 195 s.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

prof. Ing. Pavel Kic, DrSc.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 24. 3. 2023

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Ekologické, technické a ekonomické aspekty vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzi tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 29. 3. 2022

Bc. Černý Vojtěch

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu mé práce prof. Ing. Pavlu Kicovi, DrSc. za odborné vedení a ochotu a vstřícnost při zpracování mé práce. Dále své rodině za podporu po celou dobu studia.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na analýzu ekologických, ekonomických a technických aspektů využití zelených střech. Cílem práce je na základě poznatků z literatury posoudit vliv zelených střech na vnitřní prostředí, tepelnou bilanci, spotřebu energie a hospodaření s vodou v budovách. Dále se práce věnuje skladbě střešního pláště u zelených střech a výběru vhodných druhů rostlin pro zelené střechy. Pomocí vlastního výzkumu, měření a analýz je porovnán dopad devíti vybraných rostlin na snížení intenzity slunečního záření, které dopadá na povrch střechy, změnu relativní vlhkosti vzduchu, teploty pod povrchem a teploty ovzduší. Díky výsledným hodnotám je možné určit vliv zastínění rostlinami na sluneční záření dopadající na povrch střechy a také porovnat parametry rostlin a určit jejich vhodnost pro využijí na zelených střechách v podmínkách České republiky.

Klíčová slova

Rostliny, střešní plášť, sluneční záření, zastínění

Abstract

The thesis focuses on the analysis of ecological, economic and technical aspects of green roofs. The aim of this thesis is to assess the impact of green roofs on the indoor environment, thermal balance, energy consumption and water management in buildings based on the literature. Furthermore, the thesis deals with the composition of the roof sheathing of green roofs and the selection of suitable plant species for green roofs. Using in-house research, measurements and analyses, the impact of nine selected plants on the reduction of solar radiation intensity reaching the roof surface, the change in relative humidity, the temperature below the surface and the air temperature is compared. Thanks to the resulting values it is possible to determine the effect of shading by plants on solar radiation falling on the roof surface and also to compare the parameters of plants and determine their suitability for use on green roofs in the conditions of the Czech Republic.

Keywords

Plants, roof sheathing, solar radiation, shading

Obsah

1. Úvod 11

2. Cíle práce 12

3. Metodika 13

3.1 Výběr a charakteristika měřené lokality 13

3.2 Použité měřicí přístroje 15

3.3 Výpočty a vysvětlení použitých zkratek 18

3.4 Výpočet prostupu tepla a průběh teplot v konstrukci 19

4. Současný stav sledované problematiky 21

4.1 Charakteristika zelených střech 21

4.1.1 Definice pojmu zelená střecha 21

4.1.2 Historie zelených střech 21

4.1.3 Počátky moderních zelených střech 23

4.1.4 Hlavní výhody zelených střech 24

4.2 Typy zelených střech 25

4.2.1 Rozdělení zelených střech podle přístupnosti 25

4.2.2 Rozdělení zelených střech podle typu vegetace 26

4.2.3 Rozdělení zelených střech podle složení vegetačních vrstev 30

4.2.3 Rozdělení zelených střech podle jejich funkce 30

4.2.3 Rozdělení zelených střech podle sklonu 31

4.3 Ekologické aspekty zelených střech 32

4.3.1 Pozitivní vliv na mikroklima v okolí 32

4.3.2 Zlepšení kvality ovzduší v blízkém okolí 33

4.3.3 Podpora biodiverzity 34

4.3.4 Hospodaření s dešťovou vodou 35

4.4 Ekonomické aspekty zelených střech 37

4.4.1 Investiční náklady 37
4.4.2 Způsoby podpory zelených střech 38
4.5 Technické aspekty zelených střech 40
4.5.1 Střešní konstrukce 40
4.5.2 Okraje střešní konstrukce 40
4.5.3 Skladba ozeleněných střešních plášťů 43
4.6 Vliv zelených střech na vnitřní prostředí 48
4.6.1 Tepelná pohoda 48
4.6.2 Kvalita vnitřního vzduchu 49
4.6.3 Vlhkost ve vnitřním prostředí 49
4.7 Vliv zelených střech na vnitřní prostředí 51
4.8 Výběr vhodných rostlin pro zelené střechy 53
4.8.1 Trvalky a rozchodníky 53
4.8.2 Trávníky 55
4.8.3 Dřeviny 56
5. Výsledky 57
5.1 Porovnání rostlinami zastíněné a nezastíněné plochy 57
5.1.1 Tolice vojtěška – *Medicago sativa* 57
5.1.2 Slunečnice roční – *Helianthus annuus* 58
5.1.3 Pšenice setá – *Triticum aestivum* 59
5.1.4 Ječmen setý – *Hordeum vulgare* 60
5.1.5 Hrách setý – *Pisum sativum* 61
5.1.6 Laskavec – *Amaranthus* 62
5.1.7 Pohanka setá – *Polygonum fagopyrum* 63
5.1.8 Bér vlašský – *Setaria italica* 64
5.1.9 Trávník a kačírek 65

5.2 Porovnání rozdílů mezi rostlinami 66
5.3 Celkový dopad zastínění rostlinami 70
5.4 Vliv zelené střechy na izolační vlastnosti konstrukce 71
6. Diskuse 73
7. Závěr a přínos práce 75
Přehled literatury a použitých zdrojů 77
Seznam použitých obrázků 83
Seznam použitých tabulek 85

1. Úvod

Zelené střechy se v posledních letech stávají stále populárnější alternativou k tradičním střechám a jejich význam pro udržitelné hospodaření s vodou, pro ochranu před extrémními klimatickými podmínkami a pro zlepšení kvality života v městském prostředí stále roste.

Zelené střechy jsou někdy milně považovány za ekologickou a designovou novinku. Pravdou však je, že jsou lidstvu známy a využívány již po tisíciletí. Hlavní účel těchto střech se ovšem v průběhu vývoje rozšířil z čistě izolačního také na enviromentální. Enviromentálním účelem je rozuměno zkvalitnění životního prostředí, a to především v městské zástavbě, kde je zeleně nedostatek. Zeleň je pro města stále více důležitá, protože pomáhá regulovat extrémně vysoké teploty a zároveň zvlhčovat okolní ovzduší. Tam, kde není prostor zeleň umístit na ulice, mohou posloužit právě zelené střechy. Rostliny mají také pozitivní dopad na estetickou hodnotu budov.

Další potenciál zelených střech je v pěstování užitkových plodin na ploše střechy. V České republice stále ubývají plochy zemědělského půdního fondu a tím se zmenšují plochy pro pěstování rostlin. Zelené střechy mohou alespoň malou část úbytků kompenzovat.

Tato diplomová práce zkoumá vybrané užitkové rostliny, pro potřeby využití na zelených střechách. Díky umožnění přístupu na zelenou střechu Národního zemědělského muzea bylo možné měřit parametry osmy vybraných rostlin, které jsou vnímány především pro jejich využití v zemědělství. Měření bylo zaměřeno na porovnání nezakryté plochy střechy s plochou, která byla zastíněna rostlinným stínem. Měřena byla intenzita dopadajícího slunečního záření, teplota u povrchu, teplota v hloubce 10 cm pod povrchem a relativní vlhkost vzduchu u povrchu. Podle výsledků měření bude vyhodnocena míra vlivu vegetace na zmíněné aspekty. Na základě výsledků bude možné posoudit, zda jsou i tyto rostliny, které mají přidanou hodnotu ve formě dalšího využití, vhodné pro výsadbu na zelených střechách. V neposlední řadě bude doporučeno, zda jsou tyto rostliny využitelné v praxi z hlediska podmínek České republiky.

Tato diplomová práce přináší nové poznatky v oblasti využití zelených střech a poskytuje ucelený pohled na výhody této stavební technologie.

2. Cíle práce

Cílem diplomové práce je na základě poznatků z literatury analyzovat ekologické, technické a ekonomické aspekty využití zelených střech, skladbu střešního pláště u zelených střech a výběr vhodných rostlin pro zelené střechy na budovách. Práce posuzuje vliv zelené střechy na vnitřní prostředí, tepelnou bilanci, spotřebu energie a hospodaření s vodou v těchto budovách. Dále práce ukazuje standartní konstrukční řešení aplikované při realizaci zelených střech.

Na základě provedeného měření a z něj vycházejících výsledů práce porovnává vlastnosti nestandartních, převážně užitkových, rostlin, které by mohly být na zelených střechách vysazeny z důvodu další přidané hodnoty. Z výsledků měření je možné zjistit, jaký je vliv vegetace na snížení intenzity slunečního záření, dopadajícího na povrch střechy, teplotu vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a teplotu v hloubce 10 cm pod povrchem. V neposlední řadě si práce klade za cíl zhodnotit měřené rostliny pro použití na zelených střechách v praxi a z hlediska významu pro životní prostředí v podmínkách České republiky.

3. Metodika

Diplomová práce je rozdělena do dvou hlavních částí. V první, rešeršní části je pomocí dostupné literatury a odborných zdrojů přiblížen současný stav sledované problematiky zelených střech. Při získávání informací bylo vycházeno z relevantních a odborných zdrojů. Při psaní pak byl kladen důraz na nejnovější poznatky a trendy. Hojně byly využívány zdroje a studie ze zahraničí, ale také česká odborná literatura.

Ve druhé, praktické části, je představen vlastní výzkum, který proběhl na střeše Národního zemědělského muzea v Praze. Cílem výzkumu bylo pomocí měření porovnat intenzitu dopadajícího slunečního záření, teplotu vzduchu a teplotu pod povrchem v místech zastíněných vegetací a na místech bez zastínění. Dále porovnat mezi sebou vlastnosti vybraných rostlin a jejich vhodnosti pro využití na zelených střechách v podmínkách České republiky.

Měření probíhalo dne 12.8.2021 za odborného dohledu vedoucího práce, profesora Ing. Pavla Kice, DR.SC. Základní získaná data byla nejdříve zapisována ručně do předem připravených tabulek a poté porovnána se získanými daty z přístrojů. Jelikož ne všechny použité přístroje mají schopnost ukládat údaje do své paměti, výsledná data jsou kombinací dat získaných z databáze měřicích přístrojů a dat ručně zapsaných. U každého měření byly zaznamenávány tyto hodnoty: čas měření, český název rostliny, teplota na povrchu půdy [°C], teplota vzduchu u povrchu [°C], relativní vlhkost vzduchu [%]. intenzita dopadajícího slunečního záření [W/m^2], vlhkost půdy na stupnici 1–8 a pH půdy.

Získaná data byla zpracována do tabulek a následně porovnána a graficky znázorněna v programu Excel.

3.1 Výběr a charakteristika měřené lokality

Vybraná lokalita, střecha Národního zemědělského muzea (obrázek 2), byla zvolena kvůli jedinečné možnosti porovnání mnoha druhů rostlin, z nichž některé jsou pro využití na zelených střechách netradiční. Bylo tak možné zkoumat vhodnost a vlastnosti rostlin, pěstovaných především jako zemědělské rostliny. Zároveň je budova Národního zemědělského muzea v dosahu České zemědělské univerzity,

odkud byly zapůjčeny měřicí přístroje a logisticky tak nebylo obtížné vše potřebné na místo dopravit.

Měření probíhalo v dopoledních a poledních hodinách, kdy se teplota vzduchu pohybovala okolo 25 °C ve stínu a převládalo jasno až polojasno. Jak je možné vidět z obrázku č.1, na měřenou lokalitu svítí přímý sluneční svit po celý den, jelikož střecha budovy není zastíněna žádným objektem. Budova se nachází v nadmořské výšce 229 m. n. m.

Obrázek 1: letecký pohled na budovu Národního zemědělského muzea v Praze

Zdroj: [1]

Obrázek 2: fotografie rostlin na měřené zelené střeše

Zdroj: vlastní fotografie

3.2 Použité měřicí přístroje

K měření teploty pod povrchem půdy, teploty vzduchu u povrchu, relativní vlhkosti půdy a intenzity slunečního záření byl použit měřicí systém Almemo 2690 (na obrázku č.3), který je vybaven sensory na měření teploty a vlhkosti vzduchu NiCr-Ni (type K) s rozsahem –25 až +400 °C, s citlivostí 0.1 °C a s přesností měření ± 1% měřené hodnot.

Obrázek 3: měřící systém Almemo 2690

Zdroj: vlastní fotografie

Pro měření intenzity slunečního záření byl k systému Almemo 2690 připojen snímač globálního záření FLA 613 GS (obrázek č. 4) s rozsahem měření od 0 do cca 1 200 W/m^2, se spektrální citlivostí od 400 nm do 1100 nm a absolutní chybou měření menší než 10 %.

Obrázek 4: snímač globálního záření FLA 613 GS

Zdroj: vlastní fotografie

Pro kontrolu a porovnání některých hodnot byl použit také zapichovací přístroj pro měření vlastností půdy – CONRAD 4 v 1 (na obrázku č.5 vpravo). Pomocí něj byla měřena teplota pod povrchem v hloubce 10 cm, orientační pH půdy, přibližná vlhkost půdy a přibližná intenzita dopadajícího slunečního záření.

Technické parametry přístroje CONRAD 4 v 1:

• Rozsah měření teploty: –9 °C až +50 °C

• Rozsah měření pH: 3,5 až 9,0

• Zobrazení vlhkosti půdy: v 5 stupních

• Zobrazení intenzity slunečního světla: v 9 stupních

• Rozměry: 315 × 63 × 36 mm (D× Š × H)

• Rozměry měřicí sondy: 195 × 5 mm (D × Ø)

Poslední použitý přístroj, zapichovací měřič vlhkosti půdy Basetech BT – 235 PT s analogovým displejem (na obrázku č. 5 vlevo), zobrazuje vlhkost půdy na stupnici od 1 do 8. Výstupy z tohoto měřidla slouží pouze pro kontrolu.

Obrázek 5: CONRAD 4 v 1 a analogový měřič vlhkosti Basetech BT - 235 PT

Zdroj: vlastní fotografie

3.3 Výpočty a vysvětlení použitých zkratek

Procentuální rozdíl intenzity slunečního záření mezi nezastíněnou a zastíněnou plochou:

$$I_r = \frac{I_{r1} - I_{r2}}{I_{r1}} . 100$$

I_r – procentuální rozdíl dopadajícího slunečního [%]

I_{r1} – sluneční záření dopadající na nezastíněnou plochu [W/m^2]

I_{r2} – sluneční záření dopadající na plochu zastíněnou rostlinou [W/m^2]

Rozdíl teplot půdy v hloubce 10 cm mezi nezastíněnou a zastíněnou plochou:

$$t_p = t_{p1} - t_{p2}$$

t_p – rozdíl teploty půdy v hloubce 10 cm [°C]

t_{p1} – teplota půdy v hloubce 10 cm u nezastíněné plochy [°C]

t_{p2} – teplota půdy v hloubce 10 cm u zastíněné plochy [°C]

Rozdíl teplot vzduchu u povrchu mezi nezakrytou a zakrytou částí:

$$t_a = t_{a1} - t_{a2}$$

t_a – rozdíl teploty vzduchu [°C]

t_{a1} – teplota vzduchu u nezakryté části [°C]

t_{a2} – teplota vzduchu u zakryté části [°C]

Rozdíl relativní vlhkosti vzduchu na povrchu mezi nezakrytou a zakrytou částí:

$$R_{ha} = R_{ha1} - R_{ha2}$$

R_{ha} – rozdíl teploty vzduchu [%]

R_{ha1} – teplota vzduchu u nezakryté části [%]

R_{ha2} – teplota vzduchu u zakryté části [%]

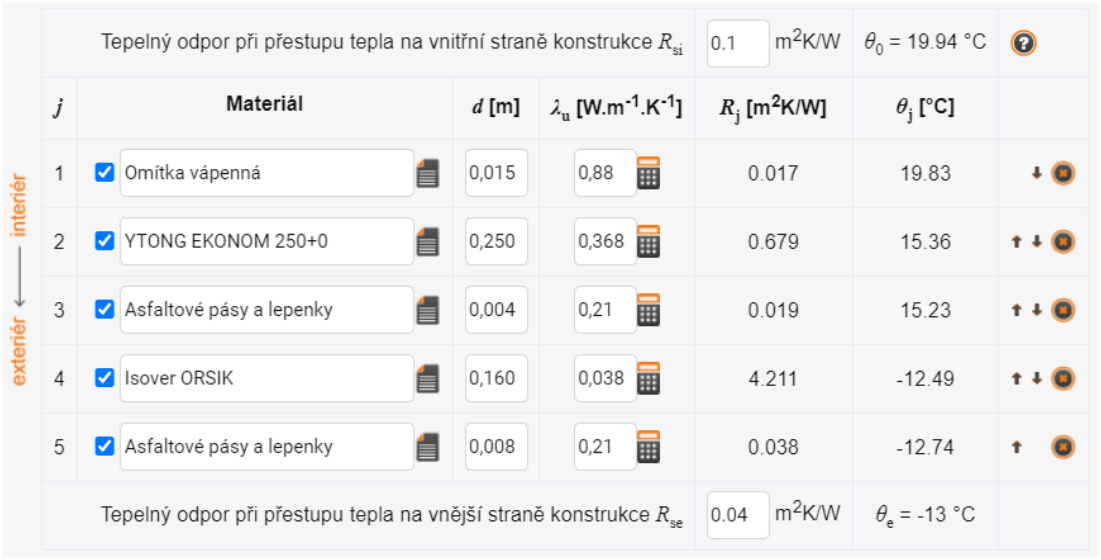
3.4 Výpočet prostupu tepla a průběh teplot v konstrukci

Původní záměr byl zjistit vliv zelené střechy na řešenou budovu Národního zemědělského muzea v Praze. Po konzultaci s příslušnými pracovníky muzea a náhledu do projektové dokumentace bylo ale zjištěno, že konstrukce zelené střechy je na speciálním dřevěném roštu, který je posazen nad střešní konstrukci. Z tohoto důvodu je vliv zelené střechy na prostup tepla konstrukcí směrem z budovy pouze minimální.

Aby bylo možné porovnat vliv zelené střechy na prostup tepla konstrukcí, bylo zvoleno řešení fiktivní budovy. K výpočtu byl použit on-line nástroj pro výpočet prostupu tepla konstrukcí dostupný na portálu TZBinfo [2].

Nejprve byla vytvořena konstrukce střechy bez vegetačního souvrství. Do tabulky byly vloženy vrstvy, které mají vliv na prostup tepla konstrukcí – viz obrázek č. 6

Obrázek 6: vrstvy střešní konstrukce

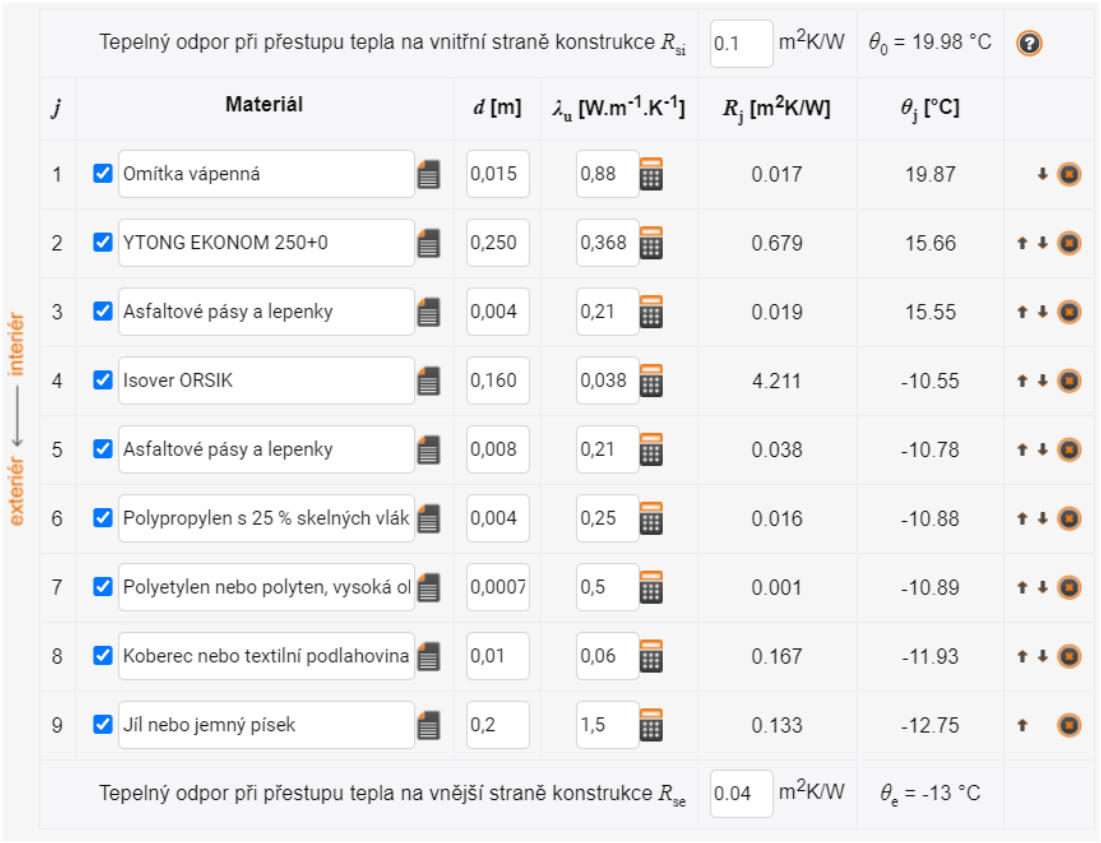


	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0.1 m²K/W	θ_0 = 19.94 °C	
	j	Materiál	d [m]	λ_u [W.m⁻¹.K⁻¹]	R_j [m²K/W]	θ_j [°C]
interiér → exteriér	1	Omítka vápenná	0,015	0,88	0.017	19.83
	2	YTONG EKONOM 250+0	0,250	0,368	0.679	15.36
	3	Asfaltové pásy a lepenky	0,004	0,21	0.019	15.23
	4	Isover ORSIK	0,160	0,038	4.211	-12.49
	5	Asfaltové pásy a lepenky	0,008	0,21	0.038	-12.74
	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce R_{se}			0.04 m²K/W	θ_e = -13 °C	

Zdroj: [2]

V dalším postupu byly k vytvořené konstrukci přidány další vrstvy, které představují přidanou konstrukci zelené střechy. Vzhledem k omezenému výběru v katalogu materiálů, byla vegetační vrstva zjednodušena na separační vrstvu v podobě polypropylenové geotextilie, drenážní vrstvy v podobě polyethylenové folie, na filtrační vrstvy ve výpočtu simulující textilní podlahoviny a jíl, který představuje vegetační substrát. Podrobné údaje jsou uvedeny v tabulce na obrázku č.7, která rovněž ukazuje pořadí a tloušťku vrstev.

Obrázek 7: střešní konstrukce s přidanou vegetační vrstvou



	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0.1 m²K/W	θ_0 = 19.98 °C	
j	Materiál	d [m]	λ_u [W.m^{-1}.K^{-1}]	R_j [m²K/W]	θ_j [°C]	
1	Omítka vápenná	0,015	0,88	0.017	19.87	
2	YTONG EKONOM 250+0	0,250	0,368	0.679	15.66	
3	Asfaltové pásy a lepenky	0,004	0,21	0.019	15.55	
4	Isover ORSIK	0,160	0,038	4.211	-10.55	
5	Asfaltové pásy a lepenky	0,008	0,21	0.038	-10.78	
6	Polypropylen s 25 % skelných vlák	0,004	0,25	0.016	-10.88	
7	Polyetylen nebo polyten, vysoká ol	0,0007	0,5	0.001	-10.89	
8	Koberec nebo textilní podlahovina	0,01	0,06	0.167	-11.93	
9	Jíl nebo jemný písek	0,2	1,5	0.133	-12.75	
	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce R_{se}			0.04 m²K/W	θ_e = -13 °C	

interiér
exteriér

Zdroj: [2]

Tabulky na obrázcích 6 a 7 ukazují zadané vstupy do on-line kalkulačky prostupu tepla a průběhu teplot v konstrukci. Použitý materiál byl vkládán z katalogu přímo na portálu TZBinfo.

d – tloušťka jednotlivé vrstvy [m]

λ_u – součinitel tepelné vodivosti dané vrstvy [W.m^{-1}.K^{-1}]

R_j – tepelný odpor dané vrstvy [m²K/W]

θ_j – výpočtová teplota vnitřního vzduchu [°C]

4. Současný stav sledované problematiky

4.1 Charakteristika zelených střech

4.1.1 Definice pojmu zelená střecha

Pojmem zelená střecha se rozumí taková střecha, která je celkově, nebo částečně pokryta vegetací s podložním substrátem či vhodně vybranou propustnou zeminou a ochranou vrstvou, která chrání hydroizolační membránu. Velmi zjednodušeně se dá říct, že je to taková střecha, na které záměrně rostou zvolené druhy rostlin za účelem zlepšení izolačních vlastností konstrukce. U nás zažitý a nejčastěji používaný termín zelená střecha vznikl pravděpodobně chybou v překladu. V původním anglickém názvu „green roof“ má slovo green význam spíše jako zeleň ve smyslu vegetace než označení pro zelenou barvu. Zcela doslovný překlad by mohl znít vegetační střecha, ovšem slovní spojení zelená střecha se již vžilo a odborná i široká veřejnost ví, co se tímto pojmem rozumí. [3]

4.1.2 Historie zelených střech

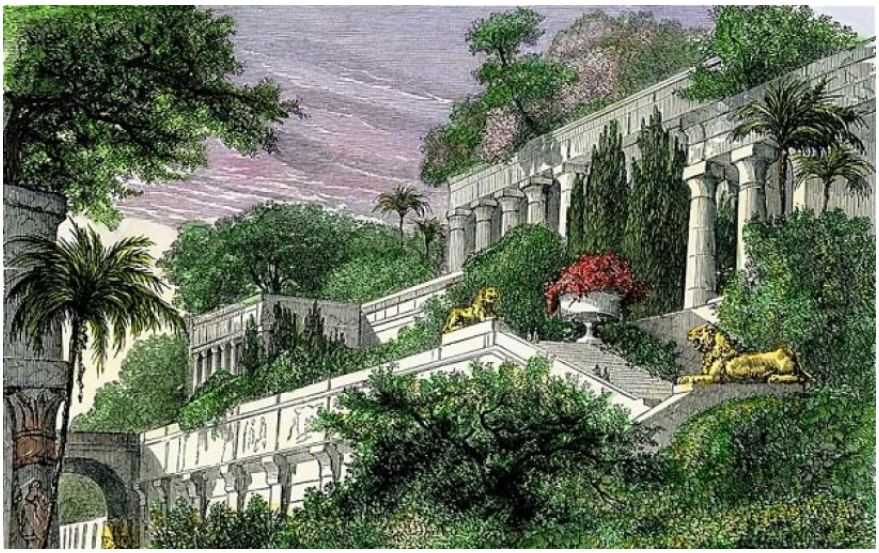
Střechy pokryté vegetací nejsou z historického hlediska ve stavebnictví žádnou novinkou, ačkoli v široké veřejnosti mohou být pokládány za nový a moderní prvek. Existence prvních střech se záměrným vegetačním pokryvem je odhadována na dobu kolem roku 2000 př. n. l. Tehdy tato metoda izolace vznikla nejspíše z praktických důvodů a nikoli kvůli estetickému, ekologickému či ekonomickému přínosu. Lidé tehdy využívali dobré izolační vlastnosti jílu doplněné vhodnými rostlinami, které ještě přidávaly celé střeše na pevnosti. [4]

Dnešní zelené střechy mají předchůdce ve dvou různých historických proudech. Prvním proudem byly tzv. střešní zahrady, tedy ploché střechy, které byly jen zřídka pokryty vrstvou substrátu a vegetací. Tyto střešní zahrady měly spíše estetický a rekreační význam. Plnily spíše funkce parků či zahrad. Tento typ střech je znám již z dob Mezopotámie a Babylonské říše, tedy z období kolem druhého tisíciletí př.n.l. Mezi nejznámější patří bájné visuté zahrady Semiramidiny – ilustrace na obrázku č. 8. [5]

Druhým proudem jsou tzv. nepochozí střechy. Tento druh vegetací porostlých střech měl dříve čistě izolační využití. Konstrukce střechy byla kompletně pokryta

substrátem, na kterém vyrůstaly rostliny. Ty pokrývaly celou plochu střechy (obrázek č. 9) Tento typ střech má svůj původ na Faerských ostrovech, v Severní Americe, na Islandu, a také na území dnešního Turecka. Tyto oblasti sice mají úplně odlišné klimatické podmínky, ale účel střech byl všude stejný, a to izolovat před venkovními podmínkami. Zatímco v chladných oblastech nepochozí střechy přispívaly k akumulaci tepla uvnitř, v teplých podmínkách tyto střechy naopak pomáhaly ochlazovat interiér [6]

Obrázek 8: ilustrace visuté zahrady v Babylonu



Zdroj: [7]

Obrázek 9: zelené střechy na Faerských ostrovech

Zdroj: [8]

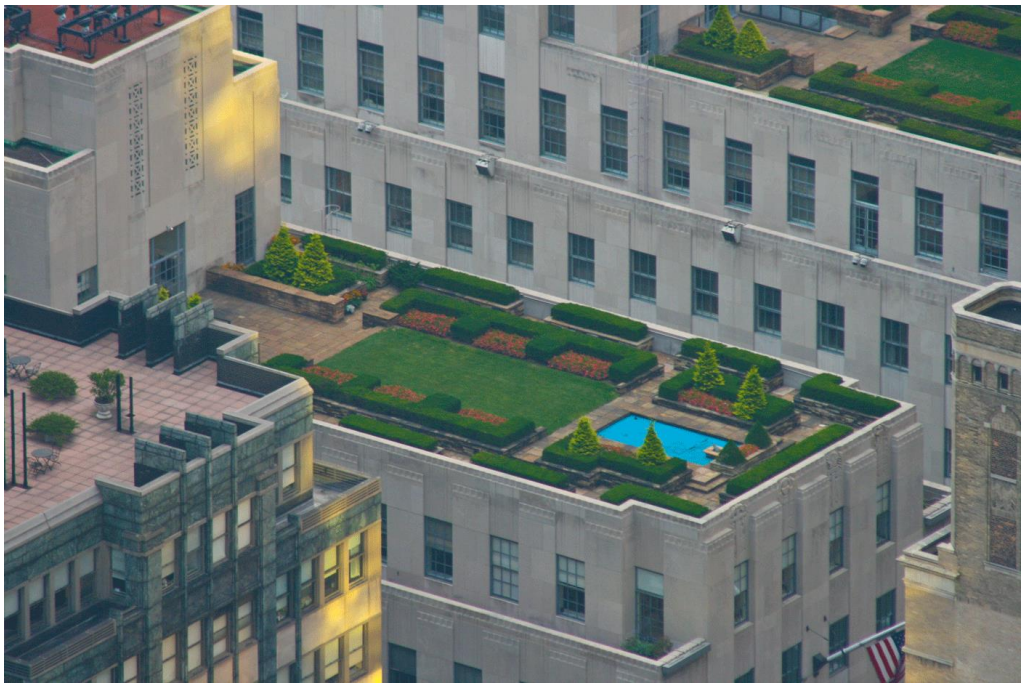
4.1.3 Počátky moderních zelených střech

Na počátku novověku se začala objevovat myšlenka zelené střechy; tento koncept byl široce přijat v různých regionech a kulturách. V polovině 80. let 19. století přinesla nová technologie myšlenky na tzv. živé střechy na vrcholu střech betonových. První takový model se objevil na světové výstavě Expo v Paříži v roce 1867. Model znázorňoval zelenou střechu opatřenou hydroizolačním a odvodňovacím systémem. Tento model se považuje za první návrh extenzivní zelené střechy v podobě, jak ji známe dnes. [9]

V průběhu 20. století se začínají objevovat zelené střechy v moderní architektuře. Stále více progresivních architektů začíná do svých návrhů implementovat zelené střechy a stěny, aby spojili přírodní prvky se stavbou. [9]

Koncem 20. století se s příchodem průmyslové éry dostávala koncepce zelených střech do praxe stále častěji. Se zdokonalením střešních izolačních vrstev se staly systémy pro střešní bylinnou vegetaci neustále rozšířenější. Jako první přijalo princip zelených střech Německo. Následovala severní Evropa, Severní Amerika a několik zemí v Asii. Mezi nejznámější patřily zahrady na střeše Rockefellerova centra v New Yorku – viz obrázek č. 10. Jejich význam byl ale hlavně estetický. [10]

Obrázek 10: střešní zahrada na Rockefeller centre



Zdroj: [7]

4.1.4 Hlavní výhody zelených střech

Zelené střechy poskytují nejen estetické a rekreační benefity. Jejich hlavními výhodami jsou především velmi účinné regulace vlhkosti vzduchu, zkvalitnění okolního mikroklimatu, podporování efektivnějšího hospodaření s dešťovými vodami, snižování hlučnosti, čištění vzduchu a poskytování výrazné podpory biodiverzity i v místech, odkud mnoho živočišných tvorů dávno vymizela. Všechny tyto funkce jsou vzájemně propojeny.

Každá střešní konstrukce je po dobu své životnosti vystavena působením mnoha vlivům, které její životnost výrazně zkracují. Všechny typy střešních krytin jsou negativně ovlivňovány působením tepla v horkých letních dnech, mrazu v zimních měsících, chemickým procesům způsobených imisemi, větrem či UV zářením. Zelené střechy mohou konstrukci střechy před těmito vlivy do jisté míry ochránit a prodloužit tak její životnost.

Rostliny na střechách mají schopnost tepelně izolovat. Čím více rostlin na střeše je, tím větší je tepelně izolační účinek. Listy rostlin odráží část tepla, které je vyzařováno z budovy, a další část absorbují. To snižuje tepelné ztráty budovy způsobené vyzařováním. Hustý rostlinný polštář také chrání střechu také před větrem. V důsledku toho, že se vzduch téměř nehýbe, je tepelná ztráta způsobená větrem velmi malá. Proto může pro starší budovy, které nejsou chráněné před poryvy větru, tlustý rostlinný polštář představovat účinnou úsporu energie. [11]

Zelené střechy mohou přispět k lepší zvukové izolaci budovy. Rostliny na střeše totiž mohou absorbovat zvukové vlny a tím snižovat hluk v okolí. Tento účinek je závislý na hustotě a druhu použitých rostlin, ale i na tloušťce a druhu použitého substrátu a dalších vrstev na střeše. V některých případech může být vhodné použít speciální zvukově izolační vrstvy nebo substráty, které zvukovou izolaci ještě zlepší. Zelené střechy tak mohou být užitečné zejména v rušných městských oblastech nebo v blízkosti letišť nebo dálnic. [12]

Retenční schopnost zelených střech znamená jejich schopnost uchovávat vodu v substrátu a tím snižovat množství dešťové vody, které je odváděno do kanalizace. Voda se uchovává v mezerách v substrátu a postupně se vsakuje do půdy, nebo se vypařuje. Tím se snižuje zatížení kanalizace a předchází se povodním. Retenční schopnost zelených střech závisí na několika faktorech, jako je druh a tloušťka

substrátu, druh a hustota použitých rostlin, ale také na klimatických podmínkách a vlhkosti vzduchu v dané oblasti. Zelené střechy tak mohou být užitečné zejména v oblastech s vysokým zatížením dešťovou vodou nebo v oblastech s nedostatkem půdy pro zavlažování. [13]

4.2 Typy zelených střech

Zelené střechy mají stále primárně chránit budovu a její obyvatele proti vlivům okolního prostředí. Aby tato stěžejní funkce byla naplněna, je zapotřebí při realizaci vybrat vhodný typ a konstrukci zelené střechy.

Zelené střechy se dělí podle kritérií:

- přístupnosti,
- typu vegetace,
- složení vegetačních vrstev,
- funkce,
- sklonu. [14]

4.2.1 Rozdělení zelených střech podle přístupnosti

Na základě kritéria přístupnosti je důležité si před samotnou projektovou fází rozhodnout, zda bude zelená střecha sloužit pouze jako střešní krytina bez možnosti pohybu po ní, nebo jestli bude zároveň plnit funkci například odpočinkové zóny. [14]

4.2.1.1 Pochozí zelené střechy

Pochozí zelené střechy navrženy tak, aby byly bezpečné pro chůzi a mohly být používány jako prostor pro rekreaci nebo pro pořádání akcí pro větší počet poučených osob. Mohou být umístěny na budovách nebo na veřejných prostranstvích a obvykle obsahují cesty, aby nedocházelo k poničení vegetace. Musí být také opatřeny vhodnými bezpečnostními prvky, které zabrání pádu ze střechy. Pochozí zelené střechy mohou poskytovat řadu přínosů, jako je snížení hluku a tepla v okolí, zlepšení kvality vzduchu a zvýšení biodiverzity v městském prostředí. [15] [16]

4.2.1.2 Nepochozí zelené střechy

Nepochozí zelené střechy nejsou navrženy pro pobyt osob a jsou používány výhradně pro účely růstu vegetace a odvodnění. Předpokládá se, že přístup na tento typ střech má pouze proškolený personál za účelem údržby. Obvykle jsou nepochozí zelené střechy osázeny nenáročnými rostlinami, odolnými proti suchu. I tyto střechy však mohou přinést řadu přínosů, jako je snížení hluku a tepla v okolí, zlepšení kvality vzduchu a ochrana před dešťovými odtoky, navíc nepochozí zelené střechy obvykle vyžadují méně údržby než pochozí zelené střechy a jejich konstrukce má nižší hmotnost. [15] [16]

4.2.1.3 Pobytové zelené střechy

Pobytové zelené střechy jsou navrženy tak, aby poskytovaly prostor pro pohodlné posezení. Mohou být umístěny na budovách nebo na veřejných prostranstvích a obvykle obsahují prvky jako sedací oblasti, pergoly nebo zahradní nábytek. Pobytové zelené střechy mohou být použity jako místo pro odpočinek nebo jako místo pro společenských akcí. Pobytové a pochozí zelené střechy jsou si velmi podobné. Rozdíly můžeme najít především v designu a údržbě. Jelikož jsou pobytové střechy většinou vybaveny více prvky, vyžadují také vyšší nároky na údržbu. [15] [16]

4.2.2 Rozdělení zelených střech podle typu vegetace

Výběr typu vegetace je pro správně fungující zelenou střechu klíčový. Je dobré zvážit, jaký účel bude zelená střecha plnit, a vybrat typ vegetace vhodný pro tento účel. Například pro pobytovou zelenou střechu by se pravděpodobně volila taková vegetace, která by zastínila velkou plochu a byla esteticky zajímavá.

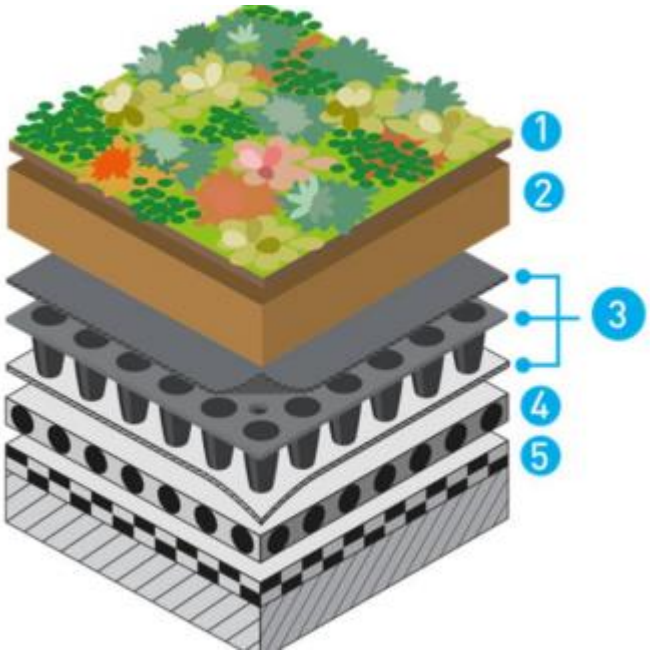
Velkou roli hraje také množství slunečního svitu. Při projekci střechy je nutné brát v potaz množství a intenzitu slunečního svitu, které bude zelená střecha dostávat, a vybrat podle toho vhodné rostliny. Podle typu vegetace rozeznáváme několik druhů zelených střech. [17]

4.2.2.1 Extenzivní zelené střechy

Extenzivní zelené střechy jsou z pravidla osázeny nenáročnými, vůči suchu odolnými, rostlinami a vyžadují méně údržby než intenzivní zelené střechy. Na extenzivní zelené střechy se umisťují systémy, které mají mocnost souvrství mezi 60-150 mm. Proto jsou

obvykle lehčí než intenzivní zelené střechy, což je dělá vhodnými pro budovy s omezenou nosností střechy. Z důvodu nenáročnosti a potřeb kontroly jedenkrát až dvakrát ročně bývají extenzivní zelené střechy často nepochozí. Řez vrstvami extenzivní zelené střechy včetně používaných vrstev ukazuje obrázek č. 11. [18] [19]

Obrázek 11: řez reprezentativním extenzivním systémem zelených střech včetně typicky používaných vrstev.



1. Vegetace
2. Vegetační vrstva
3. Systém drenážní a filtrační vrstvy
4. Kořenovzdorná vrstva
5. Hydroizolační vrstva

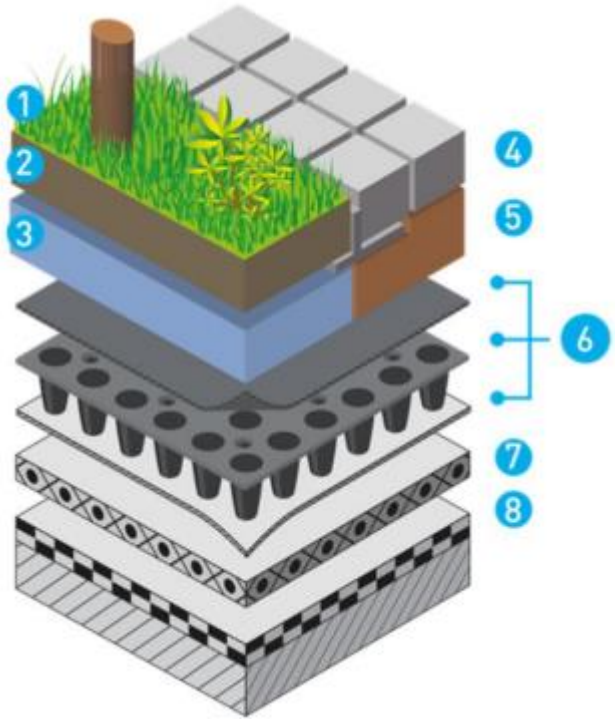
Zdroj: [20]

4.2.2.2 Intenzivní zelené střechy

Intenzivní zelené střechy jsou obvykle osázeny více náročnými rostlinami, proto vyžadují více údržby než extenzivní zelené střechy. Dále tento typ upravuje podmínky pro růst zvolené vegetace včetně její intenzivní údržby pomocí závlahy, přihnojování, kultivace, odstraňování nežádoucích rostlin apod. Zvolená vegetace je zpravidla záměrně projektována, a proto mají rostliny intenzivních zelených střech vysoce estetickou a užitnou hodnotu. Výběr rostlin omezují pouze faktory prostředí, které nelze pomocí technických prostředků upravit. Mocnost souvrství často přesahuje 300 mm. S mocností souvrství roste i hmotnost, z toho důvodu jsou intenzivní zelené střechy z pravidla těžší. Tento typ střech má velmi často využití i jako odpočinková zóna, a proto jsou obvykle navrhovány jako pobytové. Kvůli nárokům odpočinkových

zón je obvykle projektován samostatný zavlažovací systém. Řez vrstvami intenzivní zelené střechy je možné vidět na obrázku č. 12. [19]

Obrázek 12: řez reprezentativním intenzivním systémem zelených střech včetně typicky používaných vrstev.



1. Intenzivní vegetace
2. Vegetační vrstva
3. Hydroakumulační vrstva
4. Pochozí prvek
5. Podkladní vrstva pro pochozí prvek
6. Systém filtrační a drenážní vrstvy
7. Ochranná vrstva
8. Hydroizolační vrstva

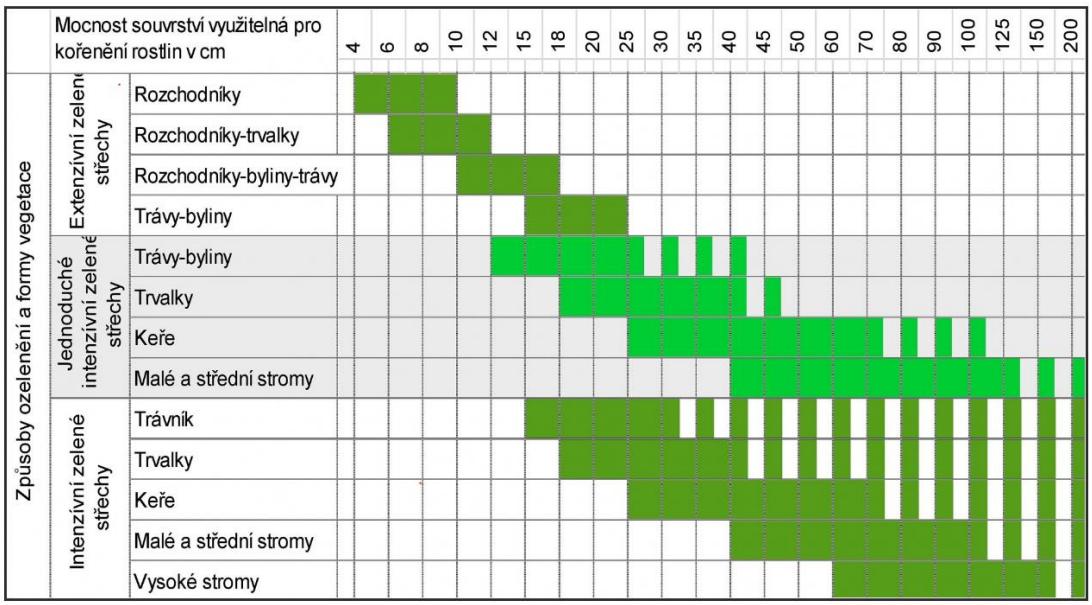
Zdroj: [21]

4.2.2.3 Polointenzivní zelené střechy

Polointenzivní zelené střechy, někdy označované také jako jednoduché intenzivní zelené střechy, jsou přechodovým typem mezi střechami intenzivními a extenzivními. Kromě rostlin vhodných pro střechy extenzivní je možné využít i další vegetační druhy, které mají vyšší nároky na mocnost souvrství, zásobování vodou nebo množství živin. Ostatními nároky se tyto střechy příliš neliší od nároků střech extenzivních. Polointenzivní zelené střechy vyžadují kontrolu kvůli případnému odstranění nežádoucí vegetace a přihnojení asi dvakrát za rok. Mocnost vegetačního souvrství se pohybuje mezi 150 až 300 mm, záleží to na zvolené rostlinné skladbě. Polointenzivní zelené střechy mohou být vhodné pro budovy s omezenou nosností střechy, protože jsou obvykle lehčí než intenzivní zelené střechy. [22]

Detailní vymezení jednotlivých typů střech podle použité vegetace a potřebné mocnosti je zobrazeno v následující tabulce 1.

Tabulka 1: mocnost souvrství využitelné pro kořenění rostlin u různých způsobů ozelenění a forem vegetace



Zdroj: [23]

4.2.3 Rozdělení zelených střech podle složení vegetačních vrstev

Zelené střechy se dělí podle složení vegetačních vrstev na dva typy.

1. Vícevrstvé zelené střechy: Vícevrstvé zelené střechy jsou vybudovány z několika vrstev, které zahrnují podloží, drenážní vrstvu, vrstvu substrátu a vrstvu vegetace. Podloží slouží k ochraně střechy před poškozením, drenážní vrstva pomáhá odvádět přebytečnou vodu z rostlin a vrstva substrátu poskytuje živiny a podporu pro rostliny. Vícevrstvé zelené střechy jsou obvykle těžší než jednovrstvé zelené střechy, protože obsahují více zeminy a rostlin.[24]

2. Jednovrstvé zelené střechy: Jednovrstvé zelené střechy jsou osázeny rostlinami, které jsou zasazeny do speciálních nádob nebo záhonů umístěných na střeše. Tyto nádoby nebo záhony jsou umístěny na speciálních podpěrách nebo vyvýšených plochách, které umožňují odtok přebytečné vody. Jednovrstvé zelené střechy jsou obvykle lehčí než vícevrstvé zelené střechy, protože obsahují méně zeminy a rostlin. [24]

4.2.3 Rozdělení zelených střech podle jejich funkce

Před samotnou projekcí zelené střechy je potřeba si ujasnit, jakou funkci by měla střecha plnit. Kromě již výše zmíněných výhod mohou být zelené střechy zaměřeny na následující funkce:

Retenční funkce: zelené střechy mohou sloužit jako retenční nádrže pro dešťovou vodu, která může být použita pro zalévání rostlin nebo pro odtok do kanalizace v případě přebytku vody.

Pěstební funkce: zelené střechy mohou být osázeny různými druhy rostlin, které mohou být pěstovány pro estetické účely nebo pro získávání potravy.

Kombinované s fotovoltaikou: zelené střechy mohou být kombinovány s fotovoltaickými panely, což umožňuje budově vyrábět vlastní elektřinu. Panely na střeše vytváří částečné zastínění, což může střešní vegetaci prospívat.

Podporující biodiverzitu: zelené střechy mohou být osázeny různými druhy rostlin, které poskytují útočiště pro živočichy a ptáky, což přispívá k zvýšení biodiverzity v městském prostředí. [4]

4.2.3 Rozdělení zelených střech podle sklonu

Sklon střešní konstrukce je důležitým faktorem při navrhování zelených střech. Střecha by měla mít alespoň minimální spád, aby mohla dešťová voda, kterou nepojme vegetace a substrát, odtékat. V závislosti na sklonu střechy se tedy řeší především odtok vody a prevence eroze substrátu. Pro extenzivní nebo polointenzivní střechy by měl být sklon nejméně 2 %. Střechy bez spádu jsou vhodné pro intenzivní ozelenění, kde se počítá s akumulací vody nebo s budováním odvodňovacího systému. [25] [17]

Sklony střešní konstrukce zelené střechy se mohou rozdělit podle sklonu na několik typů.

4.2.3.1 Ploché zelené střechy

Ploché zelené střechy jsou takové, jejichž sklon se pohybuje v rozmezí 0 % až 5 %. Tento typ je tedy vhodný pro střechy s nízkým sklonem nebo pro budovy s plochou střechou. U plochých střech je důležité důkladně vyřešit odtok přebytečné vody tak, aby nedocházelo k problémům s prosakováním. Velký vliv na to má drenážní vrstva nebo sypaný substrát. [25] [17]

4.2.3.2 Šikmé zelené střechy

Šikmé zelené střechy mají sklon v rozmezí od 5 % do 45 %. Jsou tedy vhodné pro střechy s větším sklonem, které jsou schopné odvádět dešťovou vodu a zároveň poskytují dostatek slunečního svitu pro rostliny. Mohou být pokryty trvalkami nebo speciálními šikmými rostlinnými výsadbami. Dále se tyto střechy rozlišují na střechy s mírným (5 %-20 %) a s vysokým (20 % -45 %) sklonem. Obecně lze říci, že čím je větší sklon, tím je více nutné zajistit substrát proti sesuvu a erozi. [25] [17]

4.2.3.3 Strmé střechy

Strmé zelené střechy mají sklon vyšší než 45°. Tyto střechy jsou složitější na údržbu a vyžadují speciální přístup při zajišťování substrátu. Jako substrát se obvykle používají travnaté koberce položené ve dvou vrstvách, nebo střešní tašky s půdou, nebo rašelinou. Strmé zelené střechy vyžadují pravidelnou údržbu a kontrolu, aby byly plně funkční. Kvůli svému spádu jsou náchylné na poškození přírodními živly. [25] [17]

4.2.3.4 Vertikální zelené střechy

Vertikální zelené střechy jsou umístěné ve vertikální pozici, tzn. jsou přímo na stěnách budovy. Mohou být vytvořené z řady různých materiálů, jako je například dřevo, kámen nebo plast, a mohou obsahovat různé druhy rostlin. Vertikální zelené střechy se často používají k ochraně budov před povětrnostními vlivy, ke snížení hluku a k ochraně před sluncem. Mohou také přispět k ochraně biodiverzity v městském prostředí a zlepšit vzhled budovy. Vertikální zelené střechy však mohou být náročné na údržbu a mohou vyžadovat pravidelnou zálivku a péči. Další úskalí mohou představovat bezpečnostní rizika, Pokud se rostliny neudržují, a v důsledku toho přerůstají, hrozí jejich poškození či odlomení částí rostliny. To představuje možné ohrožení pro přilehlé okolí. [25] [17]

4.3 Ekologické aspekty zelených střech

V České republice i ve světě je celková plocha zelených střech stále velmi malá, a proto by se mohlo zdát, že jejich přínos pro zlepšení životního prostředí bude rovněž nepatrný. Opak je ale pravdou. Výzkumy dokázaly, že není potřeba velká a souvislá plocha ozelenění. K redukci nepříznivých vlivů v okolí stačí vytvořit více menších celků, které mezi sebou vytvoří komplexní síť, jejíž účinek může být velmi znatelný.

Mezi hlavní přínosy zelených střech z enviromentálního pohledu patří:

- pozitivní vliv na mikroklima v okolí,
- zlepšení kvality ovzduší v blízkém okolí,
- podpora biodiverzity,
- efektivní hospodaření s dešťovou vodou. [26]

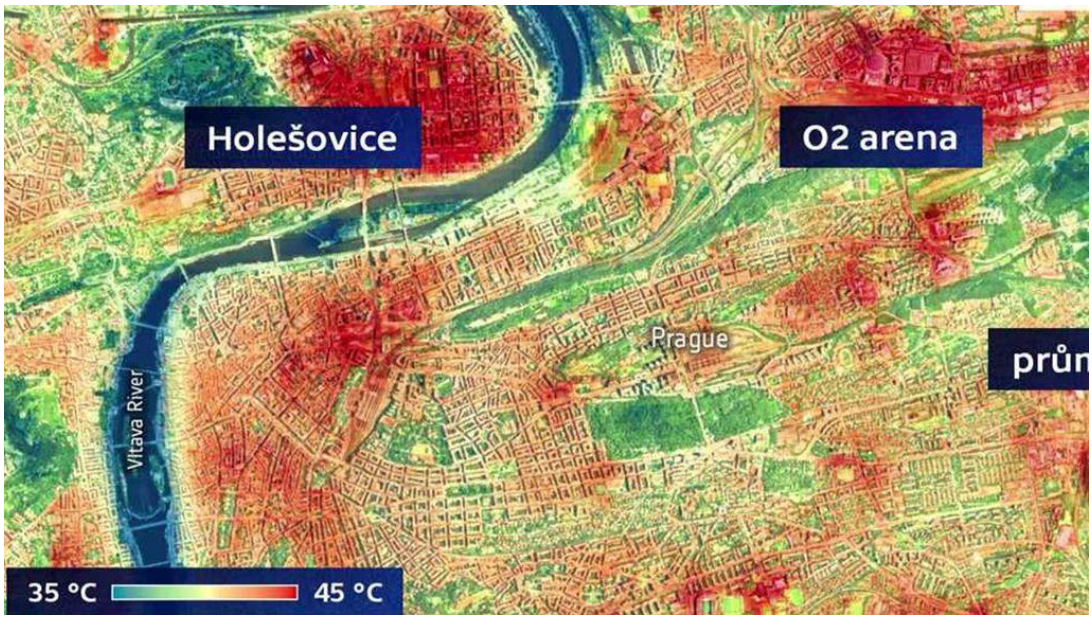
4.3.1 Pozitivní vliv na mikroklima v okolí

V posledních letech se kvůli globálním změnám klimatu musí města po celém světě vypořádávat stále častěji s letními návaly veder. Při horkých dnech městská zástavba vždy naakumuluje okolní teplo a funguje tak jako pec. Tyto pece si drží svou teplotu i po západu slunce a ohřívají i své blízké okolí. Velký problém nastává v případě, kdy je ve městě velká vybetonovaná plocha, která není ničím zastíněna. Takovéto plochy se nazývají městské tepelné ostrovy (anglicky Urban heat island). Efekt tepelného ostrova je považován za nejzřetelnější charakteristiku městského klimatu. Zvýšená

teplota povrchu země, která je tímto efektem způsobená, zcela jistě ovlivňuje prostředí města. Negativní účinky tepelných ostrovů mohou být výrazně zmírněny především výstavbou nových zelených ploch. Vegetace vytváří stín pro okolní zástavbu a díky tomu se betonové a asfaltové plochy přes den tolik nezahřívají. Zeleň je možné umístit jak na městské ulice, tak právě i na střechy budov. Zelené střechy tedy výrazně pomáhají se zmenšováním ploch tepelných ostrovů. Další metodou může být optimalizace městské krajiny a využití materiálů s vysokou odrazivostí. [26]

Rozdíly teplot mezi tepelnými ostrovy a městskou zelení je možné vidět např. na satelitním snímku Prahy (obrázek 13). Červená místa představují tepelné ostrovy, které mohou být i o několik stupňů Celsia teplejší než jejich okolí. Například městská část Holešovice, kde není kvůli husté zástavbě prostor pro zeleň, je výrazně teplejší než přilehlý park Stromovka (na obrázku vlevo od Holešovic).

Obrázek 13: satelitní snímek tepelných ostrovů v Praze



Zdroj: [27]

4.3.2 Zlepšení kvality ovzduší v blízkém okolí

Extenzivní výsadba ve městech je nyní široce uznávána jako prostředek ke zlepšení kvality ovzduší. Zelené střechy přispívají ke snižování řady znečišťujících vzduchových částic a sloučenin nejen prostřednictvím samotných rostlin, ale

i usazováním v samotném pěstebním médiu. Zelené střechy přispívají ke snížení znečištění těmito způsoby:

- Rostliny redukují oxid uhličitý v atmosféře a produkují kyslík.
- Zelené střechy snižují efekt tepelného ostrova, který je hlavní příčinou produkce ozonu.
- Střechy rostlin odstraňují těžké kovy, částice ve vzduchu a těkavé organické sloučeniny.
- Tyto znečišťující částice se absorbují do systému zelených střech a nedostanou se do vodního systému povrchovým odtokem, což vede ke zlepšení kvality vody. [28]

4.3.3 Podpora biodiverzity

Zelené střechy mají velký potencionál dopomoci zvýšit druhovou biodiverzitu ve městech.

Ačkoli názor, že zelené střechy přispívají k zachování biologické rozmanitosti převládá, existuje jen velmi málo dlouhodobých a propracovaných ekologických studií s dostatečnou dobou trvání, aby bylo možné názor bezpečně potvrdit. Důvodů, proč tyto studie neexistují, je více. Prvním důvodem je kvalita zpracování zelených ploch. Ne všechny zelené střechy jsou udělané tak kvalitně, aby se v jejich prostředí mohly trvale usazovat živočišné druhy. Další překážkou může být nepřístupnost střech kvůli jejich umístění vysoko nad povrchem. V neposlední řadě je nutné uvést, že ozeleněné střechy jsou stále poměrně vzácné, a právě jejich nedostatečná hustota vytváří bariérový efekt. Pokud budou zelené střechy stále přibývat a na jejich návrhu a realizaci budou dohlížet i ekologičtí odborníci, mohly by zelené střechy naplnit svůj potenciál a opravdu zásadně pomoci s obnovou biodiverzity ve městech. [29]

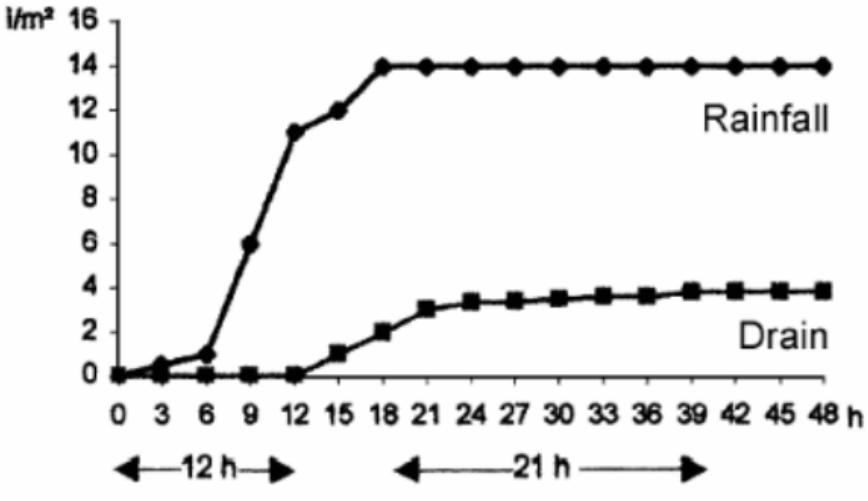
4.3.4 Hospodaření s dešťovou vodou

S tím, jak se ve městech stále zvětšuje podíl zastavěné plochy, rostou i nepropustné plochy. To má za následek narušení rovnováhy vodní bilance povrchových i podzemních vod. Namísto toho, aby se srážková voda vsakovala do půdy, je odváděna do kanalizačního systému a následně vypuštěna do vodních toků. Problém nastává při intenzivních srážkách, protože povrchové vodní plochy mají omezenou kapacitu. V takovém případě právě voda, která je přiváděna ze zastavěných oblastí, může přispět ke katastrofě ve v podobě povodně. [30]

Další nevýhodou takovéto práce s dešťovou vodou je, že v některých místech je odváděna jednotným kanalizačním systémem společně s vodami z domácností a z průmyslu do čistírny odpadních vod. Pokud se tento systém přetíží, je ho potřeba co nejrychleji odlehčit, což může znamenat vypouštění této odpadní vody přímo do vodních toků bez průchodu čistírnou odpadních vod. Do povrchových vod se tak může dostat kontaminovaná voda, která se následně může dostat i do vod podzemních. [30]

Výše zmíněným hrozbám mohou předcházet právě zelené střechy, které na rozdíl od klasických střech dokáží dešťovou vodu zadržovat a regulovat její odtok. Podstatná část spadlých srážek se díky retenční schopnosti rostlin vypaří a zbylá část se vsákne do vrstvy substrátu. K vypařování vody dochází nejen z plochy substrátu, ale také z listů rostlin, čímž se obnovuje kapacita pro další zachycení srážkové vody. Zároveň se zpomalí odtok srážek do kanalizačních systémů, díky čemuž se intenzivní srážky rozloží do delšího časového horizontu a čistírny odpadních vod tak mohou zpracovat větší objem odpadních vod. Zelené střechy jsou schopny zachytit 50–90 % ročních srážek s ohledem na kapacitu retenční vrstvy, typ a hustotu vegetace. Graf na obrázku č. 14 ukazuje roční odtok ze zelené střechy s 12° sklonem. Křivka Rainfall označuje množství srážek a křivka Drain pak odtok ze střechy. [31]

Obrázek 14: porovnání srážek (rainfall) a následného odtoku (drain) ze šikmé zelené střechy



Zdroj: [31]

Zelené střechy zároveň potřebují vodu nejen zachytit, ale také ji akumulovat. K tomu často slouží akumulační nádrže, které jsou často v blízkosti střechy. Odkud se v suchých obdobích může zadržená dešťová voda využít na závlahu střešní vegetace. Tento systém hospodaření s dešťovou vodou je proto výhodný i z hlediska ekonomického, kdy se může ušetřit za stočné v souvislosti s odvodem vody do kanalizace, ale také za vodné, protože na závlahu střechy je možné použít naakumulovanou dešťovou vodu. [30]

4.4 Ekonomické aspekty zelených střech

Pořízení zelené střechy je z pohledu investora bráno jako určitá nadstavba, která ale přináší řadu přínosů. Kromě přidané hodnoty v podobě příznivých ekologických aspektů se také řeší návratnost investice.

Hlavní výhodou zelených střech z pohledu návratnosti investice je úspora energie na provoz budovy. Díky izolačním schopnostem rostlin na střeše se sníží potřeba energie na vytápění v zimních měsících a na ochlazování v horkých letních dnech. Nižší potřeba energie by se měla promítnout ve finančních úsporách, díky kterým se následně sníží doba návratnosti investice. Dalším benefitem je fakt, že díky rostlinám je lépe chráněná střešní konstrukce před UV zářením a deštěm. Kvalitně realizovaná zelená střecha tak prodlužuje životnost celé konstrukce oproti běžným krytinám. To může vést ke snížení nákladů na opravy a údržbu a zvýšení hodnoty nemovitosti.

V omezené míře může také prostor zelené střechy sloužit pro pěstování a poskytování plodin a jiných rostlinných produktů. V klimatických podmínkách České republiky to mohou být například různé druhy bylin, ovoce nebo nepřímo například v podobě medu z úlů.

4.4.1 Investiční náklady

Investiční náklady při realizaci zelené střechy se mohou lišit v závislosti na mnoha faktorech, jako je velikost střechy, druh použitého substrátu a rostlin, použité technologie, umístění, přístupnost, zavlažovací systém, typ realizované střechy a další. Je také nutné brát v úvahu nepřímé náklady v podobě posouzení statiky celé budovy a s tím spojeným zesílením konstrukce celé budovy, instalací zavlažování a případně i vzduchotechniky. Obecně lze říci, že náklady na realizaci zelených střech jsou vyšší než na klasické střešní konstrukce. [32]

Investiční náklady na zelenou střechu se pohybují mezi 800 až 2 500 Kč/m^2 u extenzivních a 1 500 až 5 000 Kč/m^2 u intenzivních zelených střech. Jedná se o přibližný odhad, do kterého nejsou započítány náklady na případné zesílení konstrukce. [32]

Další nákladnou položkou, která je u zelených střechy vyšší než u běžných konstrukcí, jsou výdaje spojené s pravidelnou údržbou. Je zapotřebí zajistit údržbu střešní

vegetace, její sečení, odstraňování plevelových a náletových rostlin, závlaha a výměna odumřelých rostlin. Náklady na údržbu se velmi lišší podle konkrétní střechy a také podle vodního zdroje.

Při zjišťování návratnosti investice je potřeba zamyslet se nad přínosy. Ty se rozdělují na individuální a veřejné. Veřejné přínosy jsou například redukce odtoku dešťových vod, zlepšení kvality vzduchu nebo zmírnění efektu městských tepelných ostrovů. Individuální přínosy jsou pak snížení energetické náročnosti budovy, zvýšení doby životnosti konstrukce, akustická izolace a estetické zhodnocení. Veřejné přínosy jsou více než třikrát vyšší než individuální přínosy. Pokud se celková čistá současná hodnota nákladů životního cyklu zelené střechy za 40 let blíží k 930,- Kč/m^2, bude k vyrovnání nákladů na zelené střechy potřeba pouze 13 let individuálních přínosů. Pokud se zohlední veřejné přínosy, doba návratnosti se zkrátí na 3 roky. [33]

4.4.2 Způsoby podpory zelených střech

Jelikož má výstavba zelených střech své opodstatnění z pohledu ekonomického, enviromentálního i sociálního, je zapotřebí jejich budování systematicky podporovat. Zásadní podporou je osvěta a rozšíření povědomý o všech přínosech ozeleněných střech. Dále je nutné analyzovat legislativní prostředí a zjistit, jak mohou být zelené střechy podporovány v praxi. V neposlední řadě je důležité stanovit jasná kritéria pro ukotvení zelených střech v legislativě tak, aby bylo jasné a jaká opatření se mohou přijmout na podporu zelených střech. [14]

Rozšíření povědomí veřejných institucí o přínosech zelených střech se odrazilo i ve Strategii přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR z roku 2015. Tato strategie se aktivně zabývá potenciálem zelených střech a stěn v urbanizované krajině. V roce 2021 proběhla sice aktualizace akčního plánu pro období 2021–2025, která byla schválena usnesením vlády č. 785 ze dne 13. září 2021, ovšem zelené střechy jsou zde stále brány pouze jako jeden z důležitých prvků v urbanizované krajině pro adaptaci na klimatické změny. [14]

Finanční podporu na výstavbu zelených střech v současné době zajišťuje dotační program Nová zelená úsporám. Tento program spadá pod Ministerstvo životního prostředí a je vypsán od roku 2021 do roku 2030. Dotační program zajišťuje, že si

mohou zájemci o výstavbu extenzivní, polointenzivní nebo intenzivní zelené střechy na rodinných domech (případně dalších nadzemních stavbách) zažádat o dotaci ve výši až 100 000,- Kč. Podmínkou však je, že celková výše podpory nesmí přesáhnout 60 % nákladů na realizaci zelené střechy. Pro bytové domy je maximální výše podpory stanovena na 300 000,- Kč s tím, že udělená dotace nesmí přesáhnout polovinu nákladů na realizaci střechy. [34] [35]

Celková výše přidělené dotace ovlivňuje typ zelené střechy a také její sklon. V tabulce 2 jsou porovnány kombinace možných typů a sklonů.

Tabulka 2: výše dotace pro různé typy zelených střech

Typ zelené střechy	**Výše podpory na zelené střechy [Kč/m2]**
Extenzivní zelená střecha se sklonem < 12°	700 Kč/m2
Extenzivní zelená střecha se sklonem ≥ 12°	800 Kč/m2
Intenzivní a polointenzivní zelená střecha se sklonem < 12°	900 Kč/m2
Intenzivní a polointenzivní zelená střecha se sklonem ≥ 12°	1000 Kč/m2

Zdroj: [34]*, vlastní provedení*

Z tabulky vyplývá, že největší finanční podporu je možné získat při realizaci intenzivní a polointenzivní zelené střechy se sklonem ≥ 12°.

Žadatelé o dotaci musí dále zajistit, aby složení vegetace a skladba střešního pláště byly navrženy podle standardů pro navrhování, provedení a údržbu. Zároveň musí splňovat příslušný odtokový součinitel, který závisí na typu střechy. Součinitel udává, kolik srážkové vody [%] ze střechy odteče. Podmínkou pro získání dotace je také využívání vody k zavlažování střešní vegetace z jiného zdroje než vodního řadu. [34]

Další finanční bonusy je možné získat, pokud je zelená střecha nakombinována s dalšími opatřeními, například tepelným čerpadlem nebo fotovoltaickými panely. V některých krajích pak nabízí bonus dalších 10 % z celkových nákladů na realizaci zelené střechy. Jedná se o kraje, které jsou strukturálně postižené, konkrétně Ústecký, Karlovarský a Moravskoslezský. [34]

4.5 Technické aspekty zelených střech

Pro správnou funkci a dlouhou životnost je stěžejní dodržovat důležité zásady jak při návrhu, tak i při realizaci zelené střechy. Dodržováním předepsaných zásad a postupů je možné předcházet možným komplikacím a rizikům.

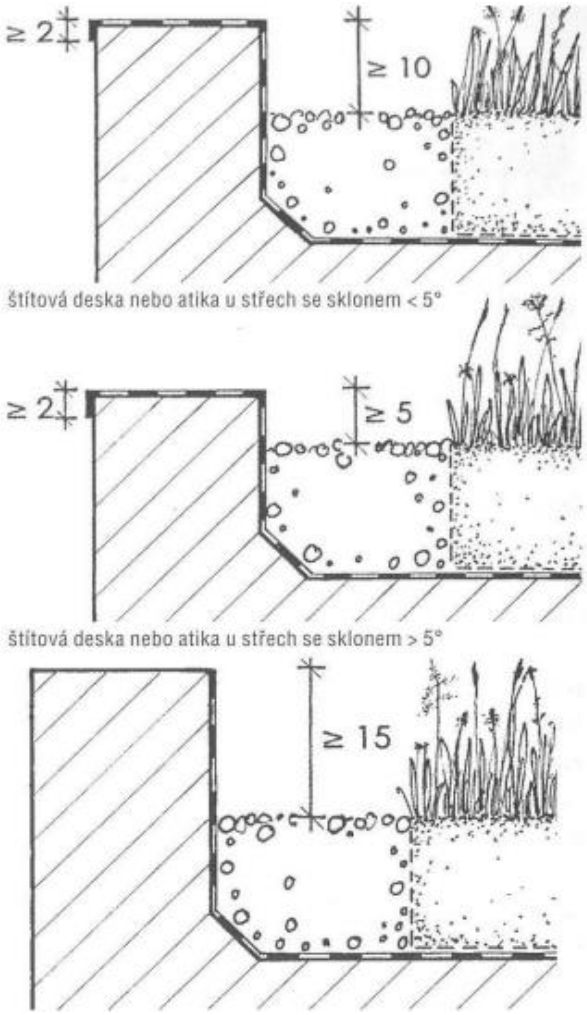
4.5.1 Střešní konstrukce

Vegetační střechy, zejména pak ty intenzivní, zatěžkávají celou konstrukci budovy výrazně více než klasické střešní konstrukce. Při návrhu zelených střech se obvykle doporučuje použít železobetonový monolit, nebo prefabrikovanou konstrukci. Návrhové zatížení závisí na druhu střechy, typu použité vegetace a hmotnosti souvrství v nasyceném stavu. Pro extenzivní zelené střechy se plošné zatížení v nejvíce nasyceném stavu pohybuje v rozmezí mezi 90 až 200 kg/m^2, pro polointenzivní variantu dosahuje zatížení 200 až 400 kg/m^2 a pro intenzivní zelenou střechu závisí plošné zatížení na skutečném materiálovém provedení vrstvy rostlin a často přesahuje hodnotu 400 kg/m^2, ale v některých případech může dosáhnout i vysokých hodnot okolo 1500 až 2000 kg/m^2. Pokud střecha není navržena a konstruována v souladu se statickým posudkem, může dojít k jejímu poškození, nebo dokonce protržení. [3]

4.5.2 Okraje střešní konstrukce

Při realizaci zelených střech je nutné dbát na správné provedení ochranné vrstvy, která brání prorůstání vegetace a kořenovým systémům na kritických místech střechy, jako je její okraj. Při pokládce by měla být izolační vrstva vyvedena nad úroveň vrstvy, která odvádí vodu. Z obrázku 15 je patrné, že u střech s nízkým sklonem (<5º) je nutné izolaci vyvést alespoň 10 cm nad úroveň atiky a pro napojení na svislé konstrukce by měla být izolace vyvedena nad úroveň nejméně 15 cm. Při větším sklonu (> 5º) je doporučen minimální přesah izolace 5 cm. [3]

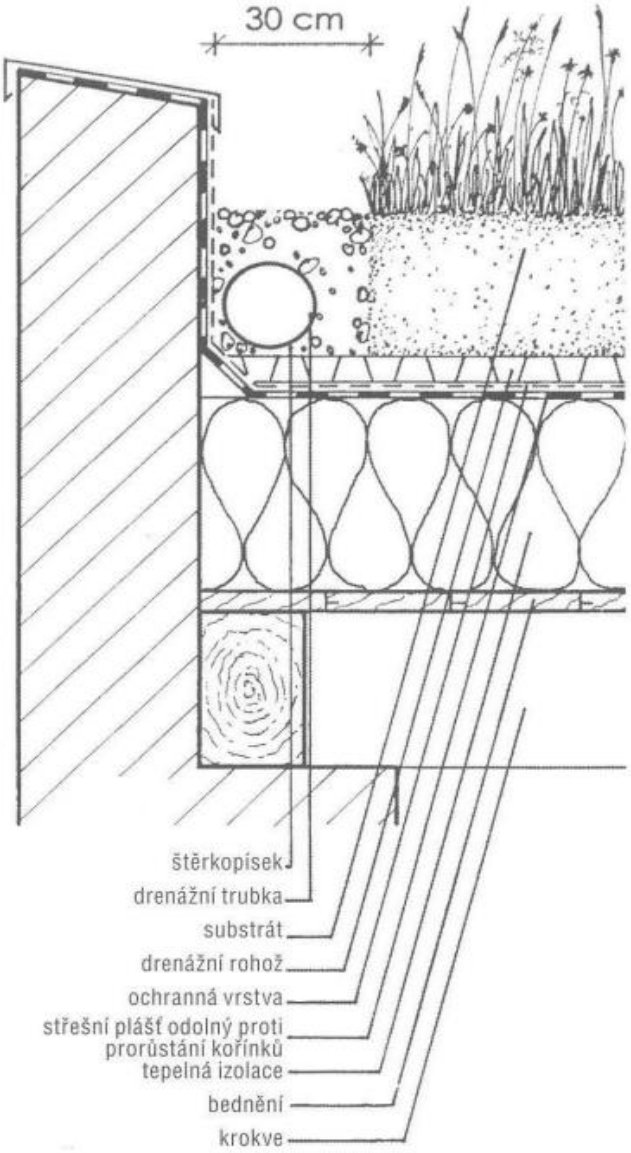
Obrázek 15: izolace okraje zelené střechy



Zdroj: [3]

Aby se zamezilo možným problémům s odtokem dešťové vody, je nezbytné u plochých i šikmých střech položit podél okapové hrany nebo atiky pás štěrkopísku. Ten by měl být široký alespoň 30 cm. Je možné ho vyztužit i drenážní trubkou, jako je tomu na obrázku č. 16. [3]

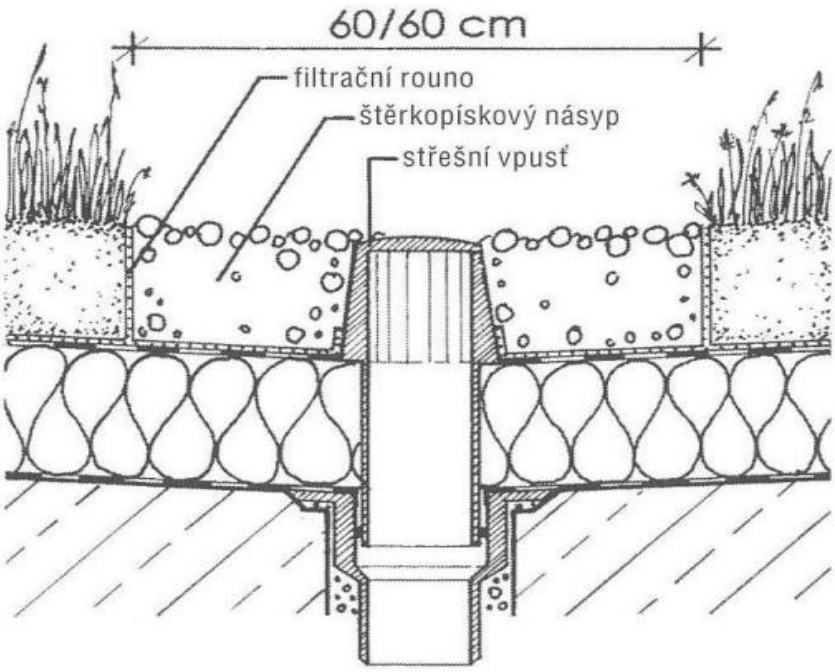
Obrázek 16: řešení okraje ploché střechy



Zdroj: [3]

Pokud by se na střechu instaloval vnitřní svod, měla by být jeho vpusť rovněž opatřena pásem štěrkopísku o šíři 30 cm na každou stranu vpusti. Takovou situaci ukazuje obrázek č. 17. Štěrkopísek v obou případech plní funkci filtru a zároveň zamezuje rozšíření vegetace a následného ucpání systému. [3]

Obrázek 17: řešení vnitřního odvodnění



Zdroj: [3]

4.5.3 Skladba ozeleněných střešních plášťů

Střešní pláště se z pravidla skládají z vícero vrstev. Návrh konkrétního střešního souvrství závisí na mnoha faktorech, jako jsou například funkce navrhované střechy, sklon střechy, klimatické podmínky atd. [6]

Obecně lze vrstvy zelených střech rozdělit na vegetační souvrství a souvrství střešního pláště. Každá z těchto vrstev pak typicky obsahuje následná souvrství (ve směru z exteriéru do interiéru). [6]

Vegetační souvrství tvoří:

- rostliny,
- mulčovací vrstva,
- substrát,
- hydroakumulační vrstva,
- filtrační/separační vrstva,
- drenážní vrstva.

Podrobněji se jednotlivým vrstvám věnuje kapitola 4.5.3.1 vegetační souvrství.

Souvrství střešního pláště (u klasické jednoplášťové střechy) obsahuje:

- ochrannou vrstvu hydroizolace,
- hydroizolační vrstvu odolnou vůči prorůstání kořenů rostlin,
- teplenou izolaci,
- parozábranu,
- nosnou konstrukci.

Některé výše uvedené vrstvy mohou být spojeny a mohou tak vykonávat více funkcí zároveň. Některé mohou být (v závislosti na konkrétní střeše) ve skladbě úplně vynechány. Také může být u různých střech odlišné pořadí vrstev.

Ozeleněné střechy se z pohledu skladby liší od těch klasických pouze svrchními vrstvami, které jsou určeny pro růst vegetace a zvýšenými nároky na potřebu hydroizolace a nosnost celé konstrukce. [6]

4.5.3.1 Vegetační souvrství

Při navrhování a realizaci výsadby je důležité přemýšlet komplexně nad celým systémem zelené střechy. Na vysazenou vegetaci působí značné množství faktorů, které zásadně ovlivňují zeleň i její vývin. Pro vhodný výběr rostlin jsou hlavní tyto aspekty:

- mocnost vrstvy substrátu,
- schopnost substrátu zadržovat vodu,
- sklon střechy,
- umístění střechy v rámci světových stran,
- lokální povětrnostní podmínky,
- průměrný roční úhrn srážek,
- způsob závlahy,
- čistota okolního prostředí,
- tepelné podmínky v dané lokalitě,
- světelné podmínky.

Po vyhodnocení všech těchto aspektů je potřeba stanovit podobu výsadby. Ta může být:

- **Solitérní (bodová) výsadba** – Často se používá k vytvoření výrazného prvku na extenzivních pochozích střechách. Solitérní rostliny na zelených střechách se obvykle vysazují v nádobách nebo kontejnerech, které jsou naplněny speciálním substrátem pro zelené střechy a umístěny na vrchol substrátové vrstvy. Při solitérní výsadbě na zelených střechách je důležité dbát na pravidelnou údržbu a zálivku rostlin, aby byly zdravé a mohly růst optimálně. [36]
- **Plošná výsadba** – Používá se k pokrytí celé plochy střechy vegetací. Pro plošnou výsadbu na zelených střechách je důležité připravit vhodnou substrátovou vrstvu, která poskytne kořenům rostlin dostatek prostoru, vody a živin. Je důležité dodržovat vhodné tloušťky substrátové vrstvy, aby bylo zajištěno dostatečné množství substrátu pro kořeny rostlin. Zvolené rostliny by pak měly být schopny přežít v extrémních podmínkách, jako jsou vysoké teploty, sucha a větrné podmínky.[6] [36]
- **Kombinovaná** – Jedná se o plošnou výsadbu doplněnou o solitérní trsy. [6]

Hustota výsadby by měla být taková, aby se co nejdříve docílilo souvislého vegetačního pokryvu. Kořínky vegetačního pokryvu společně s mulčovací vrstvou slouží jako ochrana před vodní a větrnou erozí. [6]

Mulčovací vrstva má kromě estetické hodnoty také ochranou funkci. Chrání vrstvu substrátu před větrnou erozí a také podstatně omezuje výpar vláhy z půdy. Dále vyrovnává teplotní výkyvy a omezuje odplavení půdy při deštích. Mulčovací vrstva se obvykle skládá z organického materiálu, jako je sláma, seno, rašelina, listí, kůra nebo třísky. Použít se může i mulčovací textilie nebo kačírek. [6] [36]

Vrstva substrátu má za účel nahrazovat zeleni její přirozený půdní profil. Správná vrstva substrátu pomáhá udržet optimální hladinu vlhkosti, podporuje udržení rostlin v kořenové zóně a zajišťuje výživu a ochranu pro kořeny. Vrstva substrátu na zelených střechách se skládá z různých složek včetně organických a anorganických materiálů. Hlavní složkou substrátu jsou často expandovaná jílovitá hlína, minerální kameny, kompost a rašelina Tyto složky se mohou různě kombinovat a modifikovat podle typu zelené střechy a konkrétních požadavků. [6] [36]

Hydroakumulační vrstva má za cíl zadržovat vodu, která je potřebná pro růst a udržování rostlin. Hydroakumulační vrstva je nezbytná pro strmé a šikmé zelené střechy. U plochých střech záleží na mocnosti vrstvy substrátu. Při realizaci této vrstvy se obvykle používají hydrofilní profilované desky, role z minerálních vláken nebo rašelina. [6] [36]

Filtrační vrstva, někdy též označována jako separační, má za účel ochránit drenážní vrstvu před zanesením částicemi substrátu a zamezuje tak i úbytku substrátu. Filtrační vrstva by měla být dostatečně hustá, aby zadržovala jak substrátové částice, tak i kořeny rostlin, ale zároveň by měla být dostatečně propustná pro vodu a vzduch. Materiály, ze kterých je filtrační vrstva složená, by neměly podléhat biologickému opotřebení. Běžně se používají geotextilie, sklotextilie, kamenivo či kamenná drť nebo rohože z minerální plsti. [6] [36]

Drenážní vrstva brání přemokření substrátu odvodem přebytečné vody. Díky této vrstvě nedochází k trvalému přemokření a s ním spojenému odumírání vegetace. Kořeny, které jsou trvale ponořeny ve vodě, totiž nemohou přijímat kyslík, což vede k úhynu rostliny. Proto musí vzniknout volný prostor mezi nejvyšší hladinou zadržované vody a spodní úrovní substrátu. Voda odvedená drenážním systémem ze střechy se dle vodního zákona 254/2001 Sb. neřadí mezi vody odpadní a může být odváděna do kanalizace, k recipientovi nebo ke vsaku či do podzemních vod. Pokud jsou použity drenážní trubky, je vyžadována jejich pravidelná kontrola. Drenážní vrstvy jsou nejčastěji ve formě plastových PE desek či rohoží – viz obrázek č. 11. Přírodní alternativou může být keramické kamenivo. [6] [36]

Obrázek 18: ukázka drenážní rohože

Zdroj: [37]

4.5.3.2 Souvrství střešního pláště

Ochranná vrstva hydroizolace chrání hydroizolační vrstvu především před mechanickým poškozením. Jelikož je tato vrstva umístěna pod drenáží, je důležité zamezit pronikání drenážního materiálu do jejích spár. Další funkcí této vrstvy je ochrana proti prorůstání kořenů rostlin. Ochranná vrstva hydroizolace může mít formu například betonového nebo cementového potěru, drceného keramzitu či desek z nasákavých pěnových plastů. [6]

Hydroizolace střech by měla být navržena a realizována dle normy ČSN P 73 0606 o hydroizolaci staveb. Její hlavní funkcí je zajistit, aby voda a vlhkost nepronikala do stavební konstrukce. Pro zelené střechy se obvykle používají speciální hydroizolační fólie, které jsou schopny odolávat poškození kořeny rostlin. Tyto fólie jsou vyráběny z různých materiálů, jako jsou PVC, TPO, EPDM, nebo bitumenové fólie. Výběr správného typu hydroizolace je důležitý a měl by být zohledněn při návrhu celé konstrukce zelené střechy. Hydroizolace musí být pečlivě položena, aby byla zajištěna dokonalá bezpečnost před pronikáním vody a vlhkosti. Důležité je také zajistit spolehlivé propojení hydroizolace s ostatními vrstvami konstrukce, aby byla zajištěna celková integrita střešního pláště. [6]

Tepelná izolace zabraňuje prostupu tepla konstrukcí, a to jak ve směru z exteriéru do interiéru, tak i opačně. Díky tomu pomáhá snižovat energetickou náročnost budovy. Pro správnou funkci tepelné izolace je nezbytné minimalizovat, nebo vyloučit kondenzaci vodních par ve střešním souvrství. Důležitou součástí instalace tepelné izolace je správná montáž a spojení jednotlivých panelů, aby nedocházelo k vytváření tepelných mostů, které by výrazně snížily účinnost tepelné izolace. Tepelná izolace musí být také správně dimenzována, aby byla zajištěna dostatečná tepelná ochrana. Kromě toho je důležité správné propojení tepelné izolace s dalšími vrstvami střešní konstrukce, jako jsou hydroizolace, drenážní vrstva a substrát, aby byla zajištěna celková integrita střešního pláště. Jako tepelná izolace se nejčastěji používá expandovaný polystyren (EPS), extrudovaný polystyren (XPS), minerální vlna nebo pěnové sklo. [6]

Parozábrana slouží k omezení pronikání vodních par do souvrství střechy, kde by mohla pára kondenzovat a způsobovat problémy s vlhkostí. Ty se mohou projevit vznikem plísní, koroze a znehodnocením tepelné izolace. Pronikání páry

do konstrukce může být zapříčiněno difuzí (vodní pára se pohybuje vlivem rozdílných tlaků mezi vnitřním a vnějším prostředím), či prouděním vlhkosti (pohyb vodní páry vlivem proudění vzduchu). Pokud vodní páry dostanou svou teplotou pod rosný bod, začnou kondenzovat. To se děje nejčastěji v zimních měsících. Přítomnost kvalitní parozábrany u zelených střech je nezbytná, protože vegetace na střeše je po většinu roku ve vlhkém prostředí. Parozábrana musí být správně spojena s okolními vrstvami střešní konstrukce a musí být zajištěna její celistvost. Vyrobena může být z různých materiálů, jako jsou například asfaltové pásy, PVC fólie, EPDM guma, nebo speciální parotěsné fólie. [6]

Nosná konstrukce střechy přenáší všechna na ni působící zatížení do ostatních nosných konstrukcí objektu. Zatížení nosné konstrukce představuje vlastní tíha nosné konstrukce, hmotnost střešního pláště včetně vegetačního souvrství a nahodilá zatížení v podobě sněhu, větru a vody. Správný návrh a konstrukce nosného systému je klíčový pro bezpečnost a stabilitu zelené střechy. Proto je důležité zajistit kvalitní provedení a případně konzultovat s odborníky, aby byla zajištěna správná funkčnost a dlouhodobá životnost celého systému. [6]

4.6 Vliv zelených střech na vnitřní prostředí

Ozeleněné střechy mají díky vegetačním vrstvám vysoký tepelně izolační účinek. Dále jejich vegetační vrstvy dokáží zlepšovat kvalitu vzduchu a regulovat vlhkost vzduchu v přilehlém okolí. Díky těmto vlastnostem mají zelené střechy vliv také na vnitřní pohodu prostředí, která ovlivňuje kvalitu spánku, práce, zdraví a náladu osob uvnitř budovy. Aby bylo dosaženo požadované kvality, je nutné upravit některé parametry vnitřního prostředí v objektu. [38] [39]

4.6.1 Tepelná pohoda

Tepelná pohoda je stav tepelných poměrů, kdy člověku není ani příliš teplo, ani příliš chladno a cítí se příjemně. Kromě teploty je důležitým faktorem také rychlost proudění vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a teploty okolních ploch (stěn, podlahy a stropu). Tepelná pohoda je čistě osobní pocit, každý člověk ji vnímá individuálně. Záleží na izolační vrstvě (oblečení) a také na činnosti člověka. Každý se obléká jinak často

v závislosti na venkovním počasí, ale i ve vnitřním prostředí mohou vznikat teplotní nerovnováhy. Tepelná pohoda osob v budovách, ať již v práci, nebo v domácnostech je dnes jedním ze základních požadavků při návrhu budovy, jejího větrání, vytápění a klimatizace. [38] [39]

Zelené střechy k tepelné pohodě přispívají zejména podporou konstantní teploty a vlhkosti vzduchu. Zejména v létě je ochlazující efekt velmi výrazný. Opakovaně bylo zjištěno, že při teplotě venkovního vzduchu 30 °C nepřesáhla teplota substrátu zelené střechy teplotu 25 °C. V zimě pak vegetační střechy poskytují izolační vrstvu. Čím je rostlinný pokryv hustší, tím větší je účinek. Díky dýchání kořenů v půdě také vzniká malé množství tepla a zemina tak nepromrzá. [3]

4.6.2 Kvalita vnitřního vzduchu

Dalším významným faktorem ovlivňujícím vnitřní pohodu prostředí je kvalita vnitřního vzduchu. Ta z velké části závisí na kvalitě venkovního vzduchu, ale také na množství vzdušných škodlivin, objemu větracího vzduchu a na navrženém větracím systému. Často se stává, že kvalita vzduchu uvnitř budovy je horší než kvalita vzduchu venku. Špatná kvalita venkovního vzduchu je způsobena především dopravou, průmyslem a užíváním budov. V současnosti je snaha, aby v energeticky úsporných budovách bylo zároveň i zdravé vnitřní prostředí. [40]

Zelené střechy přispívají k lepší kvalitě vzduchu v blízkém okolí, což se projevuje velmi výrazně i na kvalitě vzduchu vnitřních prostorů. Vegetace na střechách pomocí fotosyntézy váže oxid uhličitý z okolí a vyrábí přitom kyslík. Dále mohou rostliny filtrovat částice prachu a nečistot ze vzduchu, čímž snižují prašnost uvnitř budovy. Částice prachu se zachytávají na listy rostliny, odkud je následně spláchne déšť do země. [17]

4.6.3 Vlhkost ve vnitřním prostředí

S vlhkostí se setkáváme v každém prostředí. Je jednou ze základních podmínek života. Problém s vlhkostí v domě nastává, pokud je nadměrná. Nadměrná vlhkost může být ve vzduchu i v konstrukcích. [41]

Jednou z příčin vzniku vlhkosti v domě jsou srážky. Každou stavbu ohrožují přírodní živly jako déšť a sníh. Proti srážkám je nejlepší ochrana správně zaizolovaná střecha a neporušené obvodové zdi. Problematickou částí jsou především místa s přechody mezi jednotlivými konstrukcemi, například mezi obvodovou zdí a střechou, nebo také přechody mezi jednotlivými materiály. Srážky, hlavně déšť na návětrné straně domu, pronikají i do nejjemnějších spár. Zvláště nebezpečné jsou ploché střechy, kde se voda může zadržet déle, než na střechách šikmých nebo strmých. Malá trhlina v izolaci může mít za následek provlhlé stropy. [41]

Častou příčinou vlhkosti v domě je provozní vlhkost, která namáhá nejčastěji konstrukce oddělující prostory s rozdílným tlakem vodních par ve vzduchu. To jsou především konstrukce obvodového pláště budovy. Provozní vlhkost má zásadní vliv na mikroklima v objektu. Jeho zdrojem je vlhkost, která vzniká pobytem a prací člověka, případně provozem stavby. Nejčastějším původem vlhkosti v domě bývá kondenzace vodních par. Vodní páry jsou trvale obsaženy ve vzduchu. Při poklesu teploty a vzestupu tlaku se pára na površích sráží a vznikají vodní kapky. Tento jev je obvykle pozorován na vnitřních stranách oken. [42]

Vlhkost vzduchu se dělí na absolutní a relativní. Absolutní vlhkost vzduchu udává přesné množství vlhkosti obsažené ve vzduchu. Jednotkou pro absolutní vlhkost je gram vody na kilogram vzduchu ($g.kg^{-1}$). Relativní vlhkost vzduchu je poměr mezi množstvím vodní páry ve vzduchu a množstvím par, které je vzduch schopen přijmout. Optimální relativní vlhkost vzduchu v obytných místnostech by se měla pohybovat v rozmezí mezi 30 až 60 % při teplotě 20 až 24 °C. Při větší či menší vlhkosti vzduchu dochází k nepohodě, která může mít i závažné následky. [41] [42] [43]

Nízká vlhkost vzduchu (suchý vzduch) může mít za následky zvýšený pocit únavy, svědění kůže, pálení očí či bolest hlavy. Může za to snaha suchého vzduchu přijímat vlhkost ze svého okolí i z osob. Proto je příhodné v zimních měsících sledovat vlhkost vzduchu v interiéru a případně ji navýšit například pomocí různých zvlhčovačů. [44]

Vysoká vlhkost vzduchu může mít za následky kondenzaci vodních par na chladném povrchu, jako jsou okna a prosklené venkovní dveře. Při opakované a dlouhodobé vysoké vlhkosti pak vznikají různé druhy plísní. U lidí, kteří se dlouhodobě pohybují v prostorách napadených plísní dochází často ke zhoršením zdravotního stavu (bolesti hlavy a krku, dýchací potíže, bolesti zad a kloubů, nevolnost a nervové potíže). [45]

Rostliny na vegetačních střechách dokáží stabilizovat kolísání vlhkosti v přilehlém okolí. Zejména v případech, kdy je vzduch suchý, vypařují zvýšené množství vody a tím zvyšují relativní vlhkost vzduchu v okolním prostředí. Zároveň dokáží rostliny vlhkost vzduchu také snižovat, a to tvorbou rosy. Vlhkost kondenzuje na listech a stéblech rostlin a následně je ve formě kapek odváděna do půdy. Další způsob, jak dokáží zelené střechy pomoci s regulací vlhkosti vzduchu, je, že jsou schopny absorbovat a udržet až 90 % srážek, což znamená, že méně vody proniká do kanalizace a méně vody uniká zpět do ovzduší v podobě vodní páry. [3] [17]

4.7 Vliv zelených střech na vnitřní prostředí

Tepelná bilance popisuje vztah mezi tepelnými ztrátami, tepelnými zisky a množstvím dodaného tepla určují tepelnou (energetickou) bilanci budovy. Díky ní je možné stanovit množství energie na vstupu do objektu, aby kompenzovala všechny tepelné ztráty. Tuto bilanci lze sestavit pro krátkodobé časové úseky, ale i pro jednotlivé měsíce nebo celé roky. Tepelné ztráty prostupem a větráním (výměnou vzduchu) musí být kompenzovány dodanou energií. Dodaná energie je součet všech tepelných zisků, jako například tepelná produkce osob, domácích spotřebičů, pasivních solárních zisků a samozřejmě otopné soustavy. Příznivě se projeví i zpětně získané teplo z rekuperace. [46]

Zelené střechy mají na teplenou bilanci budovy významný vliv. V létě dokáží díky zastínění rostlinami snížit teplotu na střeše a tím snížit vnitřní teplotu v budově až o 2 °C. Dále díky své schopnosti absorbovat a odpařovat vodu dokáží ochlazovat střechu, což snižuje tepelné zatížení budovy. [47]

Zelené střechy také snižují tepelné ztráty budovy v zimě tím, že poskytují izolační vrstvu. Rostliny a substrát zadržují teplo, a tak snižují tepelné ztráty z budovy, což vede k nižším nákladům na vytápění. Kromě toho mohou být zelené střechy kombinovány s dalšími technologiemi, jako jsou solární panely a sluneční kolektory, aby se dosáhlo dalšího snížení nákladů na energii. [47]

V tabulce 3 jsou porovnány tepelně technické vlastnosti klasické střechy bez vegetace a střechy s vegetační vrstvou.

Tabulka 3: porovnání tepelně technických výpočtů běžné střechy bez vegetace a zelené střechy

	Střecha bez vegetace	**Střecha s vegetací**
Skladba	**Tloušťka vrstvy [cm]**	**Tloušťka vrstvy [cm]**
Vegetace	-	-
Substrát	-	12,0
Keramzit	-	8,0
Keramzitbeton	8,0	8,0
Polystyren pěnový	12,0	10,0
PVC fólie	0,1	0,1
Železobeton	15,0	15,0
Omítka vápenná	1,5	1,5
Fyzikální veličiny	**Tepelně-technické výpočty**	**Tepelně-technické výpočty**
Součinitel prostupu tepla U [W/(m2K)]	0,298	0,268
Difuzní odpor [m/s]	248,925 E + 9	391,782 E + 9

Zdroj: [6], vlastní zpracování

Z výsledků tohoto měření vyplývá, že difuzní odpor zelené střechy je o 36,5 % vyšší u střechy s vegetací. Díky tomu je možné konstatovat, že vodní pára prostupuje výrazně lépe klasickou střechou. Zelená střecha má také nižší součinitel tepelného prostupu. Tepelné ztráty prostupem jsou u ozeleněné střechy asi o 10 % nižší než u klasické konstrukce.

Přestože mají zelené střechy značný vliv na tepelnou bilanci budov, tepelně technický výpočet se obvykle provádí pro skladbu bez vegetačního souvrství. Je to proto, že jen tak lze získat spolehlivé hodnoty součinitele prostupu tepla a nejnižší povrchové teploty. Pokud je střecha opatřena vegetačním souvrstvím, je možné jeho tepelně izolační faktor dopočítat za účelem získání tepelně izolačního efektu. Takto získané informace ale slouží jen k informačnímu účelu, nikoliv pro splnění normy ČSN 73 0540-2 o tepelné ochraně budovy. Zároveň je třeba brát v úvahu, že kamenivo kolem obvodu střechy, žlabů a střešních vtoků má podstatně horší tepelně technické vlastnosti než vegetační souvrství. [48]

4.8 Výběr vhodných rostlin pro zelené střechy

Výběr vhodných rostlin je klíčovým faktorem pro úspěšné vytvoření udržitelné a esteticky příjemné zelené střechy. Ačkoliv je seznam vhodných rostlin omezený, stále je možné vybírat z celé řady druhů. Pro výběr vhodné vegetace jsou rozhodující různé faktory, především se jedná o:

- sklon střechy,
- typ střechy,
- mocnost substrátu,
- lokální povětrnostní podmínky,
- orientaci na světové strany,
- zastínění,
- průměrný roční úhrn srážek.

Pokud mají rostliny plnit kromě estetické funkce také funkci stavebně fyzikální (tepelnou izolaci a zvukovou izolaci) a ekologickou (zadržování srážek a čištění vzduchu), měl by vegetační pokryv být co nejhustší a po celé ploše přibližně stejně vysoký. Kvůli podpoře biodiverzity by měla být zvolena skladba střešních rostlin tak, aby byla v průběhu vegetační sezóny rozdílná jejich doba květu. Zajistí se tak druhová diverzita. [3]

Rostliny na střechách čelí drsným podmínkám a měly by být odolné a maximálně bezúdržbové. Vhodné jsou rostliny odolné vůči stresu. Rostliny musí být schopny přežít sucho, vítr, hmyz a teplotní výkyvy. Nevhodné jsou rostliny krátkodobé, které vyžadují pravidelnou intenzivní péči a hnojení. [36]

4.8.1 Trvalky a rozchodníky

Trvalky a rozchodníky jsou často základem vegetačního pokryvu. Slovem trvalka se označují vytrvalé byliny. Pod tento pojem je ovšem možné zařadit i rozchodníky a cibuloviny. V tomto případě je tedy výraz trvalky zúžen jen na vytrvalé byliny bez rozchodníků a cibulovin. Vegetace trvalek se zakládá výsadbou kontejnerových sazenic. Rozchodníky se oproti tomu nejlépe rozmnožují řízky. Na šikmé střechy je možné použít i rozchodníkové koberce a panely. Příklad rozchodníkového koberce vyobrazuje obrázek č. 19. [48]

Obrázek 19: rozchodníkový koberec

Zdroj: [49]

Důležitou podmínkou pro pěstování trvalek je výška jejich balu. Ta musí být menší, než je mocnost vegetační vrstvy. Pro extenzivní zelené střechy jsou vhodné trvalky v plochých nebo malých balech. Zároveň by již měly být silně vyvinuté a otužilé. Při výsadbě je potřeba zajistit rychlé zapojení porostu. [48]

Rozchodníky se vsazují rozhozem řízků. Před výsadbou je nutné zkontrolovat, zda řízky netrpí chorobami nebo škůdci. Aby bylo jisté, že se vegetace ujme, je vhodné použít směs více druhů s odlišnými ekologickými nároky. Každý z druhů si nalezne své místo a zajistí se tak lepší pokrytí plochy. [48]

Příklady konkrétních druhů trvalek a rozchodníků ukazuje tabulka č. 4.

Tabulka 4: příklady doporučených trvalek a rozchodníků

Rozchodníky (sukulenty)			
vědecký název	**český název**	**barva květu**	**výška[cm]**
Sedum album	rozchodník bílý	bílá	10
Sedum hispanicum	rozchodník španělský	bílá	8
Sempervivum montanum	netřesk horský	růžová	10
Trvalky			
vědecký název	**český název**	**barva květu**	**výška[cm]**
Achillea millefolium	řebříček	bílá	15-50
Allium schoenoprasum	pažitka	růžová	9-40
Linum perenne	len vytrvalý	modrá	20-80

Zdroj: [48]*, vlastní zpracování*

4.8.2 Trávníky

U vegetačních střech hraje významný vliv typ střechy. Nejlépe je možné rozdíl popsat u střechy, kde jsou dominantní rostlinou trávy.

V případě extenzivních střech je cílem minimalizovat údržbu, ale také zachovat funkci střechy. Vybírají se proto druhy, které snesou extrémní podmínky a zároveň mají dobrou autoregulační schopnost. Tyto druhy se v přírodě vyskytují nejčastěji ve stepích. Základem by tedy měly být stepní trávy. Příklady vhodných druhů travin jsou uvedeny v tabulce č. 5. Takový trávník může být zcela bez dodatečné závlahy a seč postačí jen jednou ročně. Ukázka extenzivní zelené střechy, založené na travinách ukazuje obrázek č. 20. [48]

Tabulka 5: příklady vhodných druhů trav pro extenzivní zelenou střechu

Příklad vhodných travin pro extenzivní zelenou střechu	
vědecký název	**český název**
Fescuta valesiaca	kostřava walliská
Carex humilis	ostřice nízká
Stipa pennata	kavyl Ivanův
Verbascum phoeniceum	divizna brunátná

Zdroj: [48]*, vlastní zpracování*

Intenzivní střechy jsou naopak projektovány pro maximální efekt, kterému je věnováno maximální úsilí. Konstrukce a údržba se podřizuje nárokům rostlin. Druhové složení trav by v tomto případě odpovídalo běžnému okrasnému trávníku. Nižší vodní kapacita musí být kompenzována pravidelnou závlahou a hnojením. Také je potřeba zajistit pravidelné sečení. Příklad intenzivní travnaté střechy ukazuje obrázek č. 21. [48]

Obrázek 20: extenzivní travnatá střecha na VanDusenově botanické zahradě

Zdroj: [50]

Obrázek 21: ukázka intenzivní travnaté střechy

Zdroj: [51]

4.8.3 Dřeviny

Dřeviny se užívají téměř výhradně na intenzivních zelených střechách, kde slouží jako dominantní prvky. Pro výsadbu dřevin je nezbytné zajistit dostatečnou mocnost souvrství a objem substrátu kvůli prokořenění. Rizikem pro dřeviny na vegetačních střechách je vítr. Kvůli namáhání větrem vyžadují dřeviny kvalitní zajištění stability. Ta musí být zajištěna dlouhodobě po celou dobu životnosti dřeviny. Zajištění se provádí pomocí:

- vázání (upevnění pomocí drátů, nebo lan přímo ke konstrukci budovy, obrubníkům, nebo dlaždicím),
- kotvení (pomocí ocelových konstrukcí),
- prokořenitelných textilií, nebo mříží (Mříž, nebo textilie jsou určeny k prokořenění bez škrcení kořenů. Umísťují se do hloubky asi 1/3, aby hmotnost zbývajících 2/3 působila jako závaží.).

Vhodné dřeviny by měly být přizpůsobeny podmínkám střechy, jako je omezený prostor pro kořenový systém, odolnost vůči suchu a teplotám dané lokality. Běžně používané dřeviny jsou například vrba bobkolistá (*Salix lanata*), jalovec plazivý (*Juniperus communis*) nebo borovice kleč (*Pinus mugo mughus*). [48]

5. Výsledky

5.1 Porovnání rostlinami zastíněné a nezastíněné plochy

V této kapitole jsou prezentovány, shrnuty a okomentovány výsledky měření osmi rostlin. U každé rostliny jsou porovnány hodnoty z měření se zastínění rostlinou a bez zákrytu. Pro porovnání byly zvoleny průměry naměřených hodnot. Dále byl měřen a porovnán rozdíl trávníku s vrstvou kačírku.

5.1.1 Tolice vojtěška – *Medicago sativa*

Tabulka 6: výsledné hodnoty nezakryté části u tolice vojtěšky

tolice vojtěška	t_{p1} [°C]	t_{a1} [°C]	R_{ha1} [%]	I_{r1} [W/m^2]
průměr naměřených hodnot	22,50	41,77	30,10	707
směrodatná odchylka	0,10	0,44	1,50	37
minimální naměřená hodnota	22,30	41,12	27,20	635
maximální naměřená hodnota	22,60	42,59	33,70	779
medián hodnot	22,40	41,85	30,20	717

Tabulka 7: výsledné hodnoty zastíněné části u tolice vojtěšky

tolice vojtěška	t_{p1} [°C]	t_{a1} [°C]	R_{ha1} [%]	I_{r1} [W/m^2]
průměr naměřených hodnot	21,80	25,26	78,00	165
směrodatná odchylka	0,20	0,20	1,40	4
minimální naměřená hodnota	21,50	24,93	75,40	159
maximální naměřená hodnota	22,10	25,57	80,80	172
medián hodnot	21,80	25,22	78,30	165

Při porovnání průměrných hodnot tabulek 6 a 7 je patrné, že je teplota půdy v hloubce 10 cm pod povrchem o 0,7 °C nižší u měření zakryté části. Teplota vzduchu byla u měření zakryté části o 16,51 °C nižší než u nezakryté. Relativní vlhkost vzduchu u povrchu se po zastínění zvýšila v průměru o 47,90 % a intenzita dopadajícího slunečního záření se snížila o 542 W/m^2, což odpovídá snížení o 76,6 %.

5.1.2 Slunečnice roční – *Helianthus annuus*

Tabulka 8: výsledné hodnoty nezakryté části u slunečnice roční

slunečnice roční	t_{p1} [°C]	t_{a1} [°C]	R_{ha1} [%]	I_{r1} [W/m^2]
průměr naměřených hodnot	22,1	42,42	33	957
směrodatná odchylka	0,2	2,29	2,3	41
mininální naměřená hodnota	21,9	38,16	29,8	864
maximální naměřená hodnota	22,5	45,07	36,7	993
median hodnot	22	42,48	32,5	974

Tabulka 9: výsledné hodnoty zastíněné části u slunečnice roční

slunečnice roční	t_{p1} [°C]	t_{a1} [°C]	R_{ha1} [%]	I_{r1} [W/m^2]
průměr naměřených hodnot	22	30,4	46	191
směrodatná odchylka	0,4	0,42	1,7	2
mininální naměřená hodnota	21,4	29,68	43,5	185
maximální naměřená hodnota	22,8	30,86	49,5	194
median hodnot	22,1	30,57	45,7	191

Při porovnání průměrných hodnot tabulek 8 a 9 je možné zaznamenat, že se teplota půdy v hloubce 10 cm pod povrchem u měření ve stínu rostliny snížila v průměru o 0,1 °C. Teplota vzduchu byla u měření zastíněné části v průměru o 12,02 °C nižší než u nezakryté. Relativní vlhkost vzduchu u povrchu se po zastínění zvýšila v průměru o 13 % a intenzita dopadajícího slunečního záření snížila v průměru o 766 W/m^2, což odpovídá snížení o 80 %.

5.1.3 Pšenice setá – *Triticum aestivum*

Tabulka 10: výsledné hodnoty nezakryté části u pšenice seté

pšenice setá	t_{p1} [°C]	t_{a1} [°C]	R_{ha1} [%]	I_{r1} [W/m^2]
průměr naměřených hodnot	22,5	36,80	30,5	754
směrodatná odchylka	0,1	2,39	4,6	309
minimální naměřená hodnota	22,3	32,53	25,4	186
maximální naměřená hodnota	22,8	39,42	42,6	1049
medián hodnot	22,4	37,89	29,0	904

Tabulka 11: výsledné hodnoty zastíněné části u pšenice seté

pšenice setá	t_{p1} [°C]	t_{a1} [°C]	R_{ha1} [%]	I_{r1} [W/m^2]
průměr naměřených hodnot	22,3	30,37	64,4	376
směrodatná odchylka	0,3	0,36	2,6	171
minimální naměřená hodnota	21,9	29,70	58,3	102
maximální naměřená hodnota	22,8	30,81	68,1	632
medián hodnot	22,3	30,46	64,7	378

Při porovnání průměrných hodnot tabulek 10 a 11 je patrné, že se teplota půdy v hloubce 10 cm u měření zastíněné plochy snížila v průměru o 0,2 °C. Teplota vzduchu je po zastínění v průměru o 6,43 °C nižší. Relativní vlhkost vzduchu u povrchu se po zastínění zvýšila o 33,9 % a intenzita dopadajícího slunečního záření snížila v průměru o 378 W/m^2, což odpovídá snížení o 50,13 %.

5.1.4 Ječmen setý – *Hordeum vulgare*

Tabulka 12: výsledné hodnoty nezakryté části u ječmene setého

ječmen setý	t_{p1} [°C]	t_{a1} [°C]	R_{ha1} [%]	I_{r1} [W/m^2]
průměr naměřených hodnot	22,1	30,73	66,0	429
směrodatná odchylka	0,3	2,39	5,9	291
minimální naměřená hodnota	21,9	28,06	54,3	190
maximální naměřená hodnota	23,2	35,45	75,0	1004
medián hodnot	22,0	29,85	67,8	258

Tabulka 13: výsledné hodnoty zastíněné části u ječmene setého

ječmen setý	t_p [°C]	t_a [°C]	R_{ha} [%]	I_r [W/m^2]
průměr naměřených hodnot	22,7	25,97	74,7	147
směrodatná odchylka	0,3	0,80	3,1	74
minimální naměřená hodnota	22,1	24,87	66,9	93
maximální naměřená hodnota	23,1	27,68	79,1	355
medián hodnot	22,7	25,68	74,9	107

Při porovnání průměrných hodnot tabulek 12 a 13 lze konstatovat, že se průměrné hodnoty změnily takto: teplota půdy v hloubce 10 cm při měření zastíněné části zvýšila o 0,6 °C, teplota vzduchu je u zastíněné části o 4,76 °C nižší, relativní vlhkost vzduchu u povrchu se u měření v zákrytu rostliny zvýšila o 8,7 % a intenzita dopadajícího slunečního záření se snížila o 282 W/m^2, což odpovídá snížení o 65,73 %.

5.1.5 Hrách setý – *Pisum sativum*

Tabulka 14: výsledné hodnoty nezakryté části u hrachu setého

hrách setý	t_{p1} [°C]	t_{a1} [°C]	R_{ha1} [%]	I_{r1} [W/m^2]
průměr naměřených hodnot	22,4	43,04	28,0	738
směrodatná odchylka	0,5	4,08	3,6	255
minimální naměřená hodnota	21,9	36,33	22,4	250
maximální naměřená hodnota	23,4	48,86	35,0	1087
medián hodnot	22,3	43,03	27,6	859

Tabulka 15: výsledné hodnoty zastíněné části u hrachu setého

hrách setý	t_{p1} [°C]	t_{a1} [°C]	R_{ha1} [%]	I_{r1} [W/m^2]
průměr naměřených hodnot	20,8	27,51	57,8	89
směrodatná odchylka	0,5	0,79	3,1	18
minimální naměřená hodnota	20,0	26,98	49,6	52
maximální naměřená hodnota	21,8	30,08	61,6	115
medián hodnot	21,0	27,17	58,3	93

Při porovnání průměrných hodnot tabulek 14 a 15 je vidět, že se teplota půdy v hloubce 10 cm po zastínění snížila o 1,6 °C. Teplota vzduchu je u zastíněné části o 15,53 °C nižší než u nezakryté. Relativní vlhkost vzduchu u povrchu se po zastínění zvýšila o 29,8 % a intenzita dopadajícího slunečního záření se snížila o 649 W/m^2, což odpovídá snížení o 87,94 %.

5.1.6 Laskavec – *Amaranthus*

Tabulka 16: výsledné hodnoty nezakryté části u laskavce

Laskavec	t_p [°C]	t_a [°C]	R_{ha} [%]	I_r [W/m^2]
průměr naměřených hodnot	25,1	41,30	27,4	713
směrodatná odchylka	0,1	1,24	1,6	201
minimální naměřená hodnota	25,0	38,73	24,4	399
maximální naměřená hodnota	25,5	43,54	31,7	1013
medián hodnot	25,1	41,18	27,7	747

Tabulka 17: výsledné hodnoty zastíněné části u laskavce

Laskavec	t_p [°C]	t_a [°C]	R_{ha} [%]	I_r [W/m^2]
průměr naměřených hodnot	23,5	31,51	44,5	279
směrodatná odchylka	0,2	0,43	3,1	36
minimální naměřená hodnota	23,1	30,68	38,6	200
maximální naměřená hodnota	23,8	32,36	49,0	329
medián hodnot	23,6	31,59	45,0	291

Při porovnání průměrných hodnot tabulek 16 a 17 je vidět, že se teplota půdy v hloubce 10 cm po zastínění snížila v průměru o 1,6 °C. Teplota vzduchu je u zastíněné části o 9,79 °C nižší než u nezastíněné. Relativní vlhkost vzduchu u povrchu se po zastínění zvýšila o 17,1 % a intenzita dopadajícího slunečního záření snížila v průměru o 434 W/m^2, což odpovídá snížení o 60,87 %.

5.1.7 Pohanka setá – *Polygonum fagopyrum*

Tabulka 18: výsledné hodnoty nezakryté části u pohanky seté

pohanka setá	t_{p1} [°C]	t_{a1} [°C]	R_{ha1} [%]	I_{r1} [W/m^2]
průměr naměřených hodnot	25,4	39,43	29,4	464
směrodatná odchylka	0,1	1,78	2,2	117
minimální naměřená hodnota	25,3	37,01	26,0	344
maximální naměřená hodnota	25,5	42,40	32,5	658
medián hodnot	25,4	39,04	30,3	381

Tabulka 19: výsledné hodnoty zastíněné části u pohanky seté

pohanka setá	t_{p1} [°C]	t_{a1} [°C]	R_{ha1} [%]	I_{r1} [W/m^2]
průměr naměřených hodnot	22,8	30,22	43,5	139
směrodatná odchylka	0,3	1,05	3,4	24
minimální naměřená hodnota	22,4	28,88	38,4	115
maximální naměřená hodnota	23,4	32,07	48,3	183
medián hodnot	22,9	30,35	42,7	145

Při porovnání průměrných hodnot tabulek 18 a 19 lze pozorovat, že se teplota půdy v hloubce 10 cm po zastínění snížila v průměru o 2,6 °C. Teplota vzduchu je u zastíněné části o 9,21 °C nižší než u nezakryté. Relativní vlhkost vzduchu u povrchu se po zastínění zvýšila o 14,1 % a intenzita dopadajícího slunečního záření snížila v průměru o 325 W/m^2, což odpovídá snížení o 70,04 %.

5.1.8 Bér vlašský – *Setaria italica*

Tabulka 20: výsledné hodnoty nezakryté části u béru vlašského

bér vlašský	t_p [°C]	t_a [°C]	R_{ha} [%]	I_r [W/m^2]
Průměr naměřených hodnot	25,9	38,71	29,6	589
směrodatná odchylka	0,1	1,09	1,1	51
minimální naměřená hodnota	25,7	37,01	27,9	523
maximální naměřená hodnota	26,0	39,84	31,6	673
medián hodnot	25,9	39,18	29,3	597

Tabulka 21: výsledné hodnoty zastíněné části u béru vlašského

bér vlašský	t_p [°C]	t_a [°C]	R_{ha} [%]	I_r [W/m^2]
Průměr naměřených hodnot	23,9	32,12	41,5	268
směrodatná odchylka	0,5	0,36	1,1	12
minimální naměřená hodnota	23,2	31,58	39,6	247
maximální naměřená hodnota	24,4	32,75	43,0	281
medián hodnot	23,8	32,07	41,6	271

Při porovnání průměrných hodnot tabulek 20 a 21 je vidět, že se teplota půdy v hloubce 10 cm po zastínění snížila v průměru o 2,0 °C. Teplota vzduchu je u zastíněné části o 6,59 °C nižší než u nezakryté. Relativní vlhkost vzduchu u povrchu se po zastínění zvýšila o 11,9 % a intenzita dopadajícího slunečního záření snížila v průměru o 321 W/m^2, což odpovídá snížení o 54,50 %.

5.1.9 Trávník a kačírek

Trávník na zkoumané střeše byl střižený na délku cca 6 cm. Pro účely porovnání nebylo možné změřit zastíněnou variantu, proto byl porovnán s vrstvou kačírku.

Tabulka 22: výsledné hodnoty měření kačírku

kačírek	t_p [°C]	t_a [°C]	R_{ha} [%]	I_r [W/m^2]
Průměr naměřených hodnot	31,9	35,34	30,1	697
směrodatná odchylka	0,2	1,98	2,3	202
minimální naměřená hodnota	31,4	32,27	26,2	438
maximální naměřená hodnota	32,2	38,23	33,3	1015
medián hodnot	32,0	35,40	30,0	596

Tabulka 23: výsledné hodnoty měření trávníku

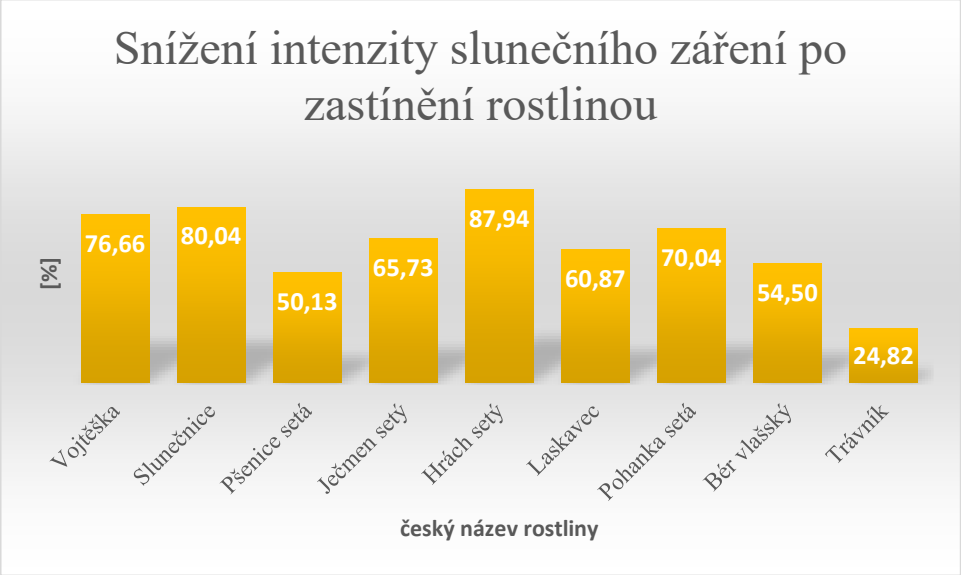
trávník	t_p [°C]	t_a [°C]	R_{ha} [%]	I_r [W/m^2]
průměr naměřených hodnot	23,1	32,52	51,7	524
směrodatná odchylka	0,4	2,76	6,3	138
minimální naměřená hodnota	22,2	28,97	41,6	352
maximální naměřená hodnota	23,5	36,50	64,9	735
medián hodnot	23,1	31,99	51,9	459

Při porovnání průměrných hodnot tabulek 22 a 23 je možné zpozorovat, že se teplota půdy v hloubce 10 cm u trávníku snížila v průměru o 8,8 °C. Teplota vzduchu je u trávníku o 2,82 °C nižší než u kačírku. Relativní vlhkost vzduchu u povrchu se u měření trávníku zvýšila o 21,6 % a intenzita dopadajícího slunečního záření snížila v průměru o 173 W/m^2, což odpovídá snížení o 24,82 %.

5.2 Porovnání rozdílů mezi rostlinami

Při porovnání rostlin z pohledu snížení intenzity dopadu slunečního záření na povrch střechy, je z grafu na obrázku č. 22, patrné, že největší procento záření zachytil hrách setý. Nejméně pak trávník. U hrachu je to zapříčiněno hustotou vegetačního pokryvu rostliny. U trávníku je to způsobeno nízkou výškou, jelikož byl střižený do výšky 6 cm.

Obrázek 22: graf snížení intenzity slunečního záření po zastínění rostlinou



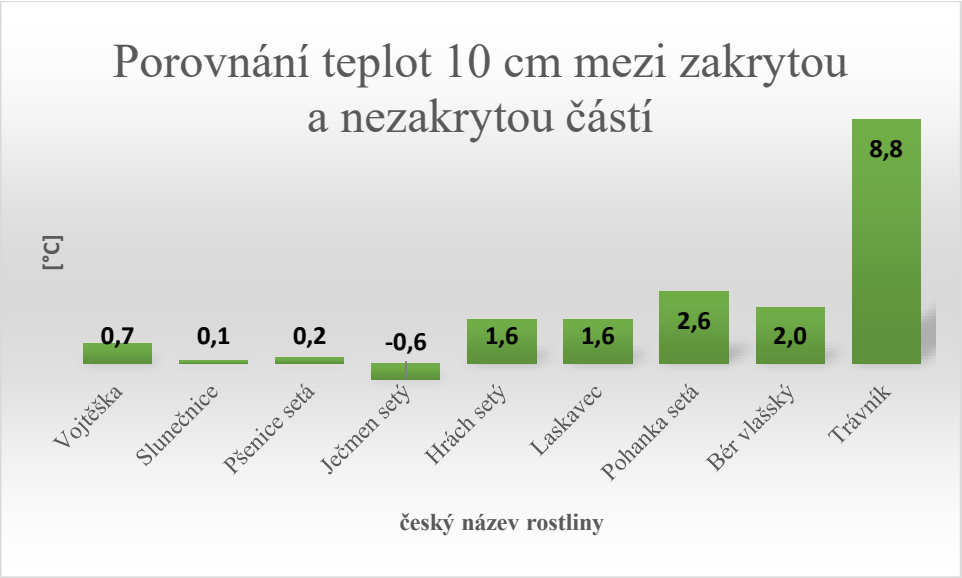
Vliv stínu jednotlivých rostlin na teplotu vzduchu u povrchu je možné vidět z grafu na obrázku č. 23.

Obrázek 23: snížení teploty vzduchu u povrchu po zastínění

Z grafu vyplývá, že nejvýraznější snížení teploty vzduchu došlo u tolice vojtěšky a nejmenší rozdíl byl naměřen u trávníku. Tolice vojtěška i hrách setý, u kterého se projevil také velký vliv na snížení teploty, měly velkou koncentraci listů.

Rozdíl v naměřených hodnotách teplot v hloubce 10 cm pod povrchem mezi zastíněnou a nezastíněnou částí ukazuje graf na obrázku č. 24. Hodnoty v grafu ukazují, o kolik °C se teplota zakryté části snížila oproti měření plochy s přímým dopadajícím sluncem.

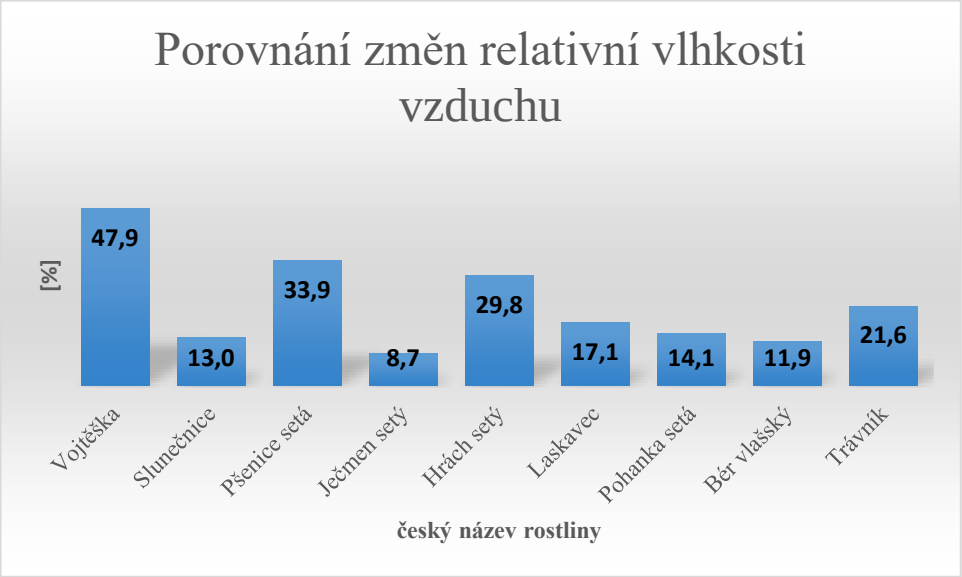
Obrázek 24: graf porovnání rozdílů teploty v hloubce 10 cm pod povrchem



Z grafu vyplývá, že nejvíce se snížila teplota pod povrchem v případě porovnání trávníku s vrstvou štěrku. Naopak u ječmene setého se teplota pod povrchem po zastínění nepatrně zvýšila.

Graf na obrázku č. 25 ukazuje porovnání relativní vlhkosti vzduchu, která byla měřena u povrchu. Od průměrných naměřených hodnot nezastíněných částí byly odečteny průměrné hodnoty částí zastíněných rostlinami.

Obrázek 25: graf porovnání změn v relativní vlhkosti vzduchu



Z grafu vyplývá, že se u všech měření po zastínění relativní vlhkost vzduchu zvýšila. Zásadní zvýšení vlhkosti bylo naměřeno u tolice vojtěšky, pšenice seté a také hrachu setého.

5.3 Celkový dopad zastínění rostlinami

Celkový rozdíl intenzity sluneční energie, která dopadá na povrch střechy je v průměru 3697 W/m^2, což odpovídá snížení o 64 %. Tento výsledek vychází z tabulky č. 24, kde hodnota nezastíněné části odpovídá součtu průměrných hodnot všech měřených rostlin. Zastíněná část je pak součtem průměrných hodnot všech zastíněných částí. Pro větší názornost jsou hodnoty graficky znázorněny na obrázku č. 26.

Tabulka 24: součet průměrů intenzity dopadajícího slunečního záření na zastíněnou a nezastíněnou část povrchu

typ plochy	I_r [W/m^2]
nezastíněná část	6048
zastíněná část	2178

Obrázek 26: grafické znázornění rozdílu dopadající sluneční energie na nezastíněnou a zastíněnou část povrchu

5.4 Vliv zelené střechy na izolační vlastnosti konstrukce

Čísla na obrázcích č.27 a 28 odkazují k jednotlivým vrstvám, jejich přesná tloušťka je uvedena na obrázku č. 6 a 7. v kapitole metodika. Zde je uveden seznam jednotlivých vrstev konstrukce:

1 - Omítka vápenná

2 - YTONG EKONOM 250+0

3 - Asfaltové pásy a lepenky

4 - Isover ORSIK

5 - Asfaltové pásy a lepenky

6 - Polypropylen s 25 % skelných vláken

7 - Polyethylen nebo polytén, vysoká objemová hmotnost

8 - Koberec nebo textilní podlahovina

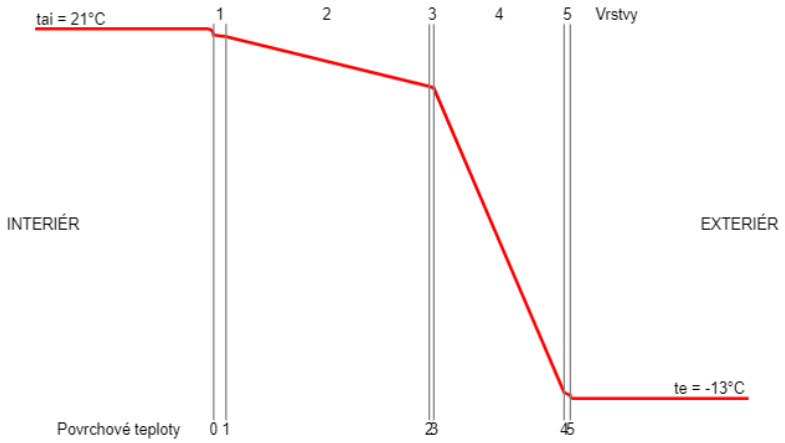
9 - Jíl nebo jemný písek

Před přidáním konstrukce zelené střechy bylo hodnocení konstrukce následovné:

- Součinitel prostupu tepla konstrukce U = 0,2 $W.m^{-2}.K^{-1}$
- Odpor při prostupu tepla konstrukce R_T = 5,1 $m^2.K/W$
- Celková tloušťka konstrukce d = 0,43 m
- Tepelný odpor konstrukce R = 4,96 m^2K/W

Průběh teplot v konstrukci je možné vidět z grafu na obrázku č. 27.

Obrázek 27: graf průběhu teplot v konstrukci bez zelené střechy

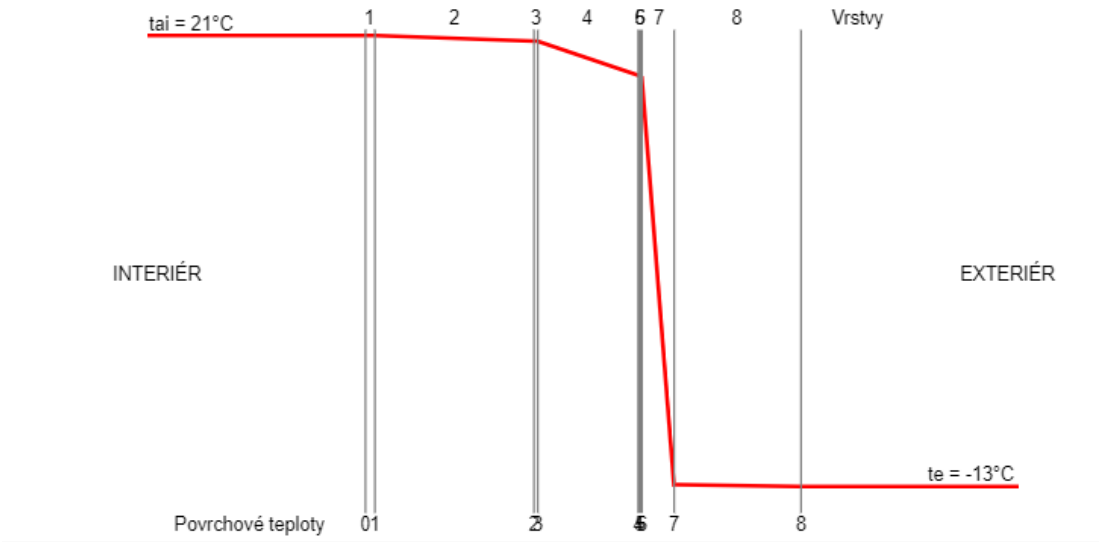


Zdroj: [2]

Přidání konstrukce zelené střechy se do hodnocení konstrukce promítlo následovně:

- Součinitel prostupu tepla konstrukce U = 0,18 $W.m^{-2}.K^{-1}$
- Odpor při prostupu tepla konstrukce R_T = 5,42 $m^2.K/W$
- Celková tloušťka konstrukce d = 0,652 m
- Tepelný odpor konstrukce R = 5,28 $m^2.K/W$

Obrázek 28: graf průběhu teplot v konstrukci po přidání konstrukce zelené střechy



Zdroj: [2]

Při porovnání hodnot je vidět mírné zlepšení izolačních vlastností konstrukce po přidání vrstev zelené střechy:

- Součinitel prostupu tepla konstrukce U se snížil o 0,02 $W.m^{-2}.K^{-1}$
- Celkový tepelný odpor konstrukce R se zvýšil o 0,32 $m^2.K/W$

6. Diskuse

Zelené střechy jsou nezpochybnitelným fenoménem, který se bude podle mého názoru v městské zástavbě objevovat stále častěji. Důvodem mohou být stále rostoucí průměrné letní teploty, které jsou nejvíce citelné v hustě zastavěných oblastech. Zeleň prokazatelně ochlazuje a zvlhčuje vzduch v přilehlém okolí. Ve většině měst je ovšem problém s výsadbou zeleně kvůli nedostatku prostoru. Právě v takových případech se plně projevuje přínos zelených střech.

Jejich ekologický význam je velmi zřetelný při porovnání s klasickými střešními konstrukcemi. Kromě zlepšení mikroklima v blízkém okolí také příznivě ovlivňují kvalitu ovzduší a hospodaření s dešťovými vodami. Podle autorů článku [29] nemají zelené střechy tak velký vliv na zvýšení biodiverzity, jak se často uvádí. Některé ohrožené druhy z nich však podle mého názoru profitovat mohou. Dobrým příkladem mohou být včely, kterým poskytovala útočiště zelená střecha zkoumaná v této práci. Včelám se však na střeše Národního zemědělského muzea daří nejspíše díky blízkosti přilehlého parku na Letné. Je otázkou, zda by bylo možné včely chovat i uprostřed zástavby jen díky zelené střeše. Aby vegetační střechy naplnily svůj potenciál v podpoře biodiverzity, měla by se jejich síť rozšířit. Důležitá je také dostupnost vody na střeše.

Z ekonomického pohledu jsou zelené střechy jednoznačně nákladnější na pořízení i na údržbu než klasické střešní krytiny. Výše počáteční investice závisí vždy na typu zelené střechy. Podle článku [33] investice do zelené střechy však sníží energetickou náročnost budovy. Díky stínu rostlin sluneční záření nedopadá přímo na povrch střechy a tím se celý méně zahřívá. Mnohdy tak není potřeba dalšího dodatečného chlazení formou klimatizace. V zimních měsících pak dodatečné vrstvy zlepšují izolační vlastnosti celé konstrukce. Obě tvrzení potvrdily výsledky této práce. Celková návratnost investice se pak podle stejného článku pohybuje okolo 13 let. Autoři článku ale uvádějí, že pokud převedeme na peněžní vyjádření také veřejné užitky, což jsou hlavní přínosy investic do zelených střech, návratnost se sníží na pouhé tří roky. Podle mého názoru je návratnost investice těžko odhadnutelná, jelikož vyjádřit přínosy peněžními prostředky je velmi obtížné a nejednoznačné. Výstavba zelených střech je podpořena také dotacemi z dotačního programu Nová zelená úsporám. Stále si však

myslím, že by podpora na výstavbu zelených střech měla být větší, protože jejich pozitivní dopady jsou zájmem společnosti.

Z technického pohledu je důležité dodržovat předepsané postupy jak při návrhu, tak i při realizaci zelené střechy. Podle mého názoru by měl být zvláštní důraz kladen především na správné odvodnění střechy. Pokud není odvod vody vyřešen správně, hrozí problémy se zvýšenou vlhkostí, což může vést k nenávratnému poškození nejen střechy, ale také celé konstrukce budovy.

Výsledky měření prokázaly významný efekt rostlinného stínu na snížení dopadajícího slunečního záření. Zároveň provedená simulace prostupů tepla v zimních měsících prokázala zlepšení izolačních vlastností budovy. Podle studie [52] zelené střechy sníží tepelný přírůstek o 70 až 90 %. Podle studie [53] je snížení až o 57 %. Při porovnání s průměrnými výsledky měření této práce, kde bylo zjištěno snížení dopadů slunečního záření o 64 %, se domnívám, že celkové snížení tepelného přírůstku odpovídá standardům zelených střech.

Vliv zelené střechy na izolační vlastností konstrukce vedl ke zlepšení součinitele prostupu tepla a tepelného odporu. Stejný efekt byl prokázán i ve studii [53], kde se rovněž uvádí vrstva substrátu jako hlavní izolační vrstva. Z grafu na obrázku č. 28 a náhledu na on-line kalkulátor je ale vidět, že v řešené simulaci vrstva jílu velký vliv nemá. Celkový dopad zelené střechy na izolační schopnosti konstrukce by tak mohl být reálně větší.

Z výsledků vyplývá, že pro účel zelené střechy je možné využít i užitkové rostliny, ale podle mého názoru to v současné době v podmínkách České republiky není výhodné. Důvodem je potřeba velmi intenzivní péče o tyto rostliny a také fakt, že pro tuto péči není možné použít těžkou techniku, která se užívá na polích. Domnívám se, že je možné využívat zelené střechy pro účely zemědělství, ovšem pouze v komunitním měřítku. Například na střeše činžovního domu by mohla zelená střecha sloužit částečně i pro pěstování některých druhů zeleniny.

7. Závěr a přínos práce

Zelené střechy jsou z ekologického hlediska přínosné pro celou společnost a potenciálně mohou také přispívat ke zvýšení druhé biodiverzity í v místech, jako jsou městské metropole. Přispívají tak ke zkvalitnění života v přilehlém okolí a mohou sloužit také jako místa odpočinku.

Z ekonomického pohledu je realizace a údržba zelených střech finančně nákladnější než u standartních střešních krytin. Výhodou však je zvýšení izolačních schopností střešní konstrukce, zejména v horkých letních dnech, kdy dokážou rostliny na střeše zachytit velké množství slunečního záření. Sníží se tak potřeba ochlazovat interiér vzduchotechnickými jednotkami či klimatizací. Další finanční kompenzaci poskytují dotační programy, jako je Nová zelená úsporám. Díky těmto faktorům se zelené střechy stávají pro řadu investorů zajímavé.

Z výsledků měření vyplývá, že rostliny na měřené zelené střeše dokázaly snížit intenzitu dopadajícího slunečního záření v průměru o 3697 W/m^2, což odpovídá poklesu o 64 %.

U všech měřených rostlin se také znatelně snížila teplota vzduchu u povrchu. Snížení teploty vzduchu pod povrchem v hloubce 10 cm nebylo tak výrazné kvůli izolačním vlastnostem půdního substrátu. Velký rozdíl byl naměřen při porovnání travnaté plochy a kačírkového povrchu. Rozdíl teploty v hloubce 10 cm pod povrchem byl v tomto případě 8,8 °C.

Měření také prokázalo výrazný vliv rostlin na relativní vlhkost vzduchu. U všech měření v zákrytu rostlinného stínu se relativní vlhkost zvýšila. U tolice vojtěšky (*Medicago sativa*) bylo zvýšení vlhkosti v průměru o 47,9 %.

Měřené rostliny, převážně užitkového charakteru, tak mohou být efektivně využity i pro účel vysazení na zelených střechách. Nejzajímavější měřené rostliny z pohledu všech zkoumaných faktorů jsou hrách setý (*Pisum sativum)* a tolice vojtěška (*Medicago sativa).* Oproti zavedeným rostlinám, například trvalkám, přináší tyto rostliny přidanou hodnotu ve formě dalšího užitku. I přesto bych tyto rostliny pro výsadbu na zelené střeše nedoporučil z důvodu potřeby pravidelné a náročné údržby. V České republice je i přes úbytek stále dostatek pozemků zemědělského půdního fondu, kde je možné užitkové rostliny pěstovat výrazně efektivněji.

Tato práce může být přínosem pro získání základní orientace v problematice zelených střech. Zároveň poskytuje pohled na využití netradičních druhů rostlin pro využití na zelených střechách. Pro lepší porovnání užitkových rostlin s těmi standartně využívanými by bylo vhodné je vzájemně porovnat měřením za stejných podmínek.

Přehled literatury a použitých zdrojů

[1] *Mapy.cz* [online]. [vid. 2023-03-05]. Dostupné z: https://mapy.cz/zakladni?x=14.4223906&y=50.0972464&z=18&base=ophoto

[2] TZB-INFO. *Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci - TZB-info* [online]. 2011 [vid. 2020-02-13]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicevrstvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci

[3] MINKE, Gernot. *Zelené střechy - plánování, realizace, příklady z praxe*. B.m.: nakladatelství HEL, 2001. ISBN 80-86167-17-8.

[4] ABASS, F., L. H. ISMAIL, I. A. WAHAB a A. A. ELGADI. A Review of Green Roof: Definition, History, Evolution and Functions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2020. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/713/1/012048

[5] OSMUNDSON, T. *Roof Gardens: History, Design, and Construction*. B.m.: W. W. Norton & Company, 1999. ISBN 9780393730128.

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

[7] *The History Of Green Roofs | Sky Garden* [online]. 2015 [vid. 2021-11-21]. Dostupné z: https://www.sky-garden.co.uk/news/history-of-green-roofs.php

[8] SIPINSKI, D. *Faroe Islands: Bleak, beautiful land of grass roofs | CNN Travel* [online]. 2014 [vid. 2021-11-21]. Dostupné z: https://edition.cnn.com/travel/article/faroe-islands-grass-roofs/index.html?gallery=11

[9] DUNNETT N N AND KINGSBURY. Planting Green Roofs and Living Walls. *Timber Press. Oregon*. 2008.

[10] JIM, C. Y. Green roof evolution through exemplars: Germinal prototypes to modern variants. *Sustain. Cities*. 2017.

[11] KUMAR, Rakesh a S C KAUSHIK. Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings. *Building and environment*. 2005, 40(11), 1505–1511. ISSN 0360-1323.

[12] VAN RENTERGHEM, Timothy. Green roofs for noise reduction: literature review and new approaches. In: *46th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-Noise 2017)*. 2017, s. 4845–4851. ISBN 0989943186.

[13] STOVIN, Virginia, Simon POË a Christian BERRETTA. A modelling study of long term green roof retention performance. *Journal of environmental management*. 2013, 131, 206–215. ISSN 0301-4797.

[14] DOSTAL, P, J MACHÁČ, L DUBOVÁ a J LOUDA. Způsoby systémové podpory výstavby zelených střech. 2017, 32.

[15] ŠIMEČKOVÁ, Jana. *ZELENÉ STŘECHY NADĚJE PRO BUDOUCNOST II.* [online]. Dostupné z: https://www.zelenestrechy.info/media/_file/359/Publikace ZELENE STRECHY_DEF.pdf

[16] BONOLI, Alessandra, Andrea CONTE, Marco MAGLIONICO a Irena STOJKOV. GREEN ROOFS FOR SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT IN URBAN AREAS Extended abstract. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2013, 12(S11), 153–156.

[17] SUSZANOWICZ, Dariusz a Alicja KOLASA WIĘCEK. *The Impact of Green Roofs on the Parameters of the Environment in Urban Areas—Review* [online]. 2019. ISBN 2073-4433. Dostupné z: doi:10.3390/atmos10120792

[18] GETTER, Kristin L a D Bradley ROWE. The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*. 2006, 41(5), 1276–1285. ISSN 0018-5345.

[19] BURIAN ET AL, Samuel. *Vegetační souvrství zelných střech STANDARDY PRO NAVRHOVÁNÍ, PROVÁDĚNÍ A ÚDRŽBU*. 2019.

[20] *Nophadrain | Nophadrain Extensive Green Roof System* [online]. [vid. 2022-12-30]. Dostupné z: https://www.nophadrain.com/systems/nophadrain-extensive-green-roof-systém

[21] *Nophadrain | Nophadrain Intensive Green Roof System* [online]. [vid. 2022-12-30]. Dostupné z: https://www.nophadrain.com/systems/nophadrain-intensive-green-roof-system

[22] STELLA, Patrick a Erwan PERSONNE. Effects of conventional, extensive and semi-intensive green roofs on building conductive heat fluxes and surface temperatures in winter in Paris. *Building and Environment*. 2021, 205, 108202. ISSN 0360-1323.

[23] *Zelené střechy* [online]. [vid. 2023-01-03]. Dostupné z: https://www.zelenestrechy.info/druhy-vegetace

[24] *Coleman S.I. - Skladba zelené střechy a její detaily* [online]. [vid. 2023-01-28]. Dostupné z: https://www.coleman.cz/clanky/zelene-strechy-jejich-skladba-a-detaily

[25] GAJDOŠOVÁ, Markéta. Zelená střecha. In: Střední odborná škola a Střední zdravotnická škola Benešov [online] [online]. 2016. Dostupné z: https://www.sosbn.cz/wp-content/uploads/2016/01/zelene-strechy.pdf

[26] SUSCA, Tiziana, Stuart R GAFFIN a G R DELL'OSSO. Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental pollution*. 2011, 159(8–9), 2119–2126. ISSN 0269-7491.

[27] *Zelené střechy vs. tepelné ostrovy - ČT edu - Česká televize* [online]. [vid. 2022-11-17]. Dostupné z: https://edu.ceskatelevize.cz/video/14087-zelene-strechy-vs-tepelne-ostrovy

[28] NEZNÁMÝ. *Green roofs and air quality in cities* [online]. [vid. 2023-02-01]. Dostupné z: https://livingroofs.org/air-quality/

[29] WILLIAMS, Nicholas S G, Jeremy LUNDHOLM a J SCOTT MACIVOR. Do green roofs help urban biodiversity conservation? *Journal of applied ecology*. 2014, 51(6), 1643–1649. ISSN 0021-8901.

[30] ING. SELNÍK, Petr, David ING. BEČKOVSKÝ a Tatiana PH.D. ING. ARCH. REBROVÁ. *Zelené a modré střechy jako adaptační opatření v městské zástavbě z pohledu hospodaření se srážkovou vodou - TZB-info* [online]. 2020 [vid. 2023-02-03]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/strechy/20393-zelene-a-modre-strechy-jako-adaptacni-opatreni-v-mestske-zastavbe-z-pohledu-hospodareni-se-srazkovou-vodou

[31] PROF. DR. GERNOT MINKE. *Šikmé zelené střechy - ekologické a ekonomické výhody, pasivní vytápěcí a chladicí efekt* [online]. 2008. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/strechy/4874-sikme-zelene-strechy-ekologicke-a-ekonomicke-vyhody-pasivni-vytapeci-a-chladici-efekt

[32] Ekonomika a přínosy zelených střech [online]. nedatováno [vid. 2023-02-14]. Dostupné z: https://www.czgbc.org/files/2021/01/91b65a0bf6725d54354f59daa9f46f0b.pdf

[33] FENG, Haibo a Kasun HEWAGE. Economic Benefits and Costs of Green Roofs. In: *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability* [online]. 2018, s. 307–318. ISBN 9780128121504. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-812150-4.00028-8

[34] *Dotační program: Nová zelená úsporám na zelené střechy až do roku 2030 | Isover* [online]. [vid. 2023-02-19]. Dostupné z: https://www.isover.cz/blog/dotacni-program-nova-zelena-usporam-na-zelene-strechy-az-do-roku-2030#1

[35] *Dotace pro rodinné domy – Nová zelená úsporám* [online]. [vid. 2023-02-19]. Dostupné z: https://novazelenausporam.cz/rodinne-domy/

[36] DOYLE, Leslie. *Green roof construction*. 2022. ISBN 9781550927108.

[37] *Požadavky na skladbu zelených střech a stavební materiály | Krytiny-střechy.cz* [online]. [vid. 2023-01-07]. Dostupné z: https://www.krytiny-strechy.cz/technicke_info-k-navrhovani-strech/zelene-strechy/9867-pozadavky-na-skladbu-zelenych-strech-a-stavebni-materialy-a.html#.Y7moh3bMJPY

[38] HENSEN CENTNEROVÁ, Hana. *Pohoda vnitřního prostředí anno 2016 | TOPIN* [online]. 2016 [vid. 2020-01-30]. Dostupné z: http://www.topin.cz/clanky/pohoda-vnitrniho-prostredi-anno-2016-detail-1097

[39] CENTNEROVÁ, Lada. *Tepelná pohoda a nepohoda - TZB-info* [online]. 2000 [vid. 2020-01-30]. Dostupné z: https://vetrani.tzb-info.cz/vnitrni-prostredi/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda

[40] DOLEŽÍLKOVÁ, Hana. *Kvalita vnějšího a vnitřního vzduchu - TZB-info* [online]. 2010 [vid. 2020-02-28]. Dostupné z: https://vetrani.tzb-info.cz/vnitrni-prostredi/6486-kvalita-vnejsiho-a-vnitrniho-vzduchu

[41] PEHLE, Tobias. *Vlhkost v domě: prevence a odstraňování*. B.m.: Rebo Productions CZ, Čestlice, 2002. ISBN 80-7234-196-0.

[42] BLÁHA, Matin a Ladislav BUKOVSKÝ. *Prevence a odstraňování vlhkosti*. B.m.: ERA vydavatelství, 2004. ISBN 80-86517-48-9.

[43] FLAIR A.S. *Relativní vlhkost | Flair* [online]. 2015 [vid. 2020-02-28]. Dostupné z: http://www.flair.cz/relativni-vlhkost

[44] MINÁŘOVÁ, Ivana. *Relativní vlhkost vzduchu - Geniální dům* [online]. 2020 [vid. 2020-02-28]. Dostupné z: https://www.genialnidum.cz/co-je/relativni-vlhkost-vzduchu/

[45] MATHAUSEROVÁ, Zuzana. *Přirozené větrání, infiltrace a exfiltrace - TZB-info* [online]. 2006 [vid. 2020-03-16]. Dostupné z: https://vetrani.tzb-info.cz/vnitrni-prostredi/3608-prirozene-vetrani-infiltrace-a-exfiltrace

[46] ŠUBRT, Roman. *Přehledná energetická bilance budovy | Izolace-info.cz* [online]. 2017 [vid. 2020-03-25]. Dostupné z: https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/tepelne-mosty/21206-prehledna-energeticka-bilance-budovy-a.html#.Xnu4xIhKjIU

[47] JAFFAL, Issa, Salah-Eddine OULDBOUKHITINE a Rafik BELARBI. A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Renewable energy*. 2012, 43, 157–164. ISSN 0960-1481.

[48] DOSTALOVÁ, Jitka. *Zelené střechy: souhra architektury s přírodou*. B.m.: Grada Publishing a.s., 2021. ISBN 978-80-271-1326-2.

[49] *Rozchodníkové koberce pro firmy - rozchodnik.cz* [online]. [vid. 2023-02-26]. Dostupné z: https://rozchodnik.cz/velkoobchod/

[50] DVORAK, Bruce. *Green Roofs for Native Pollinators using Grasses - Bruce Dovrak* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: https://livingarchitecturemonitor.com/articles/grasses-living-roofs-for-native-pollinators-part-3-su22

[51] *Irrigation of Intensive Green Roof Systems | Specification Online* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: https://specificationonline.co.uk/articles/2018-08-13/alumasc-roofing-systems/irrigation-of-intensive-green-roof-systems

[52] LUI, K. a J. MINOR. *Performance evaluation of an extensive green roof, Greening Rooftops for Sustainable Communities*. 2005.

[53] ERCAN, Merve, Merve TUNA a Bahar SULTAN QURRAIE. The Effects of Green Roof on Heat Loss and Energy Consumption in the Buildings. *COMPUTATIONAL RESEARCH PROGRESS IN APPLIED SCIENCE & ENGINEERING* [online]. 2021, 7, 1–9. Dostupné z: doi:10.52547/crpase.7.4.2422

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: letecký pohled na budovu Národního zemědělského muzea v Praze 14

Obrázek 2: fotografie rostlin na měřené zelené střeše 14

Obrázek 3: měřící systém Almemo 2690 15

Obrázek 4: snímač globálního záření FLA 613 GS 16

Obrázek 5: CONRAD 4 v 1 a analogový měřič vlhkosti Basetech BT - 235 PT 17

Obrázek 6: vrstvy střešní konstrukce 19

Obrázek 7: střešní konstrukce s přidanou vegetační vrstvou 20

Obrázek 8: ilustrace visuté zahrady v Babylonu 22

Obrázek 9: zelené střechy na Faerských ostrovech 22

Obrázek 10: střešní zahrada na Rockefeller centre 23

Obrázek 11: řez reprezentativním extenzivním systémem zelených střech včetně typicky používaných vrstev 27

Obrázek 12: řez reprezentativním intenzivním systémem zelených střech včetně typicky používaných vrstev 28

Obrázek 13: satelitní snímek tepelných ostrovů v Praze 33

Obrázek 14: porovnání srážek (rainfall) a následného odtoku (drain) ze šikmé zelené střechy 36

Obrázek 15: izolace okraje zelené střechy 41

Obrázek 16: řešení okraje ploché střechy 42

Obrázek 17: řešení vnitřního odvodnění 43

Obrázek 18: ukázka drenážní rohože 46

Obrázek 19: rozchodníkový koberec 54

Obrázek 20: extenzivní travnatá střecha na VanDusenově botanické zahradě 56

Obrázek 21: ukázka intenzivní travnaté střechy 56

Obrázek 22: graf snížení intenzity slunečního záření po zastínění rostlinou 66

Obrázek 23: snížení teploty vzduchu u povrchu po zastínění 67

Obrázek 24: graf porovnání rozdílů teploty v hloubce 10 cm pod povrchem 68

Obrázek 25: graf porovnání změn v relativní vlhkosti vzduchu 69

Obrázek 26: grafické znázornění rozdílu dopadající sluneční energie na nezastíněnou a zastíněnou část povrchu..... 70

Obrázek 27: graf průběhu teplot v konstrukci bez zelené střechy 71

Obrázek 28: graf průběhu teplot v konstrukci po přidání konstrukce zelené střechy 72

Seznam použitých tabulek

Tabulka 1: mocnost souvrství využitelné pro kořenění rostlin u různých způsobů ozelenění a forem vegetace 29

Tabulka 2: výše dotace pro různé typy zelených střech 39

Tabulka 3: porovnání tepelně technických výpočtů běžné střechy bez vegetace a zelené střechy 52

Tabulka 4: příklady doporučených trvalek a rozchodníků 54

Tabulka 5: příklady vhodných druhů trav pro extenzivní zelenou střechu 55

Tabulka 6: výsledné hodnoty nezakryté části u tolice vojtěšky 57

Tabulka 7: výsledné hodnoty zastíněné části u tolice vojtěšky 57

Tabulka 8: výsledné hodnoty nezakryté části u slunečnice roční 58

Tabulka 9: výsledné hodnoty zastíněné části u slunečnice roční 58

Tabulka 10: výsledné hodnoty nezakryté části u pšenice seté 59

Tabulka 11: výsledné hodnoty zastíněné části u pšenice seté 59

Tabulka 12: výsledné hodnoty nezakryté části u ječmene setého 60

Tabulka 13: výsledné hodnoty zastíněné části u ječmene setého 60

Tabulka 14: výsledné hodnoty nezakryté části u hrachu setého 61

Tabulka 15: výsledné hodnoty zastíněné části u hrachu setého 61

Tabulka 16: výsledné hodnoty nezakryté části u laskavce 62

Tabulka 17: výsledné hodnoty zastíněné části u laskavce 62

Tabulka 18: výsledné hodnoty nezakryté části u pohanky seté 63

Tabulka 19: výsledné hodnoty zastíněné části u pohanky seté 63

Tabulka 20: výsledné hodnoty nezakryté části u béru vlašského 64

Tabulka 21: výsledné hodnoty zastíněné části u béru vlašského 64

Tabulka 22: výsledné hodnoty měření kačírku 65

Tabulka 23: výsledné hodnoty měření trávníku 65

Tabulka 24: součet průměrů intenzity dopadajícího slunečního záření na zastíněnou a nezastíněnou část povrchu..... 70