

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Katedra agroekologie a biometeorologie



Vliv zeleně na městské klima

Bakalářská práce

Autor práce: Kamila Folaufová

Vedoucí práce: Ing. Věra Kožnarová, CSc.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv zeleně na městské klima" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Věře Kožnarové, CSc. za podnětné rady a podporu při vedení mé bakalářské práce.

Vliv zeleně na městské klima

Souhrn

Bakalářská práce se zabývá problematikou významnou v urbánní klimatologii. Jsou zde uvedeny negativní vlivy městské zástavby. Důraz je kladen především na tepelný ostrov města (Urban Heat Island UHI). Představeny jsou možnosti jeho zhoršení a negativní vlivy. Tepelný ostrov města má vliv na kvalitu života komunity a to především zvýšenou teplotou ve městech. V některých částech světa se teplota ve velkých městech liší oproti extravilánu až o 10 °C. V závěru první části této bakalářské práce jsou uvedeny možnosti snížení rizika výskytu tepelného ostrova.

Práce se dále zabývá městskou zelení. Hlavní důraz je kladen na pozitivní vlivy zeleně na klima města. Jedním z nich je zmírnění působení tepelného ostrova města snížením teploty vzduchu tím, že omezuje kumulaci tepla ve zdech budov. Dalšími pozitivní vlivy jsou zastínění, zlepšení kvality ovzduší, zadržování vody a tím i kladný vliv na zdraví obyvatel, významné jsou též ekonomické dopady v podobě redukce teploty vzduchu a tím nižší potřeba na klimatizaci.

Protože je v současné době snaha o zkvalitňování životního prostředí zejména ve městech, práce se zaměřuje na jednu z konkrétních možností ozelenění města, jíž jsou zelené střechy a fasády. První zelené střechy jsou známy již od 8. stol. př. n. l., v tomto období ale jejich založení mělo spíše estetický smysl, zatím co dnes se zelené střechy zakládají převážně z důvodu ekologických. Mnoho veřejných míst, převážně v zahraničí, jako jsou například obchodní a zábavní centra, zakládá zelené střechy. Trendem se ovšem dnes stává i použití tohoto typu ozelenění na nových rodinných domech. V práci jsou uvedeny jejich výhody a nevýhody, metody založení a druhy.

V závěru je pak uveden „Indikátor obecné kvality zeleně“ ve městech. Indikátor je primárně navržen pro potřeby intenzivní potenciální péče o zeď a pro sledování kvality zeleně ve městech.

Klíčová slova: městské klima, tepelný ostrov města, zeď, zelené střechy

Effect of greenery on town climate

Summary

This bachelor thesis deals with urban climatology problems. Here the negative effects of urban sprawl are given. Urban heat island (UHI) is emphasized there. Further possibilities of its deterioration and negative influences are showed. Urban heat island has a negative impact on the quality of community life especially increase of temperature in cities. Temperature difference between urban and rural environment might differ by 10 °C. At the end of the first part possibilities of reduction of UHI risk are given.

The thesis also discusses urban greenery. The mitigation of UHI and its effects are emphasized there. One of the positive effects of the greenery is decrease of temperature of the air so building walls will accumulate less heat. Other positive effects are shading, improved air quality, water retention, and positive impacts on human health and furthermore reduction of usage of air conditioners causes to lower costs for building cooling.

Currently there have been efforts to improve the quality of environment especially in cities. The thesis is focused on one of specific options of greening cities. The greening is realized via green roofs and facades. The first green roofs have been known since 8th century B.C., however green building roofs were used due to their nice appearances. Today the roofs are built firstly due to their positive effects on the environment of cities. Many types of buildings around the World have been realized with green roofs, they are such buildings like: shopping and entertainment centers, etc. Ongoing trends are building of new developments based on the greening (walls and facades). Types of green roofs and their advantages and disadvantages are listed here.

In the conclusion the general indicator of quality green areas in cities is given. The indicator is primarily designed for possible needs of care about vegetation intensity, as well as for monitoring of potential overall quality of green areas in cities.

Keywords: urban climate, urban heat island, greenery, green roofs

Obsah:

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce	2
3	Literární rešerše.....	3
3.1	Klima a jeho změny	3
3.2	Klima města	4
3.2.1	Srovnání venkovského a městského prostředí.....	5
3.2.2	Struktura měst a městské klima.....	6
3.3	Tepelný ostrov města	7
3.3.1	Příčiny vzniku tepelného ostrova města.....	8
3.3.2	Typy tepelného ostrova města a jejich vznik	9
3.3.3	Negativní vlivy tepelného ostrova města	10
3.3.4	Snížení rizika výskytu tepelného ostrova města.....	13
3.4	Možnosti zmírnění negativních vlivů tepelného ostrova města	13
3.4.1	Vegetační pokryv.....	14
3.4.2	Zelené střechy.....	14
3.4.3	Reflexní střechy	14
3.4.4	Chladné dlažby	14
3.5	Městská (urbánní) zeleň.....	15
3.5.1	Městská zeleň v České republice.....	16
3.5.2	Vznik a vývoj městské zeleně a parku	18
3.5.3	Dělení zeleně dle držby	19
3.5.4	Pozitivní vlivy městské zeleně	20
3.5.5	Negativní vlivy městské zeleně.....	23
3.5.6	Trendy a vývoj zeleně ve městech.....	24
3.6	Zelené střechy a fasády	25
3.6.1	Historie zelených střech.....	26
3.6.2	Výhody a nevýhody zelených střech.....	27
3.6.3	Vrstvy vegetačních střech.....	29
3.6.4	Druhy zelených střech	29
3.7	Indikátor obecné kvality zeleně ve městech	34
4	Závěr	36
5	Seznam literatury	37
6	Seznam zkratk	43

1 Úvod

Světová populace je v demografii souhrn všech lidí, kteří k určitému datu žijí na planetě Zemi. Růst světové populace se začal zrychlovat v 17. století. Yao et al. (2015) ve svém článku udává, že populace v městských oblastech se rapidně zvýšila v Číně dokonce z 29 % v roce 1950 na 49 % v roce 2005. Další nárůst v některých větších městech se očekává v roce 2030 a to až na 60 %. Mnohem menší míra je v rozvojových zemích, avšak v rozvinutých zemích je urbanizace značná. Tato rychlá urbanizace s sebou přináší sérii změn životního prostředí. Města jsou zodpovědná za 75 % spotřeby energie a svými emisemi přispívají ke vzniku skleníkových plynů až 80 %. Městské klima se od venkovského liší především použitím materiálů a nedostatkem přírodních zelených ploch, které napomáhají ke zlepšení kvality ovzduší a ke snížení teploty.

McCarthy et al. (2010) upozorňuje na to, že ve 21. století se očekává další urbanizace. Nejnovější zpráva Intergovernmental Panel on Climate Change uvádí, že je vlivu urbanizace věnováno nedostatek pozornosti. Domínguez and de la Flor (2004) konstatují, že interakce mezi energetickou bilancí budov a jejím okolím je dobře známá. Stěny budov umožňují větší či menší přenos tepla, který není ovlivněn pouze samotnými budovami, nýbrž i okolím, ve kterém se budovy nachází. Obecně platí, že je energetický přenos ovlivněn geometrickými a konstrukčními charakteristikami městského rozložení. Dwyer et al. (1992) uvádí, že proces urbanizace ve městě Phoenix vedl postupně ke zvýšení noční teploty přibližně o 0,5 °C za deset let a to od roku 1910. Millward et al. (2014) upozorňuje, že tepelný ostrov města může ještě zhoršit pokračování urbanizace.

V přizpůsobování se změně klimatu zeleň může hrát velkou roli tím, že pomáhá zmírňovat extrémní výkyvy počasí, mezi něž patří nejčastěji vysoké teploty (Sarajevs, 2011).

O zelených střeších napsal roku 1923 švýcarský architekt Le Corbusier: „Končí doba, kdy střešní zahrada byla spíše kuriozitou než skutečnou potřebou. V budoucnu by měla mít střešní zahrada a všechny její prvky podstatný vliv na životní prostředí města jako celku i na prostředí samotného bydlení“ (Čermáková a Mužíková, 2009).

2 Cíl práce

Hlavním cílem práce je zpracování zahraničních a českých literárních zdrojů a poskytnout díky nim ucelený pohled na problematiku tepelného ostrova města a pozitivního vlivu zeleně a zelených střech na klima města.

Díličmi cíli jsou:

- Přiblížení jednoho z problémů urbanismu současné doby – tepelného ostrova města.
- Negativní dopady tepelného ostrova města na spotřebu energie, znečištění ovzduší, vliv na lidské zdraví, zhoršení kvality vody, vlhkost vzduchu.
- Pozitivní vlivy zeleně a zelených střech.
- Možnost využití zeleně ve městech prostřednictvím zelených střech, jejich historie, výhody, nevýhody a použitelnost.

3 Literární rešerše

3.1 Klima a jeho změny

Klima je souhrn a postupné střídání všech stavů atmosféry v daném místě. Je důsledkem různých nepřetržitě probíhajících klimatotvorných procesů. Z hlediska vlivu klimatu na každodenní lidské činnosti je důležitá znalost klimatických poměrů v mezní, respektive přízemní vrstvě atmosféry. Spolu s polohou daného místa tyto faktory ovlivňují a formují mikroklima a místní klima (Vysoudil, 2006).

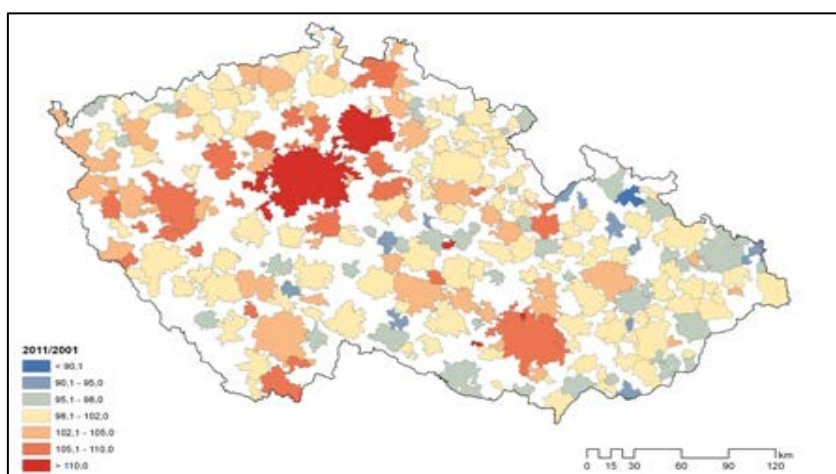
Dějiny živých organismů jsou s dějinami klimatu od počátku úzce spjaty. Důležitou roli ve vývoji a diverzifikaci organismů sehrály právě klimatologické změny, organismy poté zase přispěli k výrazným změnám původní atmosféry. Klimatology bylo zjištěno, že vznik a vývoj organismů, jež byli schopni přímo využívat atmosférický uhlík a uvolňovat kyslík, vedl velice záhy ke změně chemického složení atmosféry, tedy ke změně klimatu (Acot, 2005).

Ke změnám klimatu docházelo dříve a budou jistě probíhat i v budoucnu. Bednář (2003) uvádí, že logicky předpokládaným důsledkem antropogenně podmíněného zesílení skleníkového efektu zemské atmosféry je tzv. globální oteplení. Tento dnes obvykle užívaný pojem však není z hlediska svého věcného obsahu nejvhodnější, neboť spíše by se mělo mluvit o zvýšení obsahu energie ve spodní části atmosféry. Důsledkem totiž nemusí být pouze statické zvýšení teploty zemského povrchu, ale zejména vzrůst intenzity atmosférické cirkulace projevující se častějším výskytem extrémních forem projevů počasí (např. bouře, silné srážky, ale i velká sucha, vedra i velké mrazy). Klimatické změny jsou jedním z hlavních problémů 21. století. Ústav pro kosmické studie (NASA) konstatuje, že zemský povrch má v posledních deseti letech o 0,8 °C vyšší teplotu než tomu bylo na počátku 20. století, přičemž z dvou třetin k tomuto oteplování došlo od roku 1975. Nedávný výzkum ukazuje na změnu klimatu vlivem otisku lidské stopy (Carter et. al, 2015). V posledních dvou desetiletích vznikla celá škála prognóz o tom, jak by měl vypadat další klimatický vývoj a jakým způsobem tento vývoj může ovlivnit společnost. Společným znakem těchto opakovaných domněnek je, že se zdvojnásobí oxid uhličitý v atmosféře a atmosféra se oteplí. Avšak z analýzy klimatu a to ať už za posledních 10 tisíc let, nebo za poslední tisíce let vyplývá, že přirozená variabilita klimatu je značná a mnohostranná, dokonce větší než člověkem způsobené změny (Cílek a kol., 2003).

3.2 Klima města

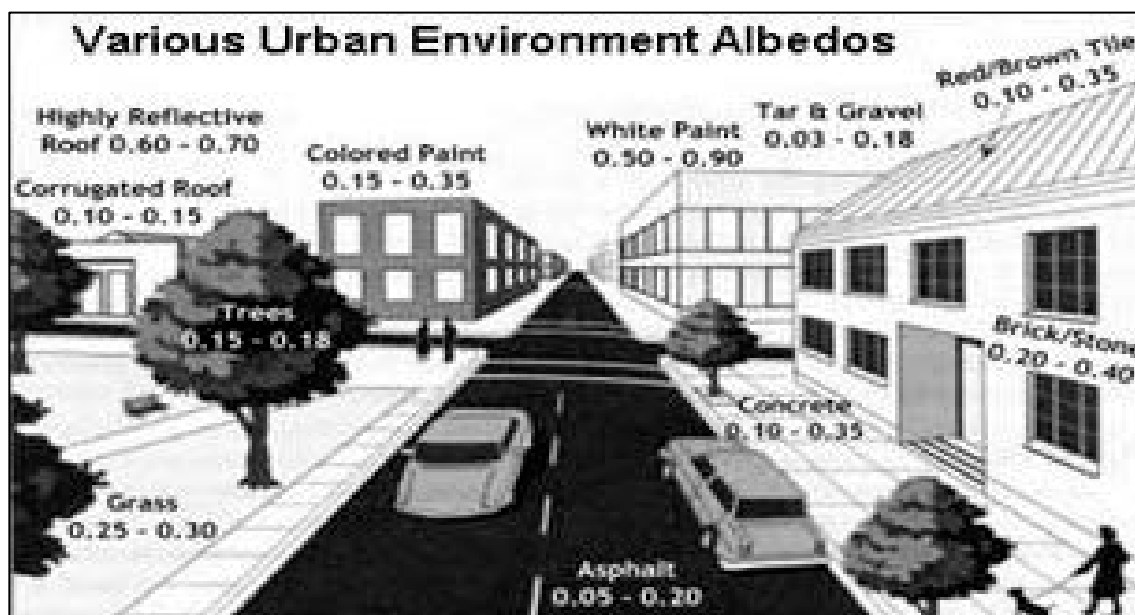
Vzhledem k tomu, že stále roste počet obyvatel ve městech (obr. 1) po celém světě a byl prokázán velký vliv města a jeho obyvatel na atmosféru, roste pozornost věnovaná studiu městského klimatu. Základní důvody pro zkoumání městského klimatu se liší. Jedním z důvodů zkoumání městského prostředí je potřeba dozvědět se více o fyzice, biologii a chemii městského ovzduší a integrování těchto poznatků pro modely předvídání počasí, případně kvality ovzduší. Dalším důvodem je zájem o udržitelnost životního prostředí, ať už z hlediska kvality ovzduší, teplotního stresu či „vnitřní bezpečnosti“ měst např. zdraví obyvatel. Významnou roli hraje i touha plánovat domy, které jsou energeticky úspornější (Souch and Grimmond, 2006).

Městské klima je už dlouho známo. Jak uvedl Howard ve své knize z roku 1833, první vědecká srovnání teplotního režimu, města a okolních venkovských oblastí bylo provedeno pro město Londýn již na počátku 19. století. Ale teprve vědec Albert Kratzer ve své publikaci „Stadtklima“ z roku 1937 poukázal na vztah mezi stavbami a městským klimatu v komplexní podobě. Tento průkopník ve vědecké studii antropogenních vlivů na životní prostředí, zdůraznil umělý charakter městského klimatu a vyzval ke klimatickému poznávání jednotlivých měst (Hebbert, 2014). Dnešní klimatologové se snaží odstranit či minimalizovat vliv urbanizace na změnu klimatu. Urbanizací se rozumí proces, při němž roste počet malých sídelních jednotek a samostatných sídelních útvarů do větších rozměrů a následuje jejich postupné splývání do městských celků nebo velkých sídelních aglomerací (Kittler, 1982).



Obr. 1 Vývoj počtu obyvatel městských regionů ČR mezi roky 2001 a 2011 (https://web.natur.cuni.cz/cvmr/cs/index.php?option=com_content&view=article&id=112:urban-suburban&catid=34:infokat)

Velký vliv na oteplování má také velikost albeda (obr. 2), což je termín, který vyjadřuje poměr odraženého slunečního záření od povrchu ku množství dopadajícího záření. Povrchy, jež dobře odrážejí, mají vysoké albedo (sněh) a povrchy pokryté vegetací mají nízké albedo. Zalesněná krajina v létě a na jaře odráží přibližně 17–23,5 % na ní dopadající energie, tj. až 76,5–83 % zachytí a využije. Planetární albedo se mění hlavně vlivem změn oblačnosti, sněhu, ledu, plochy listů a pokrývky země. Průměrná hodnota albeda pro Zemi je 0,3 (30 %). Ideální reflexní povrch by měl pro albedo hodnotu 1. Albedo hraje roli i v regionálních a mikroklimatických podmínkách, městské ulice jsou obecně tmavší (nízké albedo), což je důvodem přidání značného množství tepla do daného místa (Svobodová, 2012).

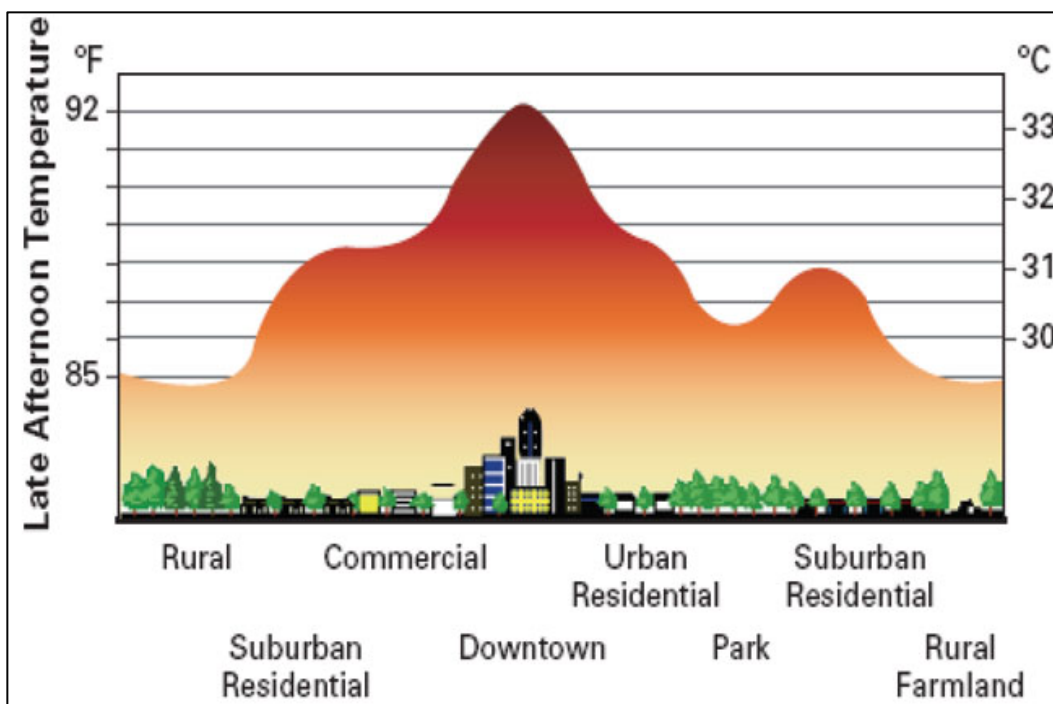


Obr. 2 Hodnoty albeda městského povrchu (Cleare, 2006)

3.2.1 Srovnání venkovského a městského prostředí

Yilmaz et al. (2006) popsali rozdíly meteorologických prvků mezi venkovskými a městskými oblastmi pro město Erzurum (Turecko). Průměrná teplota městských oblastí byla o 0,7 °C–1,7 °C vyšší než venkovských oblastí. Pro relativní vlhkost platí, že městská oblast byla sušší o 3,4 % než venkovské oblasti. Domínguez and de la Flor (2004) upozorňují na lišící se situaci ve městě a ve venkovském prostředí a to díky tzv. mikroklimatickým změnám v důsledku lidské činnosti. U dvou totožných domů v odlišných prostředích, lze zjistit, že potřeby vytápění a chlazení těchto domů nejsou stejné. Tento poznatek lze pozorovat v zastavěných, městských i otevřených prostorech jako jsou ulice, náměstí apod., kde je vyšší

teplota a také požadavky na chlazení domů jsou daleko větší. V městském prostředí lze použít vegetaci pro pasivní chlazení (obr. 3). Tato vegetace lze považovat za obnovitelný chladič, stejně tak jako Slunce je považováno za obnovitelný zdroj tepla pro vytápění.



Obr. 3 Srovnání tepelných hodnot městského a venkovského profilu (<http://www.extension.org/pages/66920/urban-heat-island#.VOdutCx0z4g>)

3.2.2 Struktura měst a městské klima

Vztah mezi klimatem a městem je vzájemný. Klima ovlivňuje způsob, jakým je městský prostor využíván. Následně lze odvodit, jaké tedy budou potřeby pro vytápění či chlazení budov. A na druhou stranu město zpětně ovlivňuje klima. Ve velkém měřítku město jako celek ovlivňuje regionální klimatické podmínky, což má za následek rozdíly mezi městem a venkovským okolím, např. teplota, srážky, sluneční záření, rychlost větru. V menším měřítku – geometrie města, mezery a orientace budov silně ovlivňují mikroklima ve městě. Mikroklima se s rostoucí vzdáleností značně liší a to i na několik metrů (Kleerekoper et al., 2012). V optimalizaci vnitřního klimatu města hrají velkou roli také architekti. Ve většině případů byla města formována v předcházejících staletích spíše z politického, sociálního a ekonomického hlediska, nikoliv však z hlediska klimatu. Z důvodu poměrně mladého odvětví urbánní klimatologie je vztah mezi městským klimatem a plánováním zohledňován až v posledních letech a to ať v nově budované infrastruktuře měst nebo v plánování nových

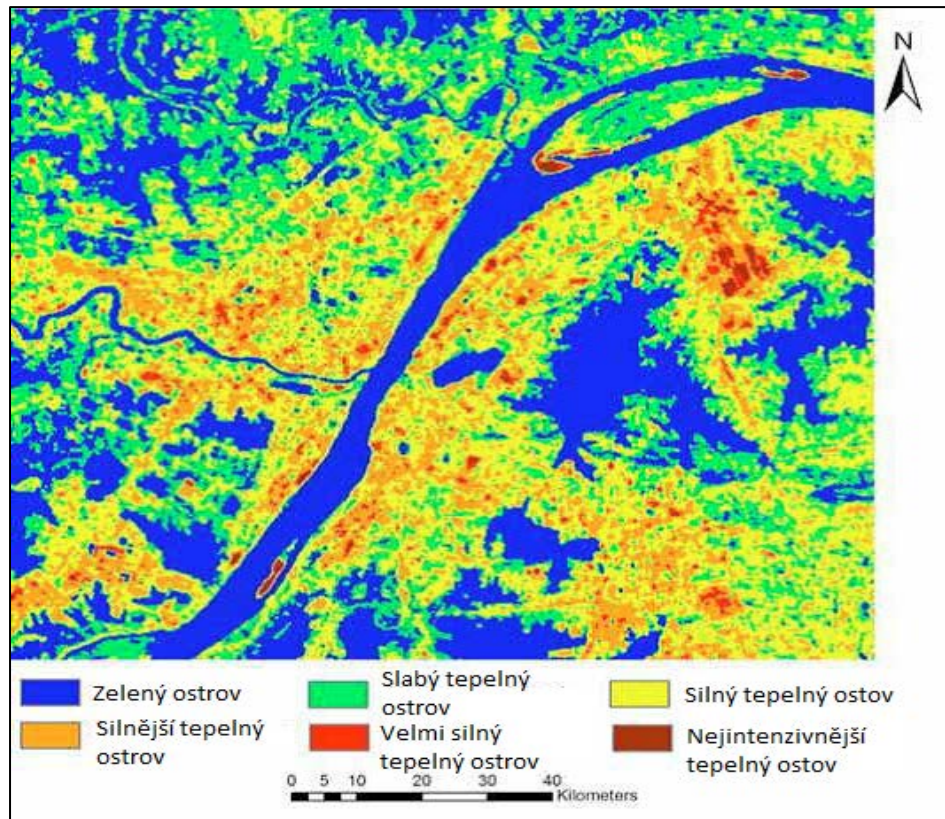
budov. Podnebí je tak základním prvkem v těchto plánování (Hebbert, 2014). Města často trpí díky špatné struktuře nebo neadekvátnímu designu, ovšem tento problém může zvýšit i riziko dalších změn klimatu. Změny lze zaznamenat nyní, ale budou patrné i v budoucnu. V Evropě mohou být příkladem vedra v roce 2003, která zvláště těžce ovlivnila Paříž, Labské povodně z roku 2002 nebo důsledky sucha v Barceloně z roku 2008 (Carter et al., 2015).

Změna městského klimatu je také jednou z hlavních výzev pro přeměnu infrastruktury odpadních vod. Jsou vyžadována nová kritéria pro městský odvodňovací systém, je více pohlíženo na zvýšenou intenzitu srážek. Díky klimatickým změnám se předpokládá, že při extrémních srážkách spadne velké množství vody během několika málo dnů. Při dobré infrastruktuře kanalizace je možné lépe předejít případným povodním (Langeveld et al., 2013).

3.3 Tepelný ostrov města

Proces urbanizace zásadně mění přirozené vlastnosti zemského povrchu a atmosféry. Tyto změny mají vliv na teplotu, záření, vlhkost a aerodynamické vlastnosti. Materiály, které jsou používány na stavby budov ve městech, mají udržovat teplo a nemají propouštět vodu. Stavby z bloků, vytvářejí možnost stagnace vzduchu a zachytávání záření. Soubory městských staveb tvoří nerovný a hrubý povrch. Právě tyto a další vlastnosti městského prostředí vedou k tomu, že teplota vzduchu uvnitř města je vyšší než teplota v okolním venkovském prostředí, tento jev se nazývá Urban Heat Island (UHI), česky tepelný ostrov města (Beranová a Huth, 2003).

Mills (2013) uvádí o tepelném ostrovu města, že je nejstudovanějším klimatickým efektem z hlediska osídlení. Tepelný ostrov města lze pozorovat pomocí satelitů a leteckého pozorování. Tepelné ostrovy se dají měřit v infračervené části spektra. Z dostatečné vzdálenosti lze vidět, že se městský povrch skládá ze střech, ulic, parkovišť atd., UHI nám zhodnocuje toto reprezentativní pozorování. McCarthy et al. (2010) dokonce zjistili, že jsou některé části povrchu Země stejně či více ovlivňovány UHI než skleníkovými plyny. Zhang et al., (2012) konstatují, že tepelný ostrov města je výrazněji patrný v noci a v brzkých ranních hodinách než ve dne. Teplotní rozdíly jsou větší v zimě než v létě, nejvýraznější jsou ovšem při slabém větru či bezvětrí. Maxima denních teplot jsou ve městě vlivem tepelného ostrova posunuta do pozdějších hodin, než je tomu ve volné krajině. Tepelný ostrov města je nejvyšší v průmyslových oblastech, zatímco v oblastech, kde se nachází vodní plocha nebo zeleň je teplota významně nižší (obr. 4).

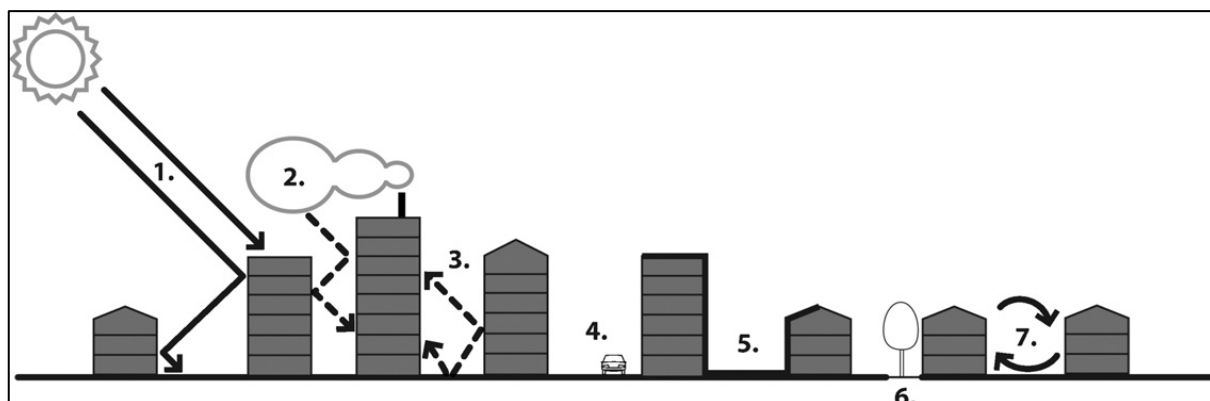


Obr. 4 Satelitní snímek tepelného ostrova města na příkladu města Wuhan v Číně (Zhang et al., 2012)

3.3.1 Příčiny vzniku tepelného ostrova města

1. Absorpce krátkovlnného záření Slunce při nízkém albedu materiálu a mnohonásobný odraz mezi budovami a povrchem ulice.
2. Znečištěné ovzduší v městském prostředí absorbuje a opakovaně vyzařuje dlouhovlnné záření do městského prostředí.
3. Zastínění oblohy budovami má za následek sníženou radiaci dlouhovlnného záření a snížené tepelné ztráty městských kaňonů. Teplo je vstřebáváno a opět vyzařováno do okolního prostředí.
4. Antropogenní teplo se uvolňuje při spalovacích procesech z dopravy, vytápění a průmyslu.
5. Zvýšená akumulace tepla stavebními materiály s velkou tepelnou kapacitou. Města mají větší zastavěnou plochu než venkovské oblasti, z toho důvodu se zde ukládá více tepla.
6. Evaporace je v porovnání s venkovskými oblastmi menší, protože se zde nachází více voděodolných materiálů – menší propustnost a méně vegetace. Z tohoto důvodu se vloží více energie do zjevného tepla než do tepla latentního.

7. Turbulentní přenos tepla z vnitřku ulic se snižuje redukcí rychlosti větru (Kleerekoper et al., 2012).



Obr. 5 Příčiny vzniku tepelného ostrova města (Kleerekoper et al., 2012)

3.3.2 Typy tepelného ostrova města a jejich vznik

Tepelný ostrov města se projevuje ve dvou základních formách jako povrchový tepelný ostrov (Surface Urban Heat Island, SUHI) a atmosférický tepelný ostrov (Atmospheric Urban Heat Island, AUHI). Srovnání atmosférického a povrchového tepelného ostrova města jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Srovnání atmosférického a povrchového tepelného ostrova města (Sharma and Joshi, 2014)

Atmosférický tepelný ostrov (AUHI)	Povrchový tepelný ostrov (SUHI)
maximum v časných večerních hodinách	maximum kolem poledne
větší intenzita v zimě	větší intenzita v létě
měřit v noci za jasného nebe	měření satelity za dne, kdy je SUHI nejvyšší

Povrchový tepelný ostrov (SUHI)

Stathopoulou (2009) uvádí, že je to jeden z problémů v oblasti životního prostředí ve městech. SUHI jev může být vyvinut jak během dne, tak i v nočních hodinách. Nahrazení přírodních povrchů umělými radikálně mění aerodynamické, radiační, tepelné a vlhkostní vlastnosti města. Používané materiály ve městech, jako je beton, asfalt aj. se vyznačují vysokou tepelnou kapacitou, vysokou tepelnou vodivostí, nízkým albedem a nízkou propustností. SUHI se vyvíjí především v důsledku rozdílného denního oteplování a nočního

ochlazování mezi městem a venkovským okolím. Při měření působení jevu SUHI, se používá SUHI intenzita (ΔT), obecně definovaná jako rozdíl mezi maximální městskou teplotou povrchu a prostředím venkova. Roth et al. (1989) zjistili, že rozdíly teploty venkova a města na povrchu jsou daleko menší v noci než ve dne. Nicméně v mnoha městech po celém světě může být denní ΔT slabá po východu Slunce nebo dokonce záporná a to v poledne, což znamená, že městské plochy jsou chladnější než okolní krajina.

Atmosférický tepelný ostrov AUHI

Atmosférický tepelný ostrov zahrnuje rozdíl ve struktuře teploty vzduchu mezi městským a venkovským prostředím. Ve vertikálním směru se atmosférický tepelný ostrov (AUHI) může dále dělit na tepelný ostrov mezní vrstvy atmosféry a přízemní vrstvy. V městském prostředí dosahuje mezní vrstva, nejvyšší mocnosti, protože se zde vyskytuje výrazná drsnost povrchu. Mezní vrstva je ta část atmosféry, ve které se bezprostředně projevuje vliv zemského povrchu, do výšky několika stovek metrů až 2 km. Atmosférický tepelný ostrov je možné detekovat měřením teploty vzduchu ve standardní meteorologické budce nebo účelovým měřením ve speciální síti stanic či pomocí takzvaných měřících jízď (Sharma and Joshi, 2014).

3.3.3 Negativní vlivy tepelného ostrova města

Zvýšená teplota městského tepelného ostrova, a to zejména v létě, může mít vliv na životní prostředí a kvalitu života komunity. Zatímco některé dopady mohou být výhodné, příkladem je prodloužení období pěstování rostlin, většina z nich jsou negativní. Tyto dopady zahrnují zvýšenou spotřebu energie, zvýšené emise látek znečišťujících ovzduší, emise skleníkových plynů a zhoršení kvality vody (United States Environmental Protection Agency, 2013). Robaa (2003) k tomuto výčtu přidává ještě vlhkost vzduchu.

3.3.3.1 Zvýšená spotřeba energie a horké vlny ve světě

V USA zvýšená letní teplota ve městech zvyšuje spotřebu energie na klimatizaci. Provedený výzkum dokládá, že poptávka po elektrické energii pro chlazení budov se zvyšuje o 1,5-2 % na každých 0,6 °C. Přičemž zvyšování spotřeby se projeví již při teplotě okolo 20 °C až 25 °C. Špička poptávky po elektřině je ve všední dny v odpoledních hodinách a to zejména proto, že v tento čas jsou spuštěny chladicí systémy, osvětlení a spotřebiče pro domy

či kanceláře. Spotřeba energie je značná zejména ve dnech s horkými vlnami, v těchto dnech jsou daleko vyšší nároky na chlazení budov a hrozí dokonce riziko výpadku proudu (United States Environmental Protection Agency, 2013).

Kyselý (2006) definuje horké vlny jako souvislé období splňující podmínky alespoň 3 dny $t_{\max} \geq 30,0$ °C, průměrná t_{\max} za celé období $\geq 30,0$ °C, t_{\max} ve všech dnech musí být $\geq 25,0$ °C. Nejčastěji jsou horké vlny o délce 4 až 7 dnů. Ve výskytu horkých vln se odrážejí mezoklimatické, topoklimatické a mikroklimatické faktory, které ovlivňují podmínky rozvoje vysokých hodnot t_{\max} v létě. Mezoklimatické zvláštnosti mohou odrážet specifické reliéfní nebo cirkulační podmínky ovlivňující tvorbu oblačnosti, výskyt srážek, atmosférické proudění apod. Významnou úlohu může také hrát přítomnost návětrných nebo závětrných efektů. Naproti tomu topoklimatické a mikroklimatické souvisejí s polohou měřicí stanice a to s orientací stanice vůči okolnímu terénu, přítomnosti města, vegetace, zástavby apod. Horké vlny spojené s vysokými maximy denní teploty i se zvýšeným počtem horkých dnů oproti normálu se vyskytují stále častěji. Rizika, která jsou spojená s horkými vlnami, bývají značná a často jsou zesílena obvykle zvýšenými úrovněmi znečištění ovzduší a způsobují větší ztráty na životech než známé negativní vlivy ve světě, jako tornáda, hurikány či zemětřesení. Prostředí města kvůli betonovým plochám, vysokým budovám apod. absorbuje více slunečního záření a uvolňuje tím teplo do okolního vzduchu, zatímco relativně menší plochy zeleně nemají dostatečně silný ochlazovací efekt spojený s odpařováním. Počty úmrtí způsobených selháním srdeční činnosti jsou ještě zvyšovány ve velkých aglomeracích.

3.3.3.2 Znečištění ovzduší

Jak již bylo uvedeno, tepelný ostrov města zvyšuje v létě poptávku po elektrické energii. Energetické společnosti dodávající elektřinu obvykle spoléhají na elektrárny, jež jsou poháněny fosilními palivy, které zajistí většinu poptávky, což vede ke zvýšení množství znečišťujících látek a skleníkových plynů v ovzduší. Mezi primární znečišťující látky z elektráren patří oxid siřičitý, oxidy dusíku, pevné částice, oxid uhelnatý a rtuť. Tyto znečišťující látky jsou škodlivé pro lidské zdraví a samozřejmě také přispívají k velkým problémům s kvalitou ovzduší, jako na příklad tvorba přízemního ozonu (smog) a kyselý déšť. Zvýšení teploty může přímo zvýšit rychlost tvorby přízemního ozonu, který vzniká z oxidů dusíku a těkavých organických sloučenin, které reagují za přítomnosti slunečního záření a „teplého“ počasí. Zvýšené využívání fosilních paliv elektrárnami zvyšuje emise

skleníkových plynů, ku příkladu oxid uhličitý, které následně přispívají ke globální změně klimatu (United States Environmental Protection Agency, 2013).

3.3.3.3 Vliv na lidské zdraví

Zvýšení denní teploty a menší ochlazení během nočních hodin a k tomu ještě zvýšené znečištění ovzduší spojené s městským tepelným ostrovem mohou mít negativní vliv na lidské zdraví. Přispívají k celkové nepohodě, dýchacím obtížím, tepelným křečím, vyčerpání a dokonce ke zvýšené úmrtnosti. Tepelné ostrovy mohou také zhoršovat dopady horkých vln. Citlivé skupiny obyvatel jsou děti, starší dospělí a lidé se stávajícími zdravotními problémy. Centrum pro kontrolu a prevenci nemocí odhaduje, že bylo v USA mezi lety 1979–2003 při nadměrném vystavení teplu evidováno více jak 8000 předčasných úmrtí (United States Environmental Protection Agency, 2013).

3.3.3.4 Vlhkost vzduchu

Bylo prokázáno, že centrální části měst jsou obvykle sušší než jejich okolí. Tento jev je často označován „městský vlhkostní ostrov“ a jeho intenzita může být identifikována jako rozdíl vlhkostí ve městě a na venkově. Faktory ovlivňující rozdělení městské vlhkosti jsou výsledkem působení drsnosti povrchu, zdrojů vlhkosti a teplotních polí (Robaa, 2003).

Rychlost větru má největší vliv na vlhkost vzduchu. Rychlost větru je zpomalována domy ve městech více než je tomu ve venkovských oblastech. Když je vítr silnější, rozdíly teploty ve spodní a horní vrstvě jsou nižší. Závislost mezi vlhkostí vzduchu a rychlostí vzduchu se v denním čase mění (Brys et al., 2003).

3.3.3.5 Zhoršení kvality vody

Chodníky s vysokým profilem či povrchem z nechladivého materiálu a povrch střešní krytiny mohou ohřívat dešťovou vodu až o několik stupňů. Testy prokázaly, že chodníky, které jsou zahřáty na teplotu 38 °C mohou zvýšit teplotu dešťové vody z počátečních 21 °C ihned po dopadu na 35 °C. Takto zahřátá dešťová voda odtéká do potoků, řek a rybníků a jezer. Teplota vody má vliv na všechny aspekty vodního života, zejména metabolismus a rozmnožování mnoha dalších vodních druhů. Rychlé změny teploty vodních systémů jsou pro vodní organismy zvláště stresující, dokonce fatální (United States Environmental Protection Agency, 2013).

3.3.4 Snížení rizika výskytu tepelného ostrova města

Shahmohamadi et al. (2011) shrnují, jakým způsobem lze dosáhnout čistějšího ovzduší ve městech a snížit tím riziko výskytu UHI.

1. Zastínit a zlepšit kvalitu ulic a cyklostezek určených výhradně pro pěší nebo cyklisty a podpořit tak rozvoj tohoto typu dopravy.
2. Seskupit služby a různá zařízení blíže k sobě, aby lidé nemuseli tak často využívat motorových vozidel.
3. Rozšířit síť městské hromadné dopravy a motivovat lidi, aby ji plně využívali.
4. Používat zeleň na vertikálních plochách: zelené plochy na stěnách – poskytují přirozené větrání a výrazně snižují spotřebu energie k chlazení budov a na horizontálních plochách: zelené plochy střech – absorbují teplo, snižují tendenci tepelného proudění vzduchu. Díky odpařování mohou rostliny ochladit města v průběhu horkých letních měsíců.
5. Vhodný výběr stavebních materiálů – u materiálů, které dokáží dobře odrážet sluneční záření, tedy u materiálů s vysokým albedem (světlé) bylo prokázáno, že jsou schopny snížit okolní teplotu. Vzhledem k tomuto zjištění lze s jistotou tvrdit, že v okolí světlé fasády je teplota okolního vzduchu o 2–3 °C vyšší, zatím co u tmavých fasád je teplota vyšší až o 7 °C. Z tohoto důvodu se doporučuje, především u vysokých budov, ve vyšších patrech použít světlejších barev a přispět tím ke snížení teplot okolního vzduchu.

3.4 Možnosti zmírnění negativních vlivů tepelného ostrova města

Budovy jsou složité systémy, které spotřebovávají velké množství zdrojů (např. vody, materiálů, energie). Budovy tvoří 40 % spotřeby světové energie a jsou zodpovědné zhruba za třetinu celkových emisí oxidu uhličitého. Hlavní příčinou spotřeby energie jsou klimatizace. Ke snížení spotřeby energie by měly být zkoumány a zlepšovány dva hlavní faktory, jimiž jsou: zvýšení účinnosti klimatizačních jednotek a zlepšení designu budov pasivními prvky. Vzhledem k tomu, že střecha je prvek nejvíce vystaven slunečnímu záření, existuje řada pasivních systémů používaných ke snížení tepelných zisků budov právě střechami. Kromě zelených střech je možné využít střešních rybníků nebo chladných střech díky reflexním vrstvám a tepelné izolaci (Hernández-Pérez et al., 2014). Důležité je ovšem pohlížet i na vliv horizontálních povrchů, proto mezi zmírnění negativních vlivů tepelného ostrova patří také vegetační pokryv a chladné dlažby.

3.4.1 Vegetační pokryv

Zhang et al. (2010) ve výsledcích svého výzkumu prokázal, že vegetační pokryv a teplota jsou spolu ve významné negativní korelaci, což znamená, že čím nižší je pokrytí vegetací tím vyšší je teplota a naopak. Zelené plochy, trávníky v parcích, na náměstích apod. jsou jednou z nejčastěji využívaných možností pro začlenění zelených ploch do rázu měst.

3.4.2 Zelené střechy

Li and Yeung (2014) konstatují, že je tu dobře známa negativní korelace mezi albedem a povrchovou teplotou, tj. čím vyšší albedo, tím nižší teplota. Výzkum porovnávající odrazivost (albedo) bílých a zelených střech zaznamenal, že bílá barva má albedo v průměru 0,8, je ale značně náročné udržet vysokou hodnotu albeda na bílých střechách bez pravidelného mytí. Naopak albedo zelených střech se udržuje v rozhraní 0,7–0,85 po celou dobu. Albedo roste se šířkou biomasy zelené střechy.

3.4.3 Reflexní střechy

Reflexní střechy jsou konvenční střechy s reflexní vrstvou na vnějším povrchu, který má vysokou solární reflektanci a vysokou tepelnou emisivitu. Tyto vlastnosti umožňují udržovat nižší teplotu než tomu je u standardních střech za stejných podmínek, protože odrážejí a vyzařují většinu dopadající solární energie. Bylo zjištěno, že bílá střecha byla o 20–30 °C chladnější než tmavě zbarvené střechy za horkých slunečných dnů. Kromě toho domy s bílou střechou spotřebovávaly až o 25 % méně energie než hnědé a šedé střechy. Odrazivost má minimální účinek, když je tloušťka střechy větší než 15 cm (Hernández–Pérez et al., 2014).

3.4.4 Chladné dlažby

Nedávné studie zjistily, že dlažební plochy hrají rozhodující úlohu v celkové tepelné bilanci města. Chodníky mají velký vliv na tepelný ostrov města, protože pokrývají poměrně vysoké procento městské zástavby. Chodníky v USA pokrývají téměř 29 % z městské zástavby. Snížení teploty vozovek a chodníků může velmi přispět ke zlepšení tepelných podmínek ve městech. Toho lze dosáhnout nahrazením konvenční dlažby novými, které představují mnohem nižší povrchové teploty v průběhu teplého období. Pro tento účel byly vyvinuty materiály a povrchy známé jako chladné dlažby. Chladné dlažby jsou založeny

zejména na používání materiálů, které mají vysoké albedo a vysokou tepelnou emisivitu. Jsou známé také pod pojmem reflexní chodníky (Santamouris, 2013).

Náklady na výstavbu chladných dlažeb se liší podle daného regionu, cena závisí také na zhotoviteli, ročním období, vybraném materiálu, velikosti projektu a požadované životnosti.

3.5 Městská (urbánní) zeleň

Rozvoj měst mění jeho klima do značné míry. Budovy, silnice a jiné podobné tvrdé povrchy ve velkých městech tvoří umělý ekosystém. Městská zeleň může velmi dobře přispět ke zlepšení klimatu městského prostředí. Nezáleží na jejich velikosti, každý park, který se nachází v městské infrastruktuře, může výrazně regulovat rovnováhu teploty v obytných oblastech (Baris et. al, 2009). Lambert-Habib et al., (2013) upozorňují, že problematika městských tepelných ostrovů se v environmentální legislativě řádně neřeší. V územních plánech měst chybí dostatečné úvahy o zavedení vegetace. Vzhledem k tomu, že Mezivládní panel pro změnu klimatu vydal několik zpráv po sobě, upozorňujících na změnu klimatu lidskou činností, byl vydán roku 1997 Kjótský protokol o snížení emisí. Evropská komise následně zveřejnila Zelenou knihu, ve které se pojednává o zmírňování změny klimatu včetně zeleně

Millward et al. (2014) konstatují, že dlažby a budovy ve většině měst postupně nahradili vegetaci. Tepelné vlastnosti stavebních materiálů se výrazně liší od vlastností vegetačního pokryvu. Zastavěné plochy jsou typické nízkým albedem a vysokou akumulací sluneční energie. Dnes se opět do infrastruktury měst snažíme zapojit vegetaci, jelikož má o poznání vyšší albedo a tím tlumí přenos slunečního záření a evapotranspirací ochlazuje své bezprostřední okolí. Rostliny musí být vybírány dle vhodných kritérií tak, aby nenarušovaly statiky již existujících budov a infrastrukturu měst. Druhy stromů a keřů se značně liší svou stavbou, listovými plochami a koeficientem zastínění. Je proto velmi důležité vybrat vhodnou zeleň pro danou oblast. Wittman a kol (2012) konstatují, že mezi nejvýznamnější plochy zeleně ve městech často patří park. Park lze definovat jako „objekt zeleně, ztvárněný do charakteristického kompozičního celku o výměře nad 0,5 ha a minimální šířce 25 m. Eleftheria and Jones (2006) upozorňují na všeobecný nedostatek městské zeleně. Ve většině měst je zeleň koncentrována pouze v parcích a rekreačních prostorech. Ačkoliv v parcích je nižší teplota než v jejich okolí, nejsou schopny ovlivnit zastavěné prostory, kde lidé žijí, pracují a tráví většinu svého městského života. V rámci snížení teploty se umísťuje vegetace i mimo plochy parků. Z výzkumu, na který poukazují Lin et al. (2013) vyplývá, že po

vysazení zeleně, stromů a zvýšení počtu zelených střech v amerických městech Boston, Chicago, Los Angeles, New York a Portland se zmírnil tepelný ostrov těchto měst. Kromě toho, vegetace výrazně ovlivnila i tepelný stav uvnitř budov. Podle Zhang et al. (2012) je zeleň vhodný prostředek ke zmírnění tepelného ostrova ve městech a zlepšuje životní prostředí. Ovšem při plánování městské zeleně by měla být zohledněna vhodná kombinace s přírodními podmínkami.

3.5.1 Městská zeleň v České republice

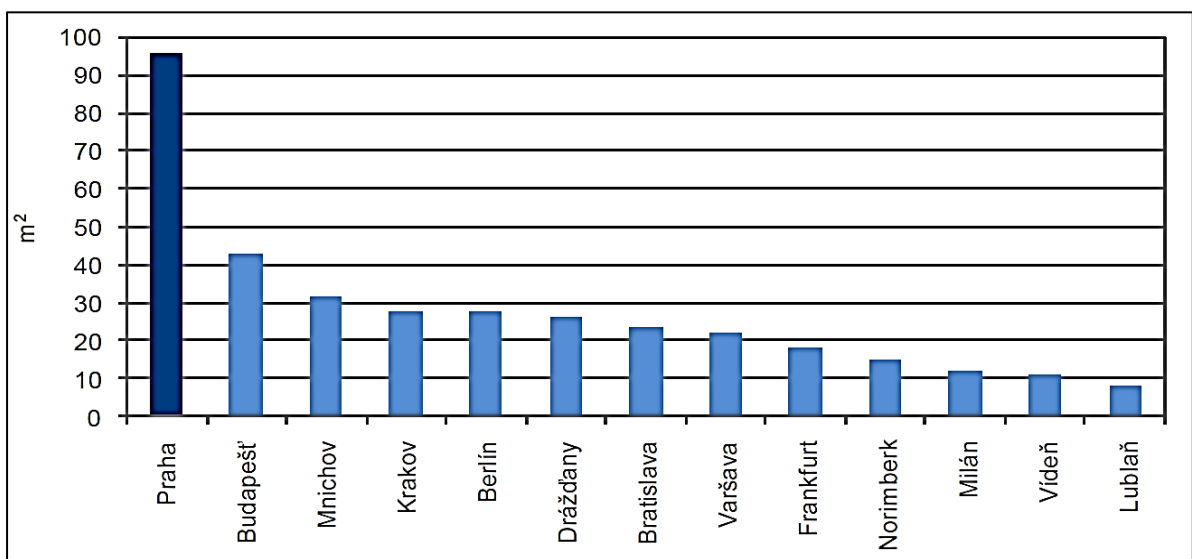
Na území našeho hlavního města lze nalézt přibližně 200 míst, která vytvářejí přírodní zelenou tvář této metropole. Tato místa jsou převážně parky, mezi které patří např. Stromovka, Hostivařský park, Ladronka a Riegrovy sady. Balabánová a Kyselka (2013) udávají, že využívání opuštěných industriálních ploch pro zakládání zeleně, zejména velkých městských parků patří nepochybně k těm pozitivním tendencím, které se ovšem uplatňují zejména v zahraničí. Politika územního rozvoje ČR v roce 2008 stanovuje republikové priority územního plánování pro zajištění udržitelného rozvoje. Jednou z těchto priorit je „hospodárně využívat zastavěná území (podpora přestaveb, revitalizací a sanací území) a zajistit ochranu nezastavěného (zejména zemědělské a lesní půdy) a zachování veřejné zeleně, včetně minimalizace její fragmentace“. Pojem zeleň není dosud ve stavebním zákoně č. 183/2006 Sb. jednoznačně vymezen. Objevuje se pouze v souvislosti s definicí nezastavitelného pozemku, kterým je „pozemek veřejné zeleně a parku, sloužící obecnému užívání“ (§ 2, odst. 1 písm. e) bod 1 stavebního zákona), jedná se o veřejně přístupný pozemek, který nesmí být zastavěn. Obvykle se zelení rozumí všechny plochy porostlé vegetací na území sídel i ve volné krajině, které jsou využívány pro různé funkce. Patří k nim prvky liniového a bodového charakteru (aleje, břehové porosty, solitérní dřeviny), lesy, zemědělské i ostatní neobdělávané pozemky v katastru obce (např. takto je uvedeno ve vyhlášce obce Ruprechtov č.6/96, čl. 2 o zakládání, údržbě a ochraně zeleně).

Stavební zákon ČR sice jednoznačně nevymezuje pojem zeleně, ovšem umožňuje, resp. nabízí tyto příležitosti:

- Využití urbánních a industriálních lad ve prospěch budování městských parků.
- Vytváření funkčně a prostorově propojených systémů – propojování ploch zeleně a veřejných městských prostorů do systému nezastavěných, resp. nezastavitelných ploch.

- Propojování celoměstských systémů zeleně a příměstských (eventuálně venkovské) krajiny mikroregionálními a regionálními systémy rekreačních ploch a linií (cyklotrasy).
- Uplatňování ekologických i krajinářských hledisek v územním plánování.
- Ochrana rázu a identity krajiny (Balabánová a Kyselka, 2013).

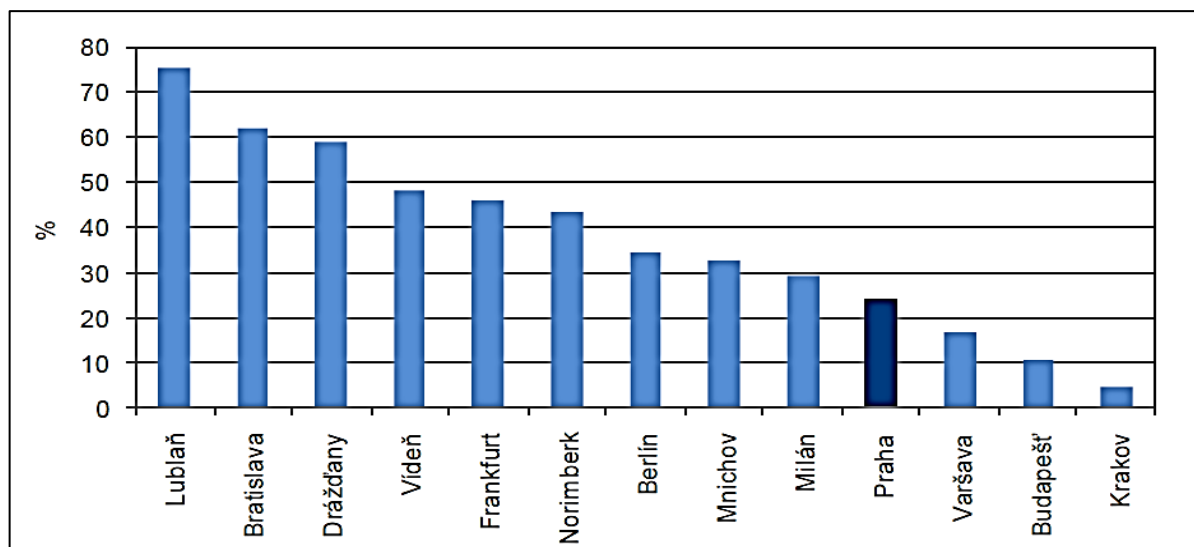
Podle Útvaru rozvoje hl. m. Prahy (2011) plochy zeleně spadají do okruhu funkčního využití území města. Patří k významným parametrům, které vyjadřují kvalitu životního prostředí a obecně kvalitu života ve městě. Lze předpokládat, že podíl veřejně přístupných zelených ploch se v horizontu několika let výrazně nemění, z toho důvodu bylo v grafech použito dat z let 2004 (obr. 6 a 7). Do veřejně přístupných zelených ploch byly zahrnuty veřejné parky a zahrady, otevřená sportoviště a soukromé volně přístupné zemědělské a parkové plochy. Většina měst vykazuje hodnoty kolem 20–40 m² veřejně přístupných zelených ploch na obyvatele.



Obr. 6 Veřejně přístupné zelené plochy (m²) na 1 obyvatele (Útvar rozvoje hl. m. Prahy, 2011)

Z grafu na obr. 6 je dobře viditelná hodnota Prahy, která s 96 m² na obyvatele výrazně vybočuje. To je dáno především velkým rozšířením hranic města, které proběhlo roce 1974, kdy se rozloha města zětšila o 2/3, převážně o plochy volné krajiny, včetně ploch hospodářských lesů a ploch dnes nazývaných lesoparky. Tyto lesoparky také představují zhruba 4/5 Prahou vykazovaných veřejně přístupných ploch. Příkladem lesoparku může být

Hostivařský lesopark, který svou rozlohou 146 hektarů představuje největší takovéto území v Praze.



Obr. 7 Podíl zelených ploch na celkové ploše (%) v roce 2004 (Útvar rozvoje hl. m. Prahy, 2011)

Graf na obr. 7 vyjadřuje všechny zelené plochy na území zkoumaných měst s výjimkou zemědělských produkčních ploch (především orné půdy). Praha vykazuje nižší hodnotu, z důvodu, že 2/5 celkové výměry města zaujímají zemědělské – produkční polchy, které se do zelených ploch nezapočítávají (Útvar rozvoje hl. m. Prahy, 2011).

3.5.2 Vznik a vývoj městské zeleně a parku

Veřejně přístupná zeleň v podobě městských parků je fenoménem, který se začíná objevovat v průběhu 19. století. Toto období s sebou přineslo rychlý růst počtu obyvatel a výraznou prostorovou expanzi měst. Zeleň se v tomto období již záměrně zapojuje do organismu města ve formě veřejných parků, sadů a zahrad. Vědomě zakládáná zeleň začíná kompenzovat neustálé zhoršování obytného prostředí, které je důsledkem nárůstu industrializace. Významným předělem v tvorbě parků je rok 1859, kdy je zpřístupněn Central Park v New Yorku, dle principu, že park má sloužit všem obyvatelům města bez ohledu na jejich sociální postavení. Ve 20. století souběžně vedle sebe existovala řada stylů a tvůrčích přístupů ve tvorbě parků a zeleně. Mezi vybrané koncepty patří například „Zahradní města“. Myšlenka „Zahradních měst“ pochází z Anglie. Ačkoli původní myšlenkou bylo založení zcela nových, soběstačných a zdravějších měst v praxi byl převážně aplikován při budování městských čtvrtí či předměstí. Další myšlenkou bylo cílené budování systému zeleně.

Promenádní cesty zde propojují větší parkové plochy s širším rekreačním využitím. Podobných stylů, které se objevily ve 20. století bylo více. Tvorba městské zeleně se dnes omezuje zejména na rekultivaci postindustriálních území, tvorbu menších parkově upravených ploch a vnitroblokové zeleně, popřípadě zeleně sportovních či zábavních center. Požadavkem na tyto plochy již není, aby se staly pouze místem odpočinku, ale aby plnily i ekologické, ekonomické a sociální cíle (Wittmann a kol., 2012).

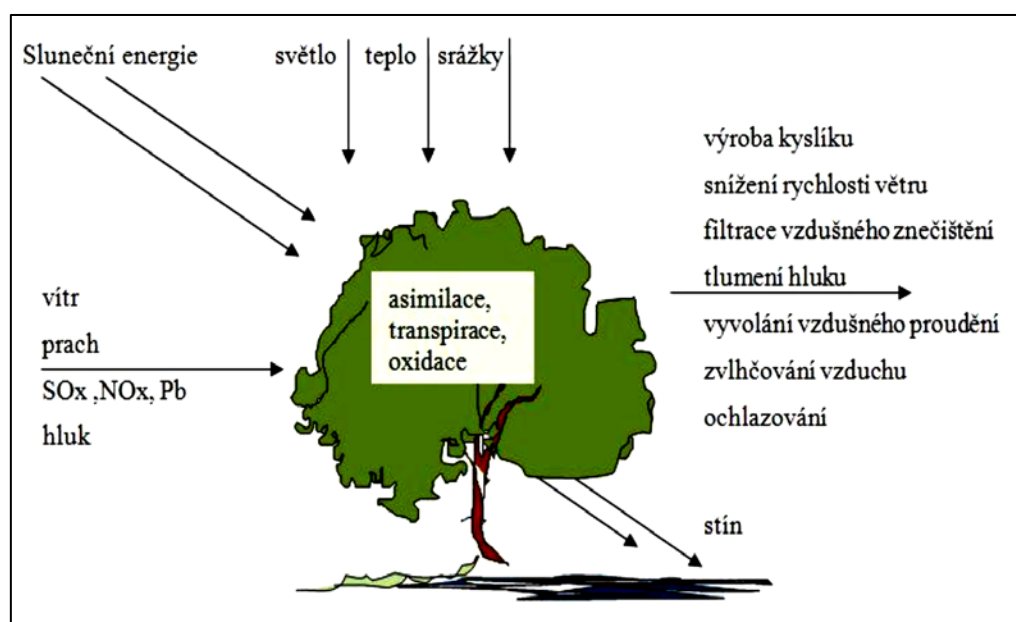
3.5.3 Dělení zeleně dle držby

Plochy zeleně ve městech lze rozlišit na soukromé a veřejně přístupné. Plochy veřejně přístupné vytvářejí především prostory pro rekreaci a krátkodobý odpočinek.

- Obecní zeleň – zeleň je majetkem obce.
- Soukromá zeleň – ve vlastnictví fyzických nebo právnických osob s výjimkou obce a státu.
- Zeleň veřejnosti volně přístupná – bez omezení, na pozemku veřejném i na pozemku, který je ve vlastnictví právnických nebo fyzických osob, která dala souhlas k takovému využívání zeleně. Mezi takovýto typ zeleně patří na příklad městské parky, parková náměstí a pásy, sídlištní zeleň, uliční stromořadí.
- Zeleň veřejnosti omezeně přístupná – za určitých podmínek časových či finančních, stanovuje vlastník.
- Zeleň veřejnosti nepřístupná – přístupné pouze vymezené skupině občanů (např. školní, nemocniční).
- Krajinná zeleň – zeleň mimo zastavěné území města.
- Sídelní zeleň – zeleň v zastavěném území města.
- Rozptýlená zeleň – maloplošné porosty či skupiny rostlin a solitérní rostliny, které nejsou součástí jiného druhu zeleně.
- Zahrada – pozemek, jež je vymezený opencím, případně i budovou, určený převážně k pěstování rostlin, dle způsobu ztvárnění a využití má specifický charakter – historická, školní, botanická apod. (Balabánová a Kyselka, 2013).

3.5.4 Pozitivní vlivy městské zeleně

Zástavba ve městech ovlivňuje různé meteorologické prvky, především teplotu, rychlost a směr větru, ale také vlhkost. Mezi pozitivní vlivy městské zeleně (obr. 8) patří zmírnění teploty vzduchu, zastínění a snížení ultrafialového záření, zlepšení kvality ovzduší, vliv na zdraví populace, zadržení vody a ekonomické dopady.



Obr. 8 Schematické působení stromu (Balabánová a Kyselka, 2013)

3.5.4.1 Zmírnění teploty vzduchu

Domíngues and de la Flor (2004) konstatují, že urbánní zeleň může zmírnit nárůst letní teploty vzduchu tím, že se nebude kumulovat tolik tepla ve zdech budov. Negativní dopady zvýšené letní teploty mohou více pociťovat obyvatelé větších městských center. Města v mírných pásmech jsou teplejší oproti venkovským oblastem v průměru o 0,5–1,5 °C. Ve velkých aglomeracích jako je New York City apod. to může být znatelný rozdíl až o 4 °C. Tento jev zvýšil proces urbanizace a nejvýrazněji ho obyvatelé mohou pociťovat na večer za jasného horkého letního dne. Tento jev vzniká díky tepelnému ostrovu města. Města se skládají z mnoha zastavěných ploch (dlažba, budovy), které absorbují sluneční záření během dne a opět jí navrací ve formě tepelné energie zpět do okolí, což je zřetelné zejména v průběhu podvečera a večera, kdy teplota vzduchu klesá. Podle Millwarda et al. (2014) městská zeleň nabízí jednu z možností pro minimalizaci oteplování městského mikroklima, snižuje nepohodlí obyvatel a závislost na energicky náročné klimatizaci, zároveň také snižuje

riziko velkých mrazů. Sarajevs (2011) zase udává, že stromy ve městech mohou výrazněji snížit výskyt infarktů a dalších zdravotních problémů způsobených teplem.

Při zasazení stromu je nutné si uvědomit jeho budoucí velikostí, zvláště důležité je pak vědět, jak velké listové plochy strom bude mít. Velikost listové plochy udává, jak vysoká bude efektivita zlepšování kvality ovzduší, jak velká bude evapotranspirace listů, dýchání, zadržování srážek, fotosyntéza a jak velký stín strom bude dávat. Pak na základě empirického modelu lze předvídat morfologii stromu, tedy průměr, výšku, objem koruny a procesními modely stanovit fyziologii stromu - rychlost asimilace, rozdělení uhlíku a dalších složek potřebných pro jeho růst (McPherson and Peper, 2012).

3.5.4.2 Zastínění a snížení ultrafialového záření

Zeleň vytváří vhodné prostředí jak pro další organismy uvnitř města, tak pro člověka. Stromy, díky poskytnutí stínu, zmírňují ultrafialové záření (UV). Ačkoliv UV záření do určité míry je i zdraví prospěšné (působením UV záření v lidské kůži vzniká vitamin D) z větší části je spíše škodlivé. Při nadměrném vystavování tomuto záření může vzniknout karcinom bazálních buněk, nejčastěji melanom, který je často smrtící. Mohou být poškozeny i oči a to nejčastěji šedým zákalem. Častá expozice UV záření je např. při letních návštěvách bazénu a pláží. Expozici jsme vystaveni i v běžném venkovním prostředí, kde jsou stromy pro člověka alespoň částečnou ochranou před nebezpečným UV zářením. Za posledních deset let se situace zastínění městskou zelení zlepšila (Heisler et al., 2003). V exponovaných jižních, jihozápadních, případně jihovýchodních polohách je přístínění vegetací nejpříjemnějším prostředkem proti přílišnému oslunění a tím i přehřívání veřejných prostranství v horkých letních dnech. Výsledek této přirozené „klimatizace“ je závislý na kvalitě, množství, stáří a zejména druhové skladbě, listnaté stromy stíní tehdy, kdy je tomu potřeba nejvíce, tedy v létě, zatímco v zimě, kdy je naopak Slunce „vítáno“, jsou bez listů (Balabánová a Kyselka, 2013).

3.5.4.3 Zlepšení kvality ovzduší

Odstraňování znečišťujících látek probíhá u rostlin především přes průduchy listu, avšak některé plyny jsou odstraňovány i jejím povrchem. Některé z těchto částic jsou rostlinou absorbovány, většina jich však zůstává na povrchu a jsou smyty deštěm nebo na podzim spadnou spolu s listem (Nowak et al., 2006). Stromy si vyměňují plyny s atmosférou a zachycují částice, které mohou být škodlivé pro lidi. Rychlost jakou stromy dokáží tyto

plynné znečišťující látky, jakými jsou ozón, oxid uhelnatý, oxid siřičitý z atmosféry odstraňovat závisí na velikosti listí, množství a stavu průduchů a na meteorologických podmínkách. Městská koncentrace ozónu vzrůstá s rostoucí teplotou, výskyt smogových dnů při teplotách nad 26 °C vzrůstá o 1 % na každý další 1 °C. Městské lesy v tomto ohledu mohou být jistě chápány jako možnost zlepšení kvality ovzduší ve městech (Dwyer et al., 1992). Některé rostliny například jalovec, černý bez nebo ořešák dokonce vylučují těkavé látky a ovlivňují svými bakteriocidními či bakteriostatickými účinky množství mikroorganismů obsažených ve vzduchu (Balabánová a kyselka, 2013).

Sarajevs (2011) rozděluje čtyři základní způsoby, jakými rostliny přispívají ke zlepšení kvality ovzduší:

- Pohlcují plynné znečišťující látky přes povrch listu. Těmito látkami je především ozon, oxid dusičitý.
- Zachycují pevné částice na povrchu rostlin – prach, popel, pyl, kouř.
- Spotřeba oxidu uhličitého a následné uvolnění kyslíku prostřednictvím fotosyntézy.
- Transpirací vody, zastínění ploch, tím snížení teploty a následná snížená tvorba městského ozonu.

3.5.4.4 Vliv na zdraví populace

Městské parky jsou tvořené jako rekreační zóny, aby byly lidem příjemné po stránce psychické i fyzické. V dnešní době, kdy většina městské populace má sedavé zaměstnání a veškeré informace jsou dostupné z domova, je fyzická aktivita vhodná pro udržení dobrého zdravotního stavu. Z evropského výzkumu vyplynulo, že člověk však také potřebuje rekreovat svou mysl a k tomu může i ve městech využít parkové zeleně (Bedimo-Rung et al., 2005).

3.5.4.5 Zadržení vody

Podle Pondělíčka (2013) velice často bývají centra měst během letních měsíců velmi suché, což ovlivňuje i vlhkost vzduchu. Rozdíl relativní vlhkosti může být v porovnání s okolní krajinou o více než 10 %. Někdy mohou pomoci nákladné zavlažovací systémy, vodní prvky a vodotrysky, které mají blahodárný vliv na klima města. Stejného výsledku však lze dosáhnout přirozenou cestou daleko snadněji a levněji, a to správnějším využíváním výsadby stromů. Například 85 let stará a 43 metrů vysoká jedle douglaska využije pro svůj meziroční růst 0,3 m³ vody během vegetačního období, tj. od května do srpna. Přijme přibližně 90 000 litrů vody a z tohoto množství pak vypařováním (transpirací) odevzdá zpět

do okolí 99 %. Dokonce je dokázáno, že 1 hektar bukového lesa dodává během jediného dne až 40 000 litrů vody do ovzduší (tab. 2).

Tab. 2 Objem dřevinami vypařené vody dle objemu jejich korun (Čermáková a Mužíková, 2009)

Objem koruny (m³)	Přibližný výpar vody (l/den)
> 2700	500
> 700	400
> 500	300
> 200	200
> 100	100
> 50	50
> 25	10
> 1	5

3.5.4.6 Ekonomické dopady

Městská zeleň má schopnost měnit městské klima a to redukcí přeměny zářivé energie na zjevné teplo způsobené zastíněným přírodním povrchem (beton, asphalt). Vegetace absorbuje a odráží sluneční záření a chladí okolní vzduch evapotranspirací (změna latentního tepla) a zmírňuje rychlost větru. Ovlivňuje mikroklima v bezprostředním okolí, což má vliv na tepelný komfort člověka a následně klesá používání klimatizací. Využitím klimatizace vzrůstá o 3–4 % spotřeba energie na každý 1 °C při teplotě nad 18 °C. Stromy chrání budovy před prudkým větrem a tím šetří spotřebu energie, jelikož se snižují náklady na vytápění. Ve Skotsku je z tohoto důvodu snížení nákladů na vytápění až o 18 %, některé odhady se však domnívají, že snížení může být až o 25 % (Sarajevs, 2011; Millward et al., 2014).

3.5.5 Negativní vlivy městské zeleně

Kromě pozitivních vlivů zeleně ve městech je možné nalézt i negativní vlivy, o kterých se v literatuře píše sice méně, ale existují. Konkrétně to jsou náklady na vodu, odstraňování zeleného odpadu, výskyt pylu jako silného alergenu a odpovědnost za úrazy v případě nevhodně vybraného místa (Dwyer et al., 1992). Lambert-Habib et al. (2013) ještě upozorňují

na nebezpečí používání různých rostlinolékařských produktů, jakými mohou být různé pesticidy a jiná hnojiva, které mohou mít škodlivý vliv na zdraví obyvatel. Dále jsou to náklady spojené s implementací a údržbou zeleně. Motorové sekačky a foukače listí také mohou rušit obyvatele hlukem, který způsobují.

3.5.6 Trendy a vývoj zeleně ve městech

Obecně platí, že zatímco v okrajových čtvrtích bývá zeleně dostatek, nejvíce trpí centrální, hustě zastavěná část, kde je zeleně výrazný nedostatek. Přitom právě v těchto částech měst by zezeň měla svým příznivým působením vyrovnávat negativní vlivy koncentrované zástavby, jako jsou teplotní extrémny, znečištění ovzduší, nedostatečná vzdušná vlhkost, ale zároveň také nedostatek klidových a odpočinkových ploch. Navzdory současné snaze o „ozelení měst“, zeleně v ulicích výrazně nepřibývá. Je to způsobeno především tím, že ve starší i novější zástavbě je velmi obtížné sladění všech prostorových požadavků na komunikace, inženýrské sítě, parkování atd. Zezeň v ulicích (uliční stromořadí) tak patří sice k nejvýznamnější, ale zároveň k nejohroženější skupině zeleně ve městě. Trpí prachem, suchem, znehodnocenou a neprovzdušněnou půdou, exhaláty, zasolením, mechanickým poškozováním a v důsledku těchto vlivů trpí také škůdci a chorobami. Přesto lze očekávat, že budou sílit i tlaky na vytváření hodnotnějšího prostředí, zejména pro bydlení a rekreaci. Je však potřeba očekávat tendence negativní i pozitivní ku příkladu:

- Intenzifikace městské struktury – tlak na zmenšování ploch zeleně a na umístování staveb a zařízení dopravní a technické infrastruktury do ploch zeleně v zastavěném území.
- Tlak na zmenšování ploch zahrádkových kolonií i jejich přeměna na trvalé bydlení.
- Pokračování výstavby dopravní a technické infrastruktury v krajině – silnice, trasy inženýrských sítí atd.
- Tlak na velkorysé řešení zastavitelných ploch v územních plánech na úkor volné krajiny – rozvolněná, nekoncepční a ekonomicky neefektivní výsadba.
- Intenzifikace funkčního využití ploch zeleně současně se zvýšením intenzity údržby (Balabánová a Kyselka, 2013).

3.6 Zelené střechy a fasády

Vlivem koncentrace budov a dopravy je život v našich městech nezdravý: auta a topná zařízení spotřebovávají množství kyslíku a produkují nadbytek škodlivin. Obrovské betonové a asfaltové plochy vedou k přehřívání ovzduší ve městě a způsobují, že teplý vzduch zvedá ze země částice nečistot a škodlivin a víří je do všech stran. Za přítomnosti polétavých částic v ovzduší je až o 15 % méně hodin slunečního svitu v závislosti na ročním období může být až o 30–100 % větší výskyt mlh. Ozelenělé předzahrádky a dvory, především ale střechy a fasády mohou nezdravé klima zdárně změnit: vzduch se vyčistí, víření prachu se výrazně sníží a zatěžující kolísání teploty a vlhkosti se vyrovná. Pro dosažení zdravějšího klimatu by pravděpodobně stačilo zazelenit 10–20 % všech ploch, neboť nesečená travnatá plocha má v průměru 5–10 krát více listové plochy než stejně velký trávník v parku. Třetinu rozlohy velkoměsta zabírá zástavba, třetinu dlažba a třetinu nedlážděné zelené plochy. Kdyby se dostatečně pokryla zelení jen každá pátá až desátá střecha, množství listové plochy by se v tomto městě zdvojnásobilo. Zelené střechy a fasády snižují teplotu zejména prostřednictvím evapotranspirace stejně tak jako jiné travnaté plochy (Minke, 2001).

Podle Péreze et al. (2014) je v posledním desetiletí také více kladen důraz na zlepšení nebo alespoň zachování kvality životního prostředí. Proto jsou kladeny i větší nároky na snižování spotřeby energií budov, které jsou designované ve městech. Zelené střechy a fasády mají mnoho pozitiv, mimo jiné také schopnost tepelné izolace budov. Zelené střechy se liší od přirozeného prostředí tím, že se nacházejí na vrcholu budov a nejsou spojeny se zemí, proto je důležité, aby voda mohla z profilu odtékat nebo v opačném případě, aby voda mohla být zadržena. Použití správného rostoucího média je rozhodující pro kvalitně rostoucí zelenou střechu. Při nedostatečném množství nebo nekvalitním rostoucím médiu se rostlinám na zelených střechách nedaří. Normální zemina je pro použití na střechách příliš těžká. Z tohoto důvodu se používá speciálně navrženého substrátu, který je lehký a zároveň odporuje růst rostlin na střechách. Musí být schopen udržet vodu a zároveň musí umožnit dobrý odtok přebytečné vody do kanalizace, musí být taktéž schopen zadržet dostatečného množství živin pro rostliny, aniž by byly vyplavovány (Lamera et al., 2014). Pro torbu zelených střech by se měly používat původní rostliny rostoucí na daném území a to z důvodu, že rostliny již byly přizpůsobeny místním podmínkám, rostliny jsou tedy přizpůsobeny a nepotřebují zalévání, hnojiva a pesticidy. Domácí druhy mohou obnovit zdravý ekosystém tím, že přitahují různá zvířata, ptáky a motýly. V současné době jsou zelené střechy rozšířené v evropských městech kromě Německa zejména ve Francii, Švýcarsku a Portugalsku. Portugalská vláda dokonce

uspořádala několik motivačních programů na podporu instalací zelených střech Li and Yeung (2014). Zelené fasády jsou též poměrně rozšířeny, existují 2 druhy, kdy jsou využívány popínavé rostliny, druhou možností jsou stěny, na nichž jsou vytvořeny nosné konstrukce (obr. 9).



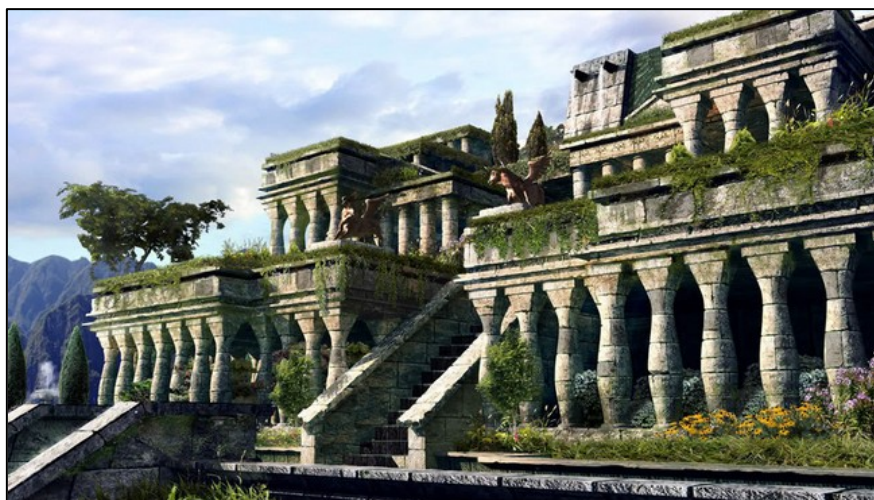
Obr. 9 Budova se zelenou stěnou, Avignon, Francie.
(http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mur_vegetal_avignon_jour1.jpg?uselang=cs)

3.6.1 Historie zelených střech

Zelené střechy se používají již tisíce let. Poskytují prostor pro rekreaci, ale mají také vliv na regulaci klimatu. Tento typ úspory energie je v současné době velmi podporován velkými městy světa. Německo je považováno za rodiště moderních zelených střech. Na území Německa se nyní nachází více než jeden milion metrů čtverečních zelených střech, přičemž v USA se v posledních letech také začali zabývat trendem zelených střech (Lin et al., 2013). Čermáková a Mužíková (2009) konstatují, že v některých částech Německa musí být střechy průmyslových budov ozelenovány povinně. Ve Švýcarsku mají obdobný zákon týkající se všech staveb.

Římané ve starověku a Čechové ve středověku si na střechy svých obydlí vysazovali rostlinu z rodu *Sempervivum*. Byli přesvědčeni, že je tato rostlina ochrání před silným povětrím a blesky. Odtud také pochází její český název – netřesk. Dnes se tato rostlina používá, díky svým minimálním nárokům na závlahu, jako okrasa střech s minimální výškou substrátu. Jedním z nejstarších příkladů střech, které byly osázeny vegetací a dodnes se

zachovaly, jsou Semiramidiny visuté zahrady (obr. 10), které patří mezi sedm divů světa. Byly založeny již v 8. st. př. n. l. na klenbách paláců v Babylonu.



Obr. 10 Semiramidiny visuté zahrady (<http://procproto.cz/objevy-2/semiramidiny-visute-zahrady-tajemstvi-jednoho-z-divu-sveta-odhaleno/>)

V polovině 11. století přibývá střešních a terasových zahrad v Itálii, ve Francii a dalších evropských zemích. Od druhé poloviny 19. století se i u nás začínají budovat střešní zahrady. Začátkem 20. století se stávají celosvětově střešní zahrady nedílnou součástí urbanistické koncepce měst. Mezi průkopníky patřil Le Corbusier, švýcarský architekt žijící ve Francii. Zavedl pět pravidel moderní architektury, mezi které patří i pravidlo střešních zahrad. Vodorovný povrch se podle tohoto pravidla opět objevuje v horní části budovy. Vyztužený beton umožňuje přístupné terasy namísto šikmých střech. Mnoho po něm následujících architektů a designérů se touto převratnou myšlenkou inspirovalo (Bohuslávek a kol., 2009). V současné době je aktuální snaha o zkvalitňování životního prostředí zejména ve městech. Vegetační střechy a fasády se dnes navrhují v širokém měřítku. Nejčastějšími příklady jsou obchodní, administrativní a zábavní centra, ale také stavby rodinného bydlení ve městech a na venkově. Budování vegetačních střech je i nástrojem rozšiřování zelených ploch v hustě zastavěných územních plánech sídel.

3.6.2 Výhody a nevýhody zelených střech

Čermáková a Mužíková (2009) zmiňují, že vegetační souvrství slouží jako přídavná izolace střechy. V létě přispívá k obyvatelnosti celého objektu, zejména pak nejvyšších pater.

V zimních měsících zabraňuje úniku tepla, a to až o polovinu v případě hustých porostů, čímž primárně snižuje náklady na materiál proti tepelným ztrátám a druhotně šetří finance díky nižším nárokům na vytápění. Morau et al. (2013) píše, že zelené střechy redukuje tepelnou energii ze slunečního záření v létě a tepelné ztráty v zimě o 10–30 %. K tepelným ztrátám u budov dochází zářením. Listy rostlin jsou schopny tyto ztráty snižovat, díky odraženému a absorbovanému dlouhovlnnému záření. Ovšem tepelně izolační efekt nemá pouze vegetace, ale i pěstební substrát, míra závisí na jeho mocnosti, vlhkosti a složení. Rostliny chrání povrch substrátu před větrem, čímž snižují tepelné ztráty způsobené konvekcí, tedy proudění větru až na nulu. Tyto ztráty mohou u samostatně stojících budov bez zvýšené tepelné ochrany činit i více než 50 % celkových tepelných ztrát střechou. Zelené střechy zabraňují extrémnímu kolísání teploty na střeše a v blízkém okolí střechy během dne. Při testech byly porovnávány vegetační a normální střechy. Na střechách bez vegetace dochází ke kolísání teploty v rozmezí v zimě od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až po rozpálené střechy v létě, které mohou mít až $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, zatímco zelené střechy se pohybují v rozmezí od $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ po $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Zelené střechy snižují znečištění ovzduší a hluk. Také zvyšují rostlinnou a živočišnou rozmanitost ve městech a jako ostatní zeď snižují uhlíkovou stopu ve městech tím, že využívají oxid uhličitý jako nedílnou součást fotosyntézy (Morau et al., 2013).

Ve srovnání s běžnými střechami zelené střechy zlepšují řízení dešťové vody. Jsou navrženy tak, aby zachytily, dočasně udržely a infiltrovaly dešťovou vodu, podporují evapotranspiraci (Lamera et al., 2014). Hakimdavar et al. (2014) se zmiňují také o tom, že díky snížení objemu dešťové vody se zároveň zmenšuje zatížení pro kombinovaný a oddělený kanalizační systém a snižuje pravděpodobnost povodní.

Mezi nevýhody ozelenování střech patří především finanční náročnost vystavění zelených střech. U nás se zatím na zřízení střech pokrytých vegetací neposkytuje žádná finanční podpora. Další nevýhodou je, že při nekvalitním provedení střešního pláště roste riziko zatékání vody, či narušení vrstev kořenovým systémem. Při nekvalitním provedení je značné nebezpečí vyvrácení vzrostlých dřevin. Je také doporučováno zasazení rostlin bez alergenů, tedy rostlin nekvetoucích (Čermáková a Mužíková, 2009).

3.6.3 Vrstvy vegetačních střech

Při zakládání zelených střech se využívá různých vrstev. Zelená střecha je pokryta vegetací a pěstebním substrátem vysazovaným nad hydroizolační membránu, což jsou asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech. Tato izolace musí být odolná vůči prorůstání kořenů rostlin. Střecha ovšem může obsahovat i další vrstvy, mezi ně patří:

- Ochranná vrstva – slouží k ochraně hydroizolace střechy.
- Drenážní vrstva – odvádí přebytečnou vodu ke střešním vtokům. Může též sloužit k akumulaci vody, zvětšuje prostor pro růst kořenů a přispívá k ochraně vrstev, ležících pod ní. Materiály vhodné pro drenážní vrstvy jsou buď sypké (štěrk, láva, keramzit aj.) nebo desky či rohože (např. plastové, pryžové, nopové fólie).
- Filtrační vrstva – zamezuje vyplavování jemných částic substrátu do drenážní vrstvy. Musí být dobře vodopropustná. Materiál musí být odolný vůči biologické korozi, nesmí omezovat růst kořenů. Nejčastěji se používají netkané nebo tkané textilie.
- Hydroakumulační vrstva – zajišťuje minimální množství vody pro růst rostliny a omezuje průtok dešťových vod při krátkodobých intenzivních srážkách. Význam hydroakumulační vrstvy zadržující srážkovou vodu se zvětšuje se snižující se tloušťkou substrátu. Je tvořena ku příkladu hrubovláknou rašelinou, netkanými textiliemi.
- Vrstva substrátu pro pěstování rostlin – složení a tloušťka substrátu musí odpovídat požadavkům plánované vegetace. Substrát musí být propustný pro vodu, aby nedocházelo k tvorbě kaluží na jeho povrchu. Substráty obecně mají dvě složky, organickou a anorganickou (Bohuslávek a kol., 2009). Fyzikální vlastnosti vrstvy substrátu jsou z hydrologického hlediska důležitější než vegetace.

3.6.4 Druhy zelených střech

Zelené střechy se mohou dělit podle více kritérií, jedním z nich je dělení dle sklonu střešní roviny – ploché, s mírným sklonem, velkým sklonem a strmé střechy. Sklon střechy, vegetační složení, poloha střechy a klima mají vliv na hydrologický výkon střechy (Speak et al., 2013).

Ovšem základním a nejpoužívanějším dělením je dělení podle praxe na biotopní, extenzivní, polointenzivní a intenzivní. Toto rozdělení lze chápat jako orientační, protože neexistuje přesná hranice mezi jednotlivými druhy ozelenění. Nerozlišují se pouze podle

mocnosti substrátu nebo zatížení, ale především, dle využití plochy a péče, kterou bude vegetace vyžadovat. U všech typů ozelenění je nutno počítat se závlahou, hnojením, pletím, odstraňováním uhynulého rostlinného materiálu a se zaplňováním mezer po odumřelých rostlinách. Rozdíl je pouze v míře této péče. Na celé řadě střech se lze setkat s kombinací extenzivních a intenzivních porostů. V důsledku toho dochází k lokálnímu navýšení substrátu, vzniká dojem krajiny díky modelování krajiny. Zatížení střechy je pak na různých místech odlišné.

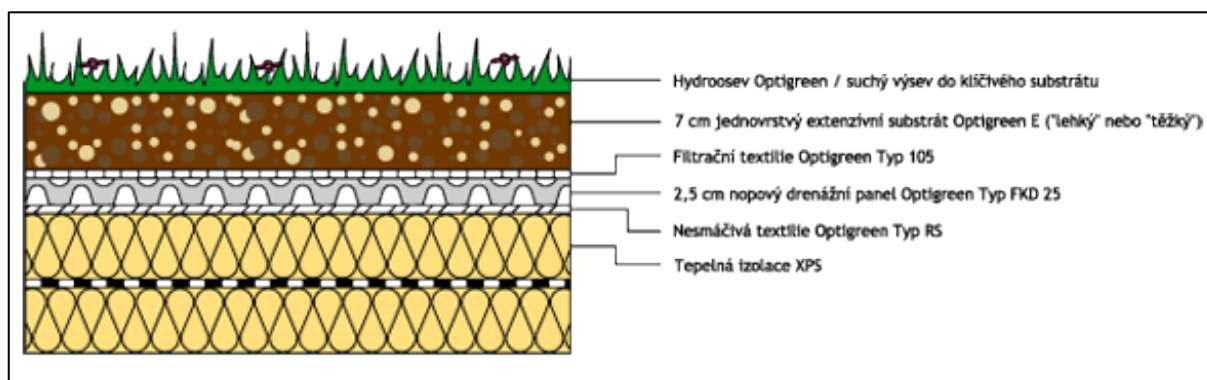
Biotopní střechy

Biotopní střechy plní především ekologickou funkci, vzhled střechy je zcela podřízen místním podmínkám pro vegetaci a může se během let měnit. Jedná se o přirozenou symbiózu rostlinných společenstev schopných samostatného přežití a případné samo obnovy. Biotopní rostlinný pokryv se skládá ze sukulentů, mechů a některých druhů trav a bylin, kterým vyhovují konkrétní stanovištní podmínky a jsou schopny přežít jak extrémní sucha, tak občasné přemokření. Při vyšší tloušťce substrátu než 12 cm dochází k bujení rychle rostoucích a méně odolných rostlin, které původní flóru udusí a samy pak v méně příznivém období uhynou. U biotopních střech se v žádném případě nepočítá s přihnojováním, ani jinými nepřirozenými zásahy do koloběhu života rostlin, vegetace na střeše ponechána nerušeně sama sobě bez péče a náklady na běžnou údržbu biotopní střechy se dají srovnat s běžnou plochou střechou. Jednotlivé charakteristiky biotopních střech jsou uvedeny v tab. 3. (Čermáková a Mužíková, 2009).

Tab. 3 Jednotlivé charakteristiky biotopních střech (Čermáková a Mužíková, 2009)

Charakteristika	Popis
tloušťka substrátu	6–12 cm, výjimečně může být i tloušťka 2 cm, což je ovšem extrém a běžně se neprovádí
plošná hmotnost v plně nasyceném stavu	60 – 200 kg/m ²
údržba	1–2 krát ročně kontrola a odstranění náletů
pochozí	zpravidla nikoliv

Extenzivní střechy



Obr. 11 Extenzivní zelená střecha (<http://www.optigreen.cz/CAD/1220.html>)

Extenzivní střecha (obr. 11) je často realizovaná na nepochozích střechách, kde má funkci především ekologickou. V souvislosti s čištěním vzduchu a zadržováním vody vegetací je důležité, aby vegetační polštář byl co nejhustší a přibližně stejně vysoký. Z toho důvodu nejsou upřednostňovány sukulenty, ačkoliv jsou krásné, nesplňují ekologické potřeby. V dnešním městském prostředí je zapotřebí především zlepšovat mikroklimatické podmínky než vytvářet pouze estetické střechy. Mimo to má hustý vegetační pokryv mnohem lepší tepelné a zvukové izolační vlastnosti než porost sukulentního rázu. Extenzivní střecha má nižší podkladovou vrstvu než 20 cm a její výhodou je, že není náročná na údržbu. Hlavně z důvodu nízké údržby se tento typ střech stal jednou z nejvíce preferovaných alternativ pro zvýšení počtu zelených ploch. (Lin et al., 2013). Z výsledků výzkumu, který provedli Speak et al. (2013) vyplývá, že extenzivní střechy uchovávají průměrně 45 % vody, při malých přehánkách a bouřích uchová až 90 % a u velkých přeháněk je to 50 % vody. Hloubka substrátu má velký vliv na zadržené množství vody. Čím hlubší substrát, tím větší skladovací kapacita. Zde se používají rostliny, které nízké zakořeňují a jsou schopné snášet dlouhodobé sucho, ale i krátkodobé přemokření. Extenzivní střechy jsou právě díky své nízké náročnosti často upřednostňovány ve městech. Doporučovány jsou rostliny, které jsou odolné větru, dobře regenerující, schopné plošného rozrůstání a rozmnožují se vegetativní i generativní cestou. Za nejvhodnější rostliny lze považovat rostliny tučnolisté, suchomilné a skalničky, tedy rostliny nenáročné na vláhu. Relativně nejméně náročné jsou sukulenty. Při horní hranici tloušťky substrátu (20 cm) se lze setkat i s polokeři a velmi nízkými a nenáročnými keři. Ze dřevin lze doporučit kaliny, vrbu zakrslou, poléhavé jalovce aj. (Hakimdavar et al., 2014). Li and Yeung (2014) popisují charakteristiky extenzivních zelených střech: rychlé založení a dobrá reprodukce rostlin, jsou krátké jako „chlup koberce“, jejich kořeny jsou sice mělké, za

to se rychle rozrůstají a jejich listy jsou sukulentní a jsou schopny ukládat vodu. Extenzivního ozelenění lze dosáhnout několika způsoby. Jednak výsadbou drnů a výhonků, pokrytím hotovým trávníkem, trávník se vypěstuje ve speciálním složení, které odpovídá zadání investora a poté se pouze přemístí na střešní konstrukci. Jednotlivé charakteristiky jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4 Jednotlivé charakteristiky extenzivních střeš (Čermáková a Mužíková, 2009)

Charakteristika	Popis
tloušťka substrátu	tenká vrstva (2–6 cm) = tzv. nenáročná extenzivní zeleň.
	středně silná vrstva (6–15 cm) = tzv. středně náročná extenzivní zeleň
	silná vrstva (15–20 cm) = tzv. náročná extenzivní zeleň
plošná hmotnost v plně nasyceném stavu	100–300 kg/m ²
údržba	při zakládání musí následovat závlaha, tu je třeba opakovat 1–2 krát týdně po dobu několika následujících měsíců do doby zakořenění rostlin, poté 1–2 krát ročně, odstranění náletů, často břízy, topoly, javory
pochozí	zpravidla nikoliv, pouze pohledové pro leteckou dopravu a vyšší budovy

Polointenzivní střechy

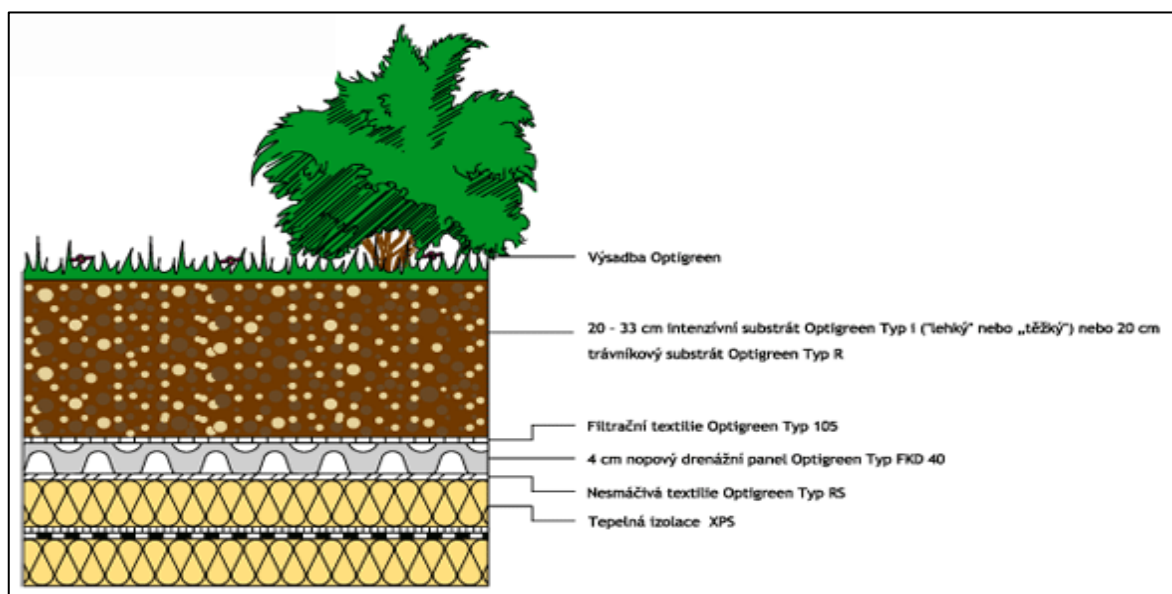
Polointenzivní zeleň tvoří přechod mezi zelení intenzivní a extenzivní. Při výsadbě jsou uplatňovány zejména trvalky a nízké keře v podobě jalovců, brslenů, hlohyň, mochen a jiné. Jedná se sice stále o poměrně nenáročnou zeleň, ovšem již je zapotřebí vyššího substrátu, vláhy a udržovací péče.

Polointenzivní zeleň bývá při hlubším dělení řazena buď do kategorie extenzivních střeš jako náročná extenzivní nebo pak do sekce intenzivní zeleně jako primitivní intenzivní (Čermáková a Mužíková, 2009). Jednotlivé charakteristiky polointenzivních střeš jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5 Jednotlivé charakteristiky polointenzivních střeš (Čermáková a Mužiková, 2009)

Charakteristika	Popis
tloušťka substrátu	15–30 cm
plošná hmotnost v plně nasyceném stavu	120–350 kg/m ²
údržba	na nízké úrovni
pochozí	zpravidla ano

Intenzivní střešy



Obr. 12 Intenzivní zelená střeš (http://www.optigreen.cz/CAD/1230.html)

Intenzivní zelená střeš (obr. 12) má střešní substráty silnější než 15 cm. Pro tento typ střeš lze využívat téměř libovolné rostliny včetně rostlin s hlubším zakořeňováním, tedy i stromy a keře. Vhodné použití rostlin se odvíjí od nejvyšší únosnosti střešní konstrukce (Hakimdavar et al., 2014). Stromy a keře se na intenzivních zelených střešách mohou pěstovat z důvodu, že tento typ má hlubší podkladové vrstvy. Příliš se neliší od zásad uplatňovaných při řešení zahrad na přirozeném půdním profilu. Majitelé domů s intenzivními zelenými střešami často projektují tento druh ozelenění nejen pro úsporu energie, nýbrž i pro jejich poskytování příjemného zahradního prostředí, kde mohou trávit volné chvíle. Pro intenzivní zelené střešy je vhodné používat květin, keřů a nízkých stromů (Lin et al., 2013). Bohuslávka a kol. (2009) uvádějí, že tyto střešní zahrady musí být založeny dle pravidel půdního profilu, pravidelně musí být dodávány živiny na základě rozborů, udržováno pH půdy podle požadavků pěstovaných rostlin. Zahradu je nejlépe doplnit řízenou závlahou, což

umožní pěstovat všechny volně rostoucí druhy rostlin. Rostliny vyššího vzrůstu, které lze pěstovat v tomto substrátu, jsou vystaveny zatížení větrem. Je tedy důležité dbát na hlubší osazení do substrátu. Z tohoto popisu vyplývá, že základním požadavkem tohoto typu střešního ozelenění je pravidelná a stálá péče o rostliny. Rostliny intenzivních střech jsou zpravidla do výšky 1 m nad povrchem střechy sázeny volně. Nad tuto výšku se obvykle kotví k podkladu, což zaručuje stabilizaci proti vyvrácení. Kotvení se zpravidla provádí ocelovým roštem o velké ploše, do kterého jsou rostliny zachycovány. Jednotlivé charakteristiky jsou uvedeny v tab. 6.

Tab. 6 Jednotlivé charakteristiky intenzivních střech (Čermáková a Mužíková, 2009)

Charakteristika	Popis
tloušťka substrátu	30 (15) a více cm
plošná hmotnost v plně nasyceném stavu	300 (150) a více kg/m ²
údržba	odpovídá údržbě běžné zahrady / veřejné zeleně na rostlém terénu
pochozí	ano

3.7 Indikátor obecné kvality zeleně ve městech

Pondělíček (2013) uvádí, že na konci 80. let 20. století, byl vytvořen indikátor ve volné krajině, který poměrně dobře vypovídá o kvalitě prostoru na daném území obce. Tímto indikátorem byl Koeficient ekologické stability (K_{ES}). Vypovídající schopnost indikátoru K_{ES} spočívá zejména v tom, že umožňuje sledování dlouhodobého trendu vývoje ploch zeleně. Avšak již od počátku užívání K_{ES} je známo, že není ideálním indikátorem, záleží na jeho umístění a zejména na velikosti katastrálního území, pro které je počítán. Na základě hodnoty K_{ES} se lze přibližně zorientovat, jaké kvality bude okolí vybraného místa.

Nyní byl navržen nový indikátor pro hodnocení potenciálních možností tvorby zeleně měst – Indikátor obecné kvality zeleně ve městech. Tento indikátor je vyvinut na základě poznatků o životním prostředí a jeho rozvoji ve městech s ohledem na zeleň. Ukazatel lze případně využít ke sledování a prognózování nárůstu zelených ploch ve městech v souvislosti s podmínkami okolního prostředí. Indikátor je primárně navržen pro potřeby intenzivní potenciální péče o zeleň a pro sledování potenciální obecné kvality zeleně ve městech. Je nastavený pro podmínky v ČR z hlediska okamžité použitelnosti a dostupnosti dat. Pro každé

jiné jednotlivé město však musí být upraveny ekvivalentní standardy. Ekvivalentními standardy je míněno stanovení optima pro růst zeleně různých klimatických pásů Země.

Výpočet indikátoru obecné kvality zeleně ve městech:

$$\text{IOKZM} = \frac{1}{2} [(\log F_{\text{KES}} \cdot \log F_{\text{prt}}) + (\log F_{\text{prt}} \cdot \log F_{\text{prs}}) + (\log F_{\text{prs}} \cdot \log F_{\text{nmv}}) + (\log F_{\text{nmv}} \cdot \log F_{\text{KES}})], \text{ kde}$$

F_{nmv} faktor nadmořské výšky, podle geografické oblasti a umístění města; zde hraje roli výškový rozdíl v jednotlivých částech města. Dle rozpětí výšek jednotlivých zemí je vymezeno rozpětí tohoto faktoru. V ČR je nadmořská výška mezi 314 m n.m. (odtok Labe) a 1602 m n.m. (Sněžka).

F_{prs} faktor průměrného ročního úhrnu srážek, je vymezen oblastí srážkového stínu a srážkového maxima. V ČR je to roční úhrn srážek přibližně od 400 mm (Poohří) do 1700 mm (Bílý potok).

F_{prt} faktor průměrné roční teploty, vyjadřuje průměr roční teploty v jednotlivých měsících a zejména jejich rozložení dle terénních tvarů v okolí měst.

F_{KES} faktor indikátoru koeficientu ekologické stability, míra tlaku biodiversity, je reprezentován Koeficientem ekologické stability K_{ES} , který je v číselných řadách dostupný ve Statistické ročence ČR.

4 Závěr

Tepelný ostrov města je jedním z nejstudovanějších klimatických efektů z hlediska osídlení. Lze jej hodnotit pomocí přímých meteorologických měření, ale také pozorovat pomocí satelitů, kterými lze vidět i zeleň, jíž je ve městech nedostatek.

Právě městskou zelení a jejím kladným vlivem na klima města se tato práce zabývala především. Touto problematikou se zabírají autoři převážně velkých a lidnatých měst Číny a USA, v Evropě se tímto fenomén zabýváme nedostatečně. Z většiny zdrojů vyplývá, že zeleně je ve městech nedostatek. Zelené střechy jsou jednou z možností začlenění zeleně do infrastruktury měst a následného zlepšení městského klimatu. Střechy osázené vegetací byly známy již v dávné historii, ale používaly se spíše z důvodů estetických, zatím co dnes je tomu převážně z důvodů ekologických. Ve Švýcarsku je dnes ze zákona povinností, stavět nové domy se zelenými střechami a v některých částech Německa musí být ozeleňovány povinně střechy průmyslových budov. V ČR se běžně tato alternativa netěší příliš velkému zájmu, převážně z důvodů vysokých nákladů. Do budoucna se snad tento postoj změní a tato možnost bude podporována i ze strany státu. Začlenění do infrastruktury města v ČR není ukotveno v legislativních prostředcích, ovšem domnívám se, že v tomto směru by měla být sjednána náprava. Ozelenění střech by mělo být aplikováno především u průmyslových staveb, stejně tak, jako je tomu v Německu. Ve většině měst se stávající zeleň nahrazuje novými obchodními, zábavními a průmyslovými stavbami, ale při těchto stavbách se nehledí na negativní vliv těchto staveb na mezoklima a mikroklima regionu. I díky implementaci zelených střech, jako jedné z možností ozeleňování měst, je možné zachovat vhodné klimatické podmínky i pro další generace.

5 Seznam literatury

- Acot, P. 2005. Historie a změny klimatu. Karolinum. Praha. 237 s. ISBN: 80-246-0869-3.
- Balabánová, P., Kyselka, I. 2013. Principy a pravidla územního plánování, zeleň. Ústav územního rozvoje Brno. 3–35 s.
- Baris, M.E., Sahin S., Yazgan, M.E. 2009. The contribution of trees and green spaces to the urban climate: the case of Ankara. African Journal of Agricultural Research. 4 (9). p. 791–800.
- Bedimo-Rung, A. L., Mowen, A. J., Cohen, D. A. 2005. The Significance of Parks to Physical Activity and Public Health. American Journal of Preventive Medicine. 28 (2S2). p. 159–168.
- Bednář, J. 2003. Meteorologie: úvod do studia dějů v zemské atmosféře. Portál. Praha. 224 s. ISBN: 80-7178-653-5.
- Beranová, R., Huth, R. 2003. Pražský tepelný ostrov za různých synoptických podmínek. Meteorologické zprávy. 56 (5).
- Bohuslávek, P., Horský, V., Jakoubková, Š. 2009. Vegetační střechy a střešní zahrady. Kutnar. 72 s. ISBN: 978-80-87215-05-0.
- Brys, T., Caputa, Z., Wibig, J., Brys, K., Fortuniak, K. 2003. Humidity gradients in urban environments on the example of Wroclaw, Sosnowiec and Lodz. University of Sosnowiec, Poland. p. 1–5.
- Carter, J. G., Cavan, G., Connelly, A., Guy, S., Handley, S., Kazmierczak, A. 2015. Climate change and the city: Building capacity for urban adaptation. Progress in Planning. 95. p. 1–66.
- Cílek, V., Svoboda, J., Vašků, Z. 2003. Velká kniha o klimatu zemí koruny české. Regia. Praha. 655 s. ISBN: 80-86367-34-7.

- Cleare, E. 2006. Urban Heat Island: An Investigation of the Causes, Consequences and Solution. University of Bryan Maw. p. 1–12.
- Čermáková, B., Mužíková, R. 2009. Ozeleněné střechy. Grada. Praha. 248 s. ISBN: 978-80-247-1802-6.
- Domínguez, S. A., de la Flor F. S. 2004. Modelling Microclimate in Urban Environments and Assessing its Influence on the Performance of Surrounding Buildings. *Energy and building*. 36. p. 403–413.
- Dwyer, J. F., McPherson, G. E., Schoeder, H. W., Rowntree A. R. 1992. Assessing the Benefits and Costs of the Urban Forest. *Journal of Arboriculture*. 18 (5). p. 227–234.
- Eleftheria, A., Jones, P. 2006. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*. 43. p. 480–493.
- Hakimdavar, R., Culligan, P. J., Finazzi, M., Barontini, S., Ranzi, R. 2014. Scale dynamics of extensive green roofs: Quantifying the effect of drainage area and rainfall characteristics on observed and modeled green roof hydrologic performance. *Ecological Engineering*. p. 494–508.
- Hebbert, M. 2014. Climatology for city planning in historical perspective. *Urban Climate*. p. 3–12.
- Heisler, G.M., Grant, R.H., Gao, W. 2003. Individual- and scattered-tree influences on ultraviolet irradiance. *Agricultural and Forest Meteorology*. 120 (1). p. 113–126.
- Hernández-Pérez, I., Álvarez, G., Gilbert, H., Xamán, J., Chávez, Y., Shah, B. 2014. Thermal performance of a concrete cool roof under different climatic conditions. *Energy Procedia*. 57. p. 1753–1762.
- Kittler, R. 1982. Urbanizace a její bioklimatické důsledky. *Bioklimatologie a další vývoj životního prostředí*. 125–129 s.
- Kleerekoper, L., van Esch, M., Salcedo, B. T. 2012. How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conversation and Recycling*. 64. p. 30–38.

- Kyselý, J.. 2006. Prostorová proměnlivost horkých vln v České republice a letní teplotní zvláštnost jihozápadních Čech. *Meteorologické zprávy*. 59 (1). 183–189 s.
- Lambert-Habib, M. I., Hidalgo, J., Fedele, C., Lemonsu, A., Bernard, C. 2013. How is climatic adaptation taken into account by legal tools? Introduction of water and vegetation by French town planning documents. *Urban Climate*. 4. p. 16–34.
- Lamera, C., Becciu, G., Rulli, M. C., Rosso, R. 2014. Green roofs effects on the urban water cycle components. *Procedia Engineering*. 70. p. 988–997.
- Langeveld, J. G., Schilperoort, R. P. S., Weijers, S. R. 2013. Climate change and urban wastewater infrastructure: There more to explore. *Journal of Hydrology*. 476. p. 112–119.
- Li, W. C., Yeung, K. K. A. 2014. A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 3. p. 127–134.
- Lin, B. S., Yu, Ch. CH., Su, A. T., Lin, Y. J. 2013. Impact of climatic conditions on the thermal effectiveness of an extensive green roof. *Building and Environment*. 67. p. 26–33.
- McCarthy, M. P., Best, M. J., Betts, R. A. 2010. Climate Change in Cities Due to Global Warming and Urban Effects. *Geophysical Research Letters*. 37 (9). p. 1–5.
- McPherson, G. E., Peper, P. J. 2012. Urban Tree Growth Modeling. *Arboriculture and Urban Forestry*. 38 (5). p. 172–180.
- Mills, T. The Urban Canopy Layer Heat Island IAUC Teaching Resources. *International Association for Urban Climate*. p. 15–19.
- Millward, A. A., Torchia, M., Laursen, A. E., Rothman, L. D. 2014. Vegetation Placement for Summer Built Surface Temperature Moderation in an Urban Microclimate. *Environmental Management*. 53. p. 1043–1057.
- Minke, G. 2001. Zelené střechy, plánování, realizace, příklady z praxe. *Genesis*. Brno. 91 s. ISBN: 80-86167-17-8.

- Morau, D., Rakotondramiarana, H. T., Ranaivoarisoa, T. F., Andriamamonjy, A. L. 2014. Thermal behavior of green roof in reunion island: contribution towards a net zero building. *Energy Procedia*. 57. p. 1908–1921.
- Nowak, D. J., Crane, D. E., Stevens, J. C. 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry and Urban Greening*. 4. p. 115–123.
- Pérez, G., Coma, J., Martorell, I., Cabeza, F., L. 2014. Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 39. p. 139–165.
- Pondělíček, M. 2013. Urbánní zeleň a její význam pro resilienci metropolitních oblastí. *Sborník příspěvků*. 501–508 s.
- Robaa, S. M., 2003: Urban – Suburban / Rural Differences over Greater Cairo, Egypt. *Atmósfera*. p. 157–171.
- Roth, M., Oke T. R., Emery W. J. 1989. Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*. 10. p. 1699–1720.
- Santamouris, M. 2013. Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island – A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 26. p. 224–240.
- Sarajevs, V. 2011. Healths Benefits of Street Trees. *Forest Research*. p. 16.
- Shahmohamadi, P., Che-Ani, A. I., Etessam, I., Maulud, K. N. A., Tawil, N. M. 2011. Healthy Environment: The Need to Mitigate Urban Heat Island Effects on Human Health. *Procedia Engineering*. 20. p. 61–70.
- Sharma, R., Joshi, P. K. 2014. Identifying seasonal heat island in urban settings of Delhi (India) using remotely sensed data – An anomaly based approach. *Urban Climate*. 9. p. 19–34.
- Souch, C., Grimmond, S. 2006. Applied climatology: urban climate. *Progress in Physical Geography*. 30 (2). p. 270–279.

- Speak, A. F., Rothwell, J. J., Lindley, S. J., Smith, C. I. 2013. Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof. *Science of the Environment*. 28. p. 461–462.
- Stathopoulou, M. 2009. Downscaling AVHRR land surface temperatures for improved surface urban heat island estimation. *Remote Sensing of Environment*. 113. p. 2592-2605.
- Svobodová, J. 2012. Albedo ve školním experimentování. *Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity v Brně*. 279–281 s.
- Vysoudil, M. 2006. *Meteorologie a klimatologie*. Univerzita Palackého Přírodovědecká fakulta. 281 s. ISBN 80-244-1455-4.
- Wittmann, M., Koutný, J., Pazderková, D. K., Hrubanová, D., Horká, J., Löw, J. 2012. *Urbánní prostředí v souvislostech*. Akademické nakladatelství CERM. 107 s. ISBN: 978-80-7204-802-1.
- Yao, R., Luo, Q., Jiang, L., Yang, Y. 2015. An intergrated study of urban microclimates in Chongqing, China: Historical weather data, transverse measurement and numerical simulation. *Sustainable Cities and Society*. 14. p. 187–199.
- Yilmaz, S., Toy, S., Irmak, M. A., Yilmaz, H., 2006: Determination of climatic differences in three different land uses in the city of Erzurum, Turkey. *Building and environment* 42. p. 1604–1612.
- Zhang, Y., Yiyun, Ch., Qing, D., Jiang, P. 2012. Study on Urban Heat Island Effect Based on Normalized Difference Vegetated Index: A Case Study of Wuhan City. *Procedia Environmental Sciences*. 13. p. 574–581.
- Zhang, X. X., Wu, P. F., Chen, B. 2010. Relationship between vegetation greenness and urban heat island effect in Beijing City of China. *Procedia Environmental Sciences*. 2. p. 1438–1450.

Internetové zdroje:

United States Environmental Protection Agency: Heat Island Impacts [online]. 2013. [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: <<http://www.epa.gov/hiri/impacts/index.htm>>

Útvar rozvoje hl. m. Prahy. Porovnání Prahy se středoevropskými městy podle vybraných ukazatelů. [online]. 2011. [2015-03-10]. Dostupné z: <http://www.iprpraha.cz/uploads/assets/soubory/data/strategicky_plan/Analzy/porovnani_mesta_2011_2.pdf>

Vyhláška č.6/96 obce Ruprechtov. [online]. 1996. [2015-03-8]. Dostupné z: <<http://www.ruprechtov.cz/vyhlasiky/zelen.htm>>

6 Seznam zkratek

AUHI	atmosférický tepelný ostrov (Atmospheric Urban Heat Island)
IOKMZ	Indikátor obecné kvality zeleně v městech
SUHI	povrchový tepelný ostrov (Surface Urban Heat Island)
UHI	tepelný ostrov města (Urban Heat Island)
UV	ultrafialové záření (Ultraviolet)